10º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia
CLME2025

Maputo, 29 Julho – 2 Agosto , 2025

PROCEEDINGS

CLME2025

O Papel da Engenharia na Cooperação entre as Comunidades Lusófonas

Organizadores Institucionais

Faculdade de Engenharia da U.Porto

Faculdade de Engenharia da UEM

Editores: Carlos C. António, Roxan Cadir, Joaquim Góis, Jorge Nhambiu e Ruben Manhiça

PROCEEDINGS
CLME2025

CLME2025

10º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia

Maputo, 29 Julho - 02 Agosto

Patrocínios

Este livro e a organização do CLME2025 - 10º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia, realizado em Maputo/Moçambique, de 29 de Julho a 2 de Agosto de 2025, beneficiaram do patrocínio das seguintes empresas e instituições, cujas contribuições muito agradecemos:

Abreu/PCO - Professional Congress Organizers

ANIET - Associação Nacional da Indústria Extrativa e Transformadora

APAET - Associação Portuguesa de Mecânica Experimental

APG - Associação Portuguesa de Geólogos

CCPM - Câmara de Comércio Portugal Moçambique

CPGT - Comissão Portuguesa de Geotecnia nos Transportes

CPLP - Comunidade dos Países de Língua Portuguesa

CS-OGET - Centro Regional de Excelência em Estudos de Engenharia e Tecnologia de Petróleo e Gás, UEM, Moçambique

FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

FE UEM - Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane

FRAVIZEL Engineering, Portugal

HCB - Hidroeléctrica de Cahora Bassa, Moçambique

INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

LEM - Laboratório de Engenharia de Moçambique, IP

RANGEL Logistics Solutions

Salomon, Lda.- Gestão de Recursos Hídricos, Água e Saneamento - Ambiente, Moçambique

Sika Building Trust

SPM - Sociedade Portuguesa de Materiais

Tecnica – Engenheiros Consultores Lda.

VIP HOTELS

PROCEEDINGS
CLME2025

10º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia.

Maputo, 29 Julho - 02 Agosto

O Papel da Engenharia na Cooperação entre as Comunidades Lusófonas

Editores

Carlos C. António, Roxan Cadir, Joaquim Góis, Jorge Nhambiu e Ruben Manhiça

2025

Publicado por



FEUP Edições

Rua Dr. Roberto Frias, s/n | Edifício C – C 008 | 4200-465 PORTO (Portugal)

t.|tlm. (+351) 220 413 803 | teams ID. up427272 | https://www.facebook.com/feupedicoes/

Julho, 2025

Título: **CLME2025 - 10º Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia: Proceedings**
Editores; **Carlos C. António, Roxan Cadir, Joaquim Góis, Jorge Nhambiu, Ruben Manhiça**
Suporte: **Eletrónico**



ISBN: 978-972-752-331-3

Reservados todos os direitos de harmonia com a lei.
Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida, guardada pelo sistema "retrieval" ou transmitida por qualquer meio, seja electrónico, mecânico, gravação ou outros, sem autorização prévia por escrito dos editores

ÍNDICE GERAL

Prefácio	xvii
Comissão de Honra	xx
Comissão Científica	xx
Organização	xxi
Painéis Temáticos	xxii
Simpósios Temáticos	xxiii

PAINÉIS TEMÁTICOS

Painel I: Inteligência Artificial, Robótica E Novas Tecnologias

22182	OPEN-SOURCE 3D PRINTING: A JOURNEY THROUGH TIME IN THE TECHNOLOGICAL, SCIENTIFIC, AND EDUCATIONAL REVOLUTION. Jorge Lino Alves; Leonardo Santana.	3
22199	TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO DO SECTOR DA ÁGUA: DESENVOLVIMENTO URBANO E MONITORIZAÇÃO COMUNITÁRIA. António Jorge Monteiro; Ricardo Germano; Ana Silva; Alcino Nacume.	37
22209	OPEN-HARDWARE COMO ALAVANCA DE DESENVOLVIMENTO, ESTUDO DO CASO DOS PROJECTOS DA FACULDADE DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS DA UNISAVE. D. Mbanze; J. Otero; R. Farré; G. Solana.	39
22487	DESCONSTRUÇÃO DISCIPLINAR DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: REGRAS PARA DIRECÇÃO DO ESPÍRITO SOBRE O SEU OBJECTO E MÉTODO NAS CIÊNCIAS. Luís Roberto da Silva Olumene.	49
22488	DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA CONTROLO DE DOAÇÕES DE FUNDOS MONETÁRIOS PARA EFEITOS MEDICINAIS. Rafael Beto Mpfumo, Delton Ramiro.	59
22492	MODELO DE SISTEMA DE FACTURAÇÃO OFFLINE PARA COMPUTAÇÃO CONFIDENCIAL. Ataíde G. P. Chilaúle.	77
22613	TRANSFORMER-BASED NEURAL NETWORKS FOR ROAD TRAFFIC FORECASTING: A CASE. Lauro Mota; Obiora Nnene; Atanásio Tembe.	81
22628	INDÚSTRIA 5.0: UMA TRANSFORMAÇÃO DE VALORES NA INDÚSTRIA EUROPEIA. António Lucas Soares; Ricardo Zimmermann ; Ana Correia Simões.	101
23461	AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE CAMPOS AGRÍCOLAS COM BASE EM RASPBERRY PI E ENERGIA SOLAR. CASO DE ESTUDO: CAMPOS AGRÍCOLAS DE MUNDAVENE, NO DISTRITO DE GOBA, NA PROVÍNCIA DE MAPUTO. Leila A. Mahumane; Fernando H. Chachaia.	103
23505	INOVAÇÃO ALIMENTAR ATRAVÉS DA IMPRESSÃO 3D: NOVOS CAMINHOS PARA UMA ALIMENTAÇÃO PERSONALIZADA. Lígia Afreixo Silva; Jorge Lino Alves	105
23509	PROJECTO REMAIN: DETECÇÃO DE DEFEITOS EM SAPATOS PARA REMANUFATURA ROBÓTICA. Helder Araújo; Eva Curto.	115

23527 MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA DOS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NAS DIVERSAS INDÚSTRIAS A NÍVEL DA CIDADE DE MAPUTO COM RECURSO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O SCADA. Samuel Fibione Jofrisse Júnior; Zacarias Fernando Nharongue Secane. 121

23532 SISTEMA DE RECARREGAMENTO REMOTO DE CONTADORES PRÉ-PAGOS DE ENERGIA ELÉCTRICA VIA SMS. Aziza Plantão; Hélio Gove; Hagira Gelo. 149

23533 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO DE IMEI PARA O COMBATE AO EXTRAVIO DE CELULARES EM MOÇAMBIQUE NO ANO DE 2024. Eduardo Filimone Guambe Júnior; Hagira Gelo, Hélio Gove; Luís Cumaio. 151

23539 SISTEMA DE RASTREAMENTO E MONITORAMENTO DA LOCALIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES E CONTROLO DAS ACTIVIDADES DE PESCA ARTESANAL LOCAL NA BAÍA DE MAPUTO. Bernardino Jaime Cuambe Júnior; Natalino Abílio Manjate; Helio Gove. 159

23548 DADOS PESSOAIS: DIREITOS E DEVERES NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - UMA PERSPECTIVA FOCADA NO TITULAR DOS DADOS EM MOÇAMBIQUE. Vitor M.O.B. Guerra. 161

23500 SEARCH SPACE DISCONTINUITY-AWARE CROSSOVER OPERATOR FOR THE OPTIMAL DESIGN OF HYBRID COMPOSITE STRUCTURES. Ricardo O. Faria; Carlos C. António. 165

Painel II: Portos, Meio Ambiente E Ordenamento De Zonas Costeiras

22191 AVALIAÇÃO DE TINTAS ECOLÓGICAS PRODUZIDAS A PARTIR DO SOLO. Samia Hassanigy; Dinirson Chalauane; Savio Muchanga; Leila Parruque Jossias. 179

22204 MODELAGEM HIDRODINÂMICA 3D DE UM ESTUÁRIO SUBTROPICAL, DE BARRAS, BIFURCADO: O CASO DA BAÍA DE INHAMBANE (MOZAMBIQUE). G. Solana Arteche; E. Pavo-Fernandez; A. Mavimbele; A.V. Mathe; V. Gracia; M. Grifoll. 181

22224 MORFODINÂMICA DA PENÍNSULA DE MACANETA EM MOÇAMBIQUE. Nélio das Neves O. Sitoe; José Luís Pinho; Anselmo Chaúque; Noca Furaca. 183

22626 GEOQUÍMICA E DINÂMICA DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO CANAL DE ACESSO AO PORTO DA BEIRA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA SUBBACIA ZAMBEZE-SAVE. Assane Luís Pena; Amílcar de Oliveira Soares; Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha. 187

23547 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIO-AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NA BACIA DO RIO INFULENE: ANÁLISE DO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO. Sarlina Bernardo Mazive; Estêvão Pondja; Mery Beatriz M. Rodrigues. 207

23549 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS DESCARGAS DOS EFLUENTES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO INFULENE NO RIO MULAÚZE. Eugénia da Glória Zacarias; Estêvão Pondja. 215

23551 TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DO SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS DA PETROMOC POR ELETROCOAGULAÇÃO. Arcanjo Rodrigues Cuamba; Morais Mauricio Jone; Estevão Pondja; Maria Eduardo 231

23558 INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS. DESAFIOS E ADAPTAÇÃO NUM CONTEXTO DE DINAMICAS RECENTES. Fernando Veloso Gomes 241

Painel III: Infraestruturas De Transporte E Mobilidade Urbana

22183 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NA CIDADE DE MAPUTO E SUAS ASSOCIAÇÕES COM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS. Belzénia Matsimbe; Sara Ferreira. 257

22213 ANÁLISE DA MOBILIDADE URBANA NA CIDADE DA BEIRA: UM ESTUDO SOBRE TRANSPORTES PÚBLICOS E SEMICOLECTIVOS. Ernesto Augusto E. Vicente; Felisberto A. Lima; Lucas S. Lucas. 259

22222 MAPEAMENTO DE TRECHOS VULNERÁVEIS A INUNDAÇÕES NA REDE VIÁRIA DE SOFALA EM MOÇAMBIQUE USANDO O PROCESSO DE HIERARQUIZAÇÃO ANÍLICA. Felisberto António Lima; Agostinho Benta. 269

22494 ANÁLISE DA SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA NA EN1, MANHIÇA. Érica R. C. Lifaniça; Amuza J. Sande. 285

22498 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS ASSOCIADOS PARA A ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. João Falcão e Cunha. 287

23268 DEGRADAÇÃO PRECOCE DE PAVIMENTOS DE PAVÊ EM MOÇAMBIQUE - POTENCIAIS CAUSAS. José A. Walters Monteiro. 289

23457 PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DA PASSAGEM DE NÍVEL DA MACHAVA, PARA OS PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM) - REGIÃO SUL. Karen F. Herculano; Fernando H. Chachaia. 291

23460 O PAPEL DA AMT E DO PROJETO MOVE-MAPUTO NO FUTURO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM MOÇAMBIQUE. António Matos; Fátima Arthur; João Falcão e Cunha. 293

23466 MODELO DE NEGÓCIO NOS TRANSPORTES PÚBLICOS EM MAPUTO. António Matos; Armando Bembele; Edilio Matsena. 301

23467 A REFORMA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS NA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. António Matos; Armando Bembele; Anulávio Máximo; Edilio Matsena. 311

23469 PLANO DIRECTOR DA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. António Matos; Armando Bembele. 329

23476 RE-DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO DA AVENIDA DA ONU, CIDADE DE MAPUTO. G. Gimo, A. Zandamela, J. Diogo. 339

23481 UMA NOVA ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE TRÁFEGO BASEADO NOS UTILIZADORES. Cristina Vilarinho; Rosaldo Rosseti; José Pedro Tavares. 345

23483 ANÁLISE AOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM MAPUTO. António Matos; Amade Mussagy. 357

23488 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS DE INFORMAÇÃO E PAGAMENTO PARA ÁREAS METROPOLITANAS. Marta Campos Ferreira; Joaquín Romero de Tejada; João Falcão e Cunha. 369

23506 DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA A MOBILIDADE DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS DE MAPUTO. Amuza J. Sande 371

Painel IV: Ensino Da Engenharia E Tecnologias De Informação

22175 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E VIRTUAL DE MODELOS TUBULARES UTILIZANDO UMA TECNOLOGIA DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA. Samara C. R. Soares; Elza M. M. Fonseca; Gilmar C. Silva; Carlos C. António. 375

22205 ENSINO DO PROJETO ÓPTIMO NO MESTRADO DE ENGENHARIA MECÂNICA. Carlos C. António. 385

22505 BRIDGING CONTINENTS THROUGH BLENDED MOBILITY: ADVANCING EUROPE-AFRICA COOPERATION IN HIGHER EDUCATION. Nuno Escudeiro; Paula Escudeiro 393

22567 ENGENHARIA E CONTROLO ESTATÍSTICO DE QUALIDADE. Neto Pascoal; Maria Luísa Rocha; António Oliveira. 405

23464 ENERGIA GEOTÉRMICA. UMA UC EM FUNCIONAMENTO NA UNIVERSIDADE DE ÉVORA. Maria Rosa Duque. 411

23501 PROMOTION OF ECOLOGICAL RESTORATION TECHNIQUES THROUGH AN EDUCATIONAL PLATFORM. ADDITIVE MANUFACTURING OF ARTIFICIAL REEFS BASED ON WASTE MATERIALS. Ilse Valenzuela Matus; Joaquim Góis; Paulo Vaz-Pires; Jorge Lino Alves. 417

23508 A IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES. Mário A. P. Vaz; Gonçalo J. Pires Vaz. 431

23566 MOBILIDADE VIRTUAL E INTERCÂMBIO INTERNACIONAL COMO ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO DE ENGENHARIA EM MOÇAMBIQUE. Leila Omar; Roxan Cadir; Vali Issufo. 441

Painel V: Energia

22177 COMPORTAMENTO DE ÓLEOS ISOLANTES MINERAIS E VEGETAIS EM ENSAIOS DE CORRENTE CONTÍNUA. António Fernando Martins Cardoso; António Machado e Moura; José Rui Ferreira; Bernardo Marques Amaral Silva; Carlos Araújo Sá; Ricardo Castro Lopes; Mário Soares. 461

22184 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO PARA A CIDADE DA BEIRA, MOÇAMBIQUE. Belzénia Matsimbe; Alberto Mavume; Alberto Bié. 463

22189 METHANOL SYNTHESIS VIA DIRECT METHANE OXIDATION. Leila Parruque Jossias; Klaus Möller 465

22196 PLANEAMENTO ENERGÉTICO PARA A INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUL DE MOÇAMBIQUE. Gimo A. T. Joaque. 467

22200 CAPACITAR MOÇAMBIQUE: SINERGIA UNIVERSITÁRIA NA TRANSIÇÃO E AVANÇOS NA QUALIDADE DE VIDA. Bruno J. Cardoso; Marco Fernandes; Jasse Semente; Cosme Lingongo; Nelson Envelope; Eugénio Rodrigues; Adélio R. Gaspar. 471

22206 OCORRÊNCIA DE HIDROGÉNIO NATURAL EM MOÇAMBIQUE: UMA FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVÁVEL. Idalina Muchanga; Luís Magaia; Júlio Carneiro; Paulo Mesquita; Augusto Mazezo; Salvador Mondlane Júnior; Daúd Jamal; Gilberto Bauque; Helton Massingue. 483

22227 MODELAÇÃO ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTE URBANO: CASO REAL NO PORTO - PORTUGAL. André Silva; Ana I. Palmero-Marrero; Armando C. Oliveira. 493

22476 OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ISOLADOS PARA ELECTRIFICAÇÃO RURAL CONSIDERANDO A PROBABILIDADE DE PERDA DE CARGA. Verónica Anastância Rafael Wamusse; Leonel João Muthemba; Edson Afonso Joaquim Punguane; Eldomar José Zita1; João Lusito Alberto Mondlane. 503

22489 ANÁLISE DO BACKGROUND NOISE EM ENSAIOS DE DESCARGAS PARCIAIS NO LAT/FEUP. Antonio Fernando Martins Cardoso; António Machado e Moura; Bernardo Marques Amaral Silva; José Rui Ferreira; Matias Fabricius; Mateus Laranjeira. 505

22686 MELHORAR O DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES DE PEROVSKITE ATRAVÉS DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE CAPTURA DE LUZ. Jenny L. N. Boane; Edgar Coimbra; Daniel Camilo; Elvira Fortunato; Rodrigo Martins; Ugur D. Menda; Manuel J. Mendes; Hugo Águas. 517

23458 ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIOGÁS COM VISTA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA ALIMENTAR UMA ÁREA EM KATEMBE. Augusto N. Júnior; Fernando H. Chachaia. 519

23518 ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY POLICIES IN THE HEALTH SECTOR IN THE CITY OF BEIRA. Sandro Luis Rodrigues Pais; Vasco Munguare Penente; Júlio Acácio Pacheco; Calulo Artur Chataza. 521

23523 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE USINA TERMOELÉTRICA MULTIFUNCIONAL COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURAIS EM MOÇAMBIQUE. Edilton I. Chitata, Zefanias Mabote 537

23536 COMPREHENSIVE ANALYSIS OF COCONUT OIL PRODUCTION CAPACITY AND PRACTICES IN INHAMBANE PROVINCE, MOZAMBIQUE: A PATHWAY TOWARD RENEWABLE BIODIESEL FEEDSTOCK. Fana G. Gebremichael; António José Cumbane. 539

23553 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA GASOLINA NA CADEIA DE ABASTECIMENTO NAS BOMBAS DA CIDADE DE MAPUTO. Jéssica Sérgio Mussivane; Estêvão Pondja. 545

Painel VI: Recursos Minerais E Hídricos

22192 USO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS DOS AQUÍFEROS ALUVIONARES DOS RIOS DE AREIA DE MOÇAMBIQUE PARA FINS DE CONSUMO HUMANO E IRRIGAÇÃO. Zunchany Matola. 549

22198 VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO COM ESCÓRIA E OUTROS RESÍDUOS, ENDURECIDOS COM A CARBONATAÇÃO ACELERADA. Joaquim Constantino; J. Castro-Gomes 563

22203 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRATÉGIA PARA PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, PARA CONSUMO HUMANO, NA CIDADE DA BEIRA - MOÇAMBIQUE. Albertina Amélia Alberto Nhavoto; António Guerner Dias; Daniel Agostinho. 577

22210 DIMENSIONAMENTO DE FILTRO DESCENDENTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS. Lulu Lino Dingane; Salvador Carlo Grande. 589

22212 AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E POROSIDADE EM FILTROS DESCENDENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS. Lulu Lino Dingane; Salvador Carlo Grande. 599

22482 POTENCIAL DE COLAPSO DAS “AREIAS VERMELHAS DE LUANDA”, ANGOLA: ESTADO DA ARTE. Francisco M. António; Fernando A. B. Bonito; Agostinho A. R. C. A. Benta; Ângela G. Filipe. 607

22638 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E TECNOLÓGICA DE ARGILAS DE CAFUMPE - MOÇAMBIQUE. Osvaldo Jorge Brito Rupias; Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha. 627

22655 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BAIRRO DE ESTORIL- CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage. 649

23322 AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA E IMPACTO AMBIENTAL DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO PORTO DA BEIRA: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DAS ZONAS COSTEIRAS. Dias Serafim Alfredo Pandze; Ubaldo G.Ombe Gemusse; Fernando Rocha. 661

23468 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: CIDADE DE MAPUTO, MOÇAMBIQUE. Humeid Abdul R. Daud. 663

23471 SÍNTESE DE CLORETO DE ALUMÍNIO A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALUMÍNIO PARA APLICAÇÃO COMO REAGENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA. João Baptista Moane; António José Cumbane. 665

23472 TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS DALLAS CARWASH. Vera Cláudia Mutchamua; Estevão Pondja. 667

23474 CARACTERIZACÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTE DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO. Dulce S. Mutombene; Estêvão Pondja. 669

23475 LICENÇA SOCIAL PARA OPERAR E GESTÃO DE IMPACTOS SOCIAIS - DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA MINEIRA EM MOÇAMBIQUE. Romualdo José Romão Brito; David Selemane José. 681

23517 ESTIMATIVA DE VAZÕES EM LOCAIS SEM DADOS NA BACIA DO PÚNGUÈ EM MOÇAMBIQUE USANDO MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO. Maibeque Francisco João; Ubaldo Ginova Ombe Gemusse. 695

23524 CARACTERIZAÇÃO GEOESTATÍSTICA E ESTRUTURAL DE HOTSPOTS DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE-MACIA. Helton das Neves Alberto Massingue. 703

23526 SÍNTESE DE ZEÓLITAS DE BAIXA RAZÃO Si/Al A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL PARA ADSORÇÃO DE CU2+. Afonso T. S. Mapire; Miguel M. Uamusse; Estevão A. J. Pondja; Jonas V. Matsinhe. 713

Painel VII: Reabilitação Urbana

22186 COMPÓSITOS DE HIPS E CASCA DE AÇAÍ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS. Cirlene F. Bandeira; Izabel de O. da Mota; Bruna A. M. e Silva; Daniel dos S. Aguiar; Jorge L. Rosa; Sérgio R. Montoro. 729

22187 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO MERSOCARPO DO COCO VERDE TRATADO COM NaBH4 EM SOLUÇÃO DE NaOH. Izabel de O. da Mota; Cirlene F. Bandeira; Bruna A. M. e Silva; Daniel dos S. Aguiar; Jorge L. Rosa; Sérgio R. Montoro. 737

22197 IMPACTO DO PRÉ-CONDICIONAMENTO NA CARBONATAÇÃO A SECO DE ESCÓRIA DE FORNO DE ARCO ELÉTRICO: UM CAMINHO PARA MATERIAIS MAIS SUSTENTÁVEIS. G.B. Silva Junior; J. Castro-Gomes; Manuel Magrinho. 747

22649 À REDESCOBERTA DO EDIFICADO DA ILHA DE MOÇAMBIQUE: resultados de uma experiência coletiva de caracterização. Isequiel Alcolete; J. Mendes da Silva; Luís Lage; Lídia Catarino. 759

23463 PROPRIEDADES ESTÉTICAS E MECÂNICAS DO BETÃO BRANCO: UM NOVO PARADIGMA NA CONSTRUÇÃO. Málik Boane; Daniel Mazive; Alexandra Neves. 779

23484 REFORÇO SÍSMICO DE PILARES DE BETÃO ARMADO. Humberto Varum; Camila Carobeno; José Melo; António Arêde. 781

SESSÕES ESPECIAIS (SIMPÓSIOS)

Simpósio Nº1: Materiais e Estruturas

22208 OPTIMISING GEAR DYNAMICS WITHOUT SOLVING EQUATIONS OF MOTION. Francisco H.J. Ricardo; Gonçalo N. Carneiro; Carlos C. António; Pedro M.T. Marques; João D.M. Marafona. 795

22559 ANALYSIS MODELS FOR POLYMER COMPOSITES AT DIFFERENT LENGTH SCALES. Pedro P. Camanho. 807

22579 MASONRY PARTITION WALLS AFFECTED BY THE DEFLECTIONS OF CONCRETE STRUCTURES: A NUMERICAL STUDY. Rui Sousa; Hipólito Sousa; Humberto Varum; José Melo; Luísa Sousa. 809

22618 MULTI-OBJECTIVE MEMETIC-BASED BIOGEOGRAPHY OPTIMIZATION MODEL FOR THE OPTIMAL DESIGN OF MECHANICAL SYSTEMS. Arcílio Carlos Ferreira Peixoto; Carlos C. António. 813

23456 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS, CINZAS DE CARVÃO MINERAL E LAMA VERMELHA, PARA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS. João L.C. Magul; Jonas V. Matsinhe. 833

23470 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO: ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS. Aurélio Sine; Kevin Mavie; Kevin Muagerene. 835

23493 AVALIAÇÃO DA CORROSIVIDADE DE SOLOS PELA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE USANDO O MÉTODO DE WENNER. M. E. Mabue; A.F. Timbane; L.S. Abel. 843

23510 CPFE-BASED FATIGUE MODELLING OF A RAILWAY BRIDGE'S CRITICAL LOCATION. António M.B.F.S. Mourão; José A.F.O. Correia; Claúdio Horas; Abílio M.P. De Jesus; Túlio N. Bittencourt. 851

23511 MODELAÇÃO DE PÓRTICOS DE BETÃO ARMADO PREENCHIDOS COM ALVENARIA. Sebastião P. Cumbane; Pedro Sing-Sang. 865

Simpósio Nº2: Recursos Geológicos - Caracterização, Avaliação, Exploração e Aplicação

22176 GEOMATEMÁTICA APLICADA AO ESTUDO DE CONTAMINAÇÕES DECORRENTES DE ÁREAS MINEIRAS ABANDONADAS. O CASO DE ESTUDO DA MINA DE VALE DAS GATAS (PORTUGAL). Isabel Fagundes; Joaquim Góis; Bárbara Fonseca; José Feliciano; Cristina Carvalho; Paulo Bravo. 871

22180 TRANSPORTES MINEIROS SUBTERRÂNEOS E A SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA EXPLORAÇÃO. O CASO DE ESTUDO DA MINA DA PANASQUEIRA (PORTUGAL). Joaquim Góis; Susana Almeida. 873

22201 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS MINEIROS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO À BASE DE GEOPOLÍMEROS. Fernando Rocha; Andreia Santos; Slavka Andrejkovičová; Fernando Almeida. 891

22207 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO PARA CONSTRUÇÃO DE ESTRADA. ESTUDO DE CASO BAIRRO DA MANANGA- CIDADE DA BEIRA. Lucas Simão Lucas; Felisberto F. Lima; Pedro Franque Bernardo. 893

22223 CONTRIBUTO PARA A DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE, MOÇAMBIQUE. Augusto Mazezo; Paulo Mesquita; Júlio Carneiro; Salvador Mondlane; Gilberto Bauque; Idalina Muchanga; Boaventura Cuamba; Daud Jamal; Luís Magaia; Helton Massingue; Gilberto Mendonça; Bento Muxhanga; Alberto Tsamba. 909

22225 APLICAÇÃO DE SUB-PRODUTOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA E TRANSFORMADORA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS EM COMPÓSITOS PÉTREOS. Ruben Martins; Antônio Azzalini; Jorge Velez; Luís Lopes; Paula Afonso; Paula Faria; Paulo Mourão; Vera Pires. 911

22478 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DA COMUNIDADE DE GOANE 1, DISTRITO DE MOAMBA, PARA UTILIZAÇÃO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Tárcia A. Novela; Isabel R. Duarte; António B. Pinho. 925

22491 AVALIAÇÃO DE RISCO DE INSTABILIDADE DE VERTENTES EM CONTEXTO DE ARRIBA FÓSSIL (ALMADA, PORTUGAL). Paulo Sá Caetano; Daniela Nascimento; João Saúde; Francisco Paulino; Margarida Faleiro; António Dinis; Carlos Costa; Daniel Vendas. 937

23478 UTILIZATION OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES TO DEFINE POTENTIAL TAILINGS AREAS IN ABANDONED MINING AREAS. Bárbara Fonseca; Joaquim Góis; António Guerner Dias; Henrique Garcia Pereira. 939

Simpósio Nº3: Soluções Baseadas na Natureza para Mitigação dos Efeitos das Alterações Climáticas

22486 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO. Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo. 947

23462 IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE RETENCAO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ZONA DE MAROCANHE-CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage; Eulávio Romão Bernardo. 949

23519 COLAPSO DA PONTE HINTZE RIBEIRO: ERROS & LIÇÕES APRENDIDAS. Fabricio S. Gaspar; João Paulo Martins Gouveia. 967

23525 ESTAÇÃO DE TRIAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS. Edilene M.F Chiziane; Albertina Gustavo Pindela 983

23546 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE CAJU (ANACARDIUM OCCIDENTALE L.), NA PROVÍNCIA DE GAZA, REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE. Durque Mário Munguambe. 991

23550 PRODUÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS USANDO BIOCOMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA E REFORÇADAS COM FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS DE RESÍDUOS VEGETAIS. João Edilson Joaquim Pery; Jonas Valente Matsinhe 993

23529 COMPOSTAGEM COMUNITÁRIA COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE: ANÁLISE BASEADA NA CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS - Caso de Estudo Bairro de Nkobe. Salustiana da Mércia Jasse; Ana Gonçalves. 1007

Simpósio Nº4: Geologia Médica e Termalismo

22202 ARGILAS PARA APLICAÇÕES CONJUNTAS DE PELOTERAPIA E ELETROTERAPIA. Fernando Rocha; Carla Bastos. 1029

22390 MODELAGEM DA DISPERSÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Aciel Ashantis; Carla Candeias; José Ângelo dos Anjos. 1031

22391 COMPARATIVE STUDY OF SALINE MUDS FROM AVEIRO AND ALGARVE (PORTUGAL) SALTPANS FOR PELOTHERAPY PURPOSES. Lara Almeida; Fernando Rocha; Carla Candeias. 1033

22407 CHARACTERIZATION OF SPA PELOIDS FOR THERAPEUTICAL APPLICATIONS. Carla Candeias; Nikola Burazer; Lara Almeida; Aleksandra Šajnović; Gordana Gajica; Gorica Veselinović; Branimir Jovančićević; Fernando Rocha. 1035

22561 GEOMEDICINA: O QUE É? PARA QUE SERVE? - ESTUDOS DE CASOS EM MOÇAMBIQUE. Bernardino Bernardo; Carla Candeias; Fernando Rocha. 1037

Simpósio Nº5: Geotecnia Ativa nas Infraestruturas

22483 ENSAIOS SCPTU PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS A PARTIR DA VELOCIDADE DE ONDAS DE CORTE. Luis Andrade-Pais; Leonardo Marchiori; Maria Vitoria Morais; Paulo de Carvalho; Antonio Albuquerque. 1041

22514 CONTROLO TECNOLÓGICO EM SOLOS APLICADO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM (ESTUDO DE CASO NAS ESTRADAS N280 E N281 ENTRE TICA-BÚZI E BÚZI-NOVA SOFALA). Manuel Gabriel Macumo; Albano Sâlzon Maparagem. 1053

Simpósio Nº6: Engenharias: Projetos e Tecnologias Sociais

23487 AVALIAÇÃO DA NEUTRALIDADE DE REDE E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE INTERNET EM MOÇAMBIQUE (Assessment of Network Neutrality and Its Influence on the Quality of Internet Services in Mozambique). Tomás Jambone Francisco. 1073

23520 ECONOMIA DOS SABERES: Extensão, Pesquisa, Territórios e Tecnologias Sociais. Carlos Alberto Máximo Pimenta; Viviane Guimarães Pereira; Adilson da Silva Mello; Maria Aparecida da Silva. 1083

23521 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CAFEICULTURA MEDIADA PELA MANUFATURA ADITIVA: ESTUDO DE CASO. Gabriela Cristina Daniel; Rosinei Batista Ribeiro; Adilson da Silva Mello; Carlos Alberto Pimenta; João Eduardo Chagas Sobral. 1085

23522 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM DISPOSITIVOS MÉDICOS EM PLA IMPRESSOS EM 3D PARA APLICAÇÕES MÉDICAS. Caio Fernando da Silva; Rosinei Batista Ribeiro; Adilson Silva Mello; Alexandre Formigoni; Elsa A. Paz Estévez; Ramon Quiza Sardiñas; Marcelino Rivas Santana. 1087

23538 SISTEMA DE CONTROLO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM NAVIOS DURANTE A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS: estudo de caso da baía de Palma (2013-2023). Sumeila Dinis Cossa; Hagira Naide Gelo; Lucas Sábado Lima. 1089

Simpósio Nº7: Inovação e Sustentabilidade Ambiental

22190 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO BIOCHAR PRODUZIDO A PARTIR DA LAMA DA ETAR PARA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS EM UMA SOLUÇÃO MODELO. Leila Jossias; Kleyde Lissa; Larisse Silveira; Shirley Mariano. 1093

23534 APPLICATION OF CASHEW NUT SHELL LIQUID IN DRILLING OPERATIONS. Nelson Chichava; R.V. Sitoe; A.J. Cumbane. 1103

23535 APLICAÇÃO DO CNSL NA PRODUÇÃO DE TINTAS. Fainesse Cugala; Eduardo Mboa; A.J. Cumbane. 1107

23537 APROVEITAMENTO DO ÓLEO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU PARA PRODUÇÃO DE RESINAS BIO-BASEADAS EM MOÇAMBIQUE. Ernesto Eusébio Matavele. 1115

23541 FORMULAÇÃO DE UM LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO À BASE DE LÍQUIDO DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU. Wilson D. S. A. Raimundo; António J. Cumbane. 1125

23545 PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CAJÚ, PERA E CASCA, EM MOÇAMBIQUE. Americo Uaciquete1, Ilidio Bande; Chadreque Nhanengue; Neid Ali Ferreira; Charline de Rouvroy; Jean Baptiste Roelens; Julia Artigos Sancho. 1135

23555 DESENVOLVIMENTO DE AGENTES DE CURA DERIVADOS DO LÍQUIDO DA CASTANHA DE CAJU (CNSL) PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS EPÓXI DE ISOLADORES ELÉCTRICOS. A.S. Chirico Júnior; A. Cumbane; A. Manhique. 1147

23560 TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA PROVENIENTE DOS POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS DA SASOL POR ELECTROCOAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO. M. Jone; A. Cuamba; E. Pondja; M. Eduardo. 1149

Simpósio Nº8: Poluição do Ar

22385 ELEMENTOS LIGADOS AO PM10 NA ATMOSFERA URBANA DE LUANDA: CONCENTRAÇÕES, FONTES E IMPACTOS. Célia A. Alves; Ana Sanchez de la Campa; Yago Cipoli; Leonardo Furst; Anabela Leitão; Manuel Feliciano. 1163

22386 QUALIDADE DO AR EM ESCOLAS DE LUANDA. Célia Alves; Yago Cipoli; Leonardo Furst; Estela Vicente; Joaquim Ituamba; Anabela Leitão. 1165

22410 DESEMPENHO DE UMA MICROESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR: RESULTADOS DE UM ESTUDO COLABORATIVO PORTUGAL-ANGOLA. Manuel Feliciano; Alan Victor da Silva; Leonardo Furst; Yago A. Cipoli; Marlene J. S. Soares; Anabela G. A. Leitão; Célia A. Alves. 1167

22654 TRATAMENTO DE EFLUENTES NA CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage; Albano Sâlzon Maparagem. 1187

Índice de Autores 1201

PREFÁCIO

As sucessivas edições dos Congressos Luso-Moçambicanos de Engenharia têm constituído, desde a sua primeira edição em 1999, uma referência fundamental no desenvolvimento e na aproximação entre as Engenharias Portuguesa e Moçambicana tendo sido privilegiada, no passado e por diversas ocasiões, com a presença, das mais altas personalidades institucionais de Moçambique. Estas edições têm sido, em várias ocasiões, honradas com a presença de altas figuras institucionais de Moçambique. A realização desta décima edição, em 2025, coincide com as comemorações dos 50 anos da Independência Nacional de Moçambique, conferindo ao congresso um significado ainda mais profundo no reforço da cooperação académica e científica entre os países lusófonos.

Sobre o tema geral "*O Papel da Engenharia na Cooperação entre as Comunidades Lusófonas"*, a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (FEUEM), realizam o 10º *Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia (CLME2025*).

Este congresso, cuja realização decorrerá entre os dias 29 de Julho a 2 de Agosto, nas magníficas instalações do Hotel VIP Grand Maputo, na cidade de Maputo/Moçambique, constitui-se não só como um dos mais importantes encontros da Engenharia Lusófona nas diferentes áreas do conhecimento, mas também como um fórum para o intercâmbio de experiências técnico-cientifico-cultural entre os profissionais de língua oficial Portuguesa.

Para este 10º *Congresso Luso-Moçambicano de Engenharia* foram submetidas mais de 200 propostas das quais 157 comunicações foram seleccionadas para apresentação. Os resumos e alguns textos completos das comunicações encontram-se publicados neste e-Book, que constitui os Proceedings do Congresso. Os artigos selecionados resultam da contribuição de um total de mais de quatrocentos autores oriundos não só de Portugal e Moçambique, na sua maior parte, mas também do Brasil e de outros países Africanos, da CPLP e do Mundo.

O Congresso inclui a organização de sete *Painéis Temáticos*, dinamizados por reputados especialistas convidados, sobre temas atuais de engenharia e de importância estratégica para Portugal, Moçambique e restantes países da CPLP: Inteligência Artificial, Robótica e Novas Tecnologias; Portos, Meio Ambiente e Ordenamento de Zonas Costeiras; Infraestruturas de Transporte e Mobilidade Urbana; Ensino da Engenharia e Tecnologias de Informação; Energia; Recursos Minerais e Hídricos; Reabilitação Urbana.

As comunicações e os artigos estão agrupados nos 7 Painéis acima referidos e em 8 *Simpósios Temáticos / Sessões Especiais*, cobrindo praticamente todas as áreas da engenharia moderna:

Ensino de Engenharia, Materiais e Estruturas, Energia e Ambiente, Pontes e Barragens, Recursos Hídricos, Desenvolvimento de Produto, Agronomia e Engenharia Florestal, Automação e Electrónica, Obras Públicas e Reabilitação Urbana, Informática e Tecnologias de Informação, Infraestruturas de Transportes, Gestão e Engenharia Industrial, Engenharia Química, Recursos e Tecnologias do Mar, Geotecnia e Recursos Minerais, Inovação e Empreendedorismo.

A organização do Congresso com os seus painéis de discussão temática, as sessões paralelas correspondentes, os simpósios e este e-*Book* complementar são o resultado do esforço conjunto de várias instituições e individualidades. Fica aqui expresso o reconhecimento e gratidão da *Comissão Organizadora* a todas as instituições e empresas que apoiaram a realização do Congresso, a todos os membros da *Comissão de Honra*, da *Comissão Científica*, das *Comissões Locais*, dos *Coordenadores dos Simpósios* e dos membros dos diferentes *Painéis Temáticos*, pelo esforço e empenho que puseram em motivar os participantes e, naturalmente, aos autores, pelo número e pela excelente qualidade das comunicações apresentadas e pelo rigor e profundidade com que os diversos temas foram abordados e discutidos.

Maputo/Moçambique, 29 de Julho de 2025.

Carlos Conceição António
Roxan Cadir
Joaquim Góis
Jorge Nhambiu
Ruben Manhiça

Promotores Institucionais

Faculdade de Engenharia da U. Porto Faculdade de Engenharia da UEM

Comissão de Honra

Representante da República de Moçambique		**Representante da República de Portugal**	
Manuel Guilherme Júnior (Reitor da UEM)	António S. Pereira (Reitor da UP)	Rui Calçada (Diretor da FEUP)	Dinis Luis Juizo (Diretor da FEUEM)
Fernando Leite (Diretor Geral da ISUTC, Moçambique)		Edmundo Monteiro (Diretor da FCTUC, Portugal)	
Joaquim Silva Gomes (Presidente honorário do CLME)	António S. Matos (PCA da AMT Moçambique)	João Falcão e Cunha (ex-Director da FEUP)	
Alberto Tsamba (Ordem de Engenheiros de Moçambique)	Alexandra Neves (Técnica Consultores)	Luis Helder (Director do CSOGET)	

Comissão Científica

Alberto J. Tsamba (FEUEM)	Humberto Varum (FEUP)	Nelson Matsinhe (FEUEM)
Alcibíades Guedes (INEGI/FEUP)	Isabel Duarte (U. Évora)	Nilsa Collinson (FCUEM)
Anabela Paiva (UTAD)	J. Santos Baptista (FEUP)	Paulo Canhoto (U. Évora)
António Cumbane (FEUEM)	J. Silva Gomes (FEUP)	Paulo G. Piloto (IPB)
António M. Moura (FEUP)	João Ferreira (IST)	Pedro Areias (IST)
A. Pires da Costa (FEUP)	João Lanzinha (UBI)	Pedro Camanho (INEGI/FEUP)
Alberto Cardoso (UC)	João Lemos Pinto (U. Aveiro)	Raúl Fangueiro (UM)
Alexandra Neves (FEUEM)	João Manuel Tavares (FEUP)	Renato N. Jorge (FEUP)
Álvaro Cunha (FEUP)	Joaquim Góis (FEUP/OE)	Roxan Cadir (FEUEM)
António Pinho (U. Évora)	Jorge Lino Alves (FEUP)	Rosinei Ribeiro (UPEP - CEETEPS)
Aurélio Sine (LEM, IP)	Jorge Nhambiu (FEUEM)	Ruben Manhiça (FEUEM)
Carlos A. Pimenta (IEPG-UNIFEI)	José Correia (FEUP)	Rúben Martins (U. Évora)
Carlos C. António (FEUP)	José Pedro Tavares (FEUP)	Rui Gonzalez (LEM, IP)
Carlos Rodrigues (IPG)	Justino G. Doho (FEUEM)	Shaker Meguid (U. Toronto)
Carlos V. Quadros (FEUEM)	Jonas Matsinhe (FEUEM)	Vithor Nypwipwy (FEUEM)
Cláudia Beato (UBI)	Luís Lopes (U. Évora)	Victor Cavaleiro (UBI)
Edna Cabecinha (UTAD)	Luís Pais (UBI)	Zacarias Chilengue (FEUEM)
Edmundo Monteiro (FCTUC)	Luísa Costa (FEUP)	
Elza Fonseca (ISEP)	Luísa P.C. Lopes (IPV)	
Estevão Pondja (FEUEM)	Margarida Marques (UTAD)	
F. Veloso Gomes (FEUP)	Maria José Abreu (UM)	
Fernando Chaichaia (FEUEM)	Maria M. Moreira (U. Évora)	
Fernando Branco (FCTUC)	Maria R. Duque (U. Évora)	
Hélder Araújo (FCTUC)	Mário Augusto Vaz (FEUP)	
Hipólito Sousa (FEUP)	Marta Campos Ferreira (FEUP)	
Hugo Rodrigues (IPL)	Miguel Amado (FCT/UNL)	

Promotores Institucionais

Faculdade de Engenharia da U. Porto Faculdade de Engenharia da UEM

Comissão de Honra

Representante da República de Moçambique		**Representante da República de Portugal**	
Manuel Guilherme Júnior (Reitor da UEM)	António S. Pereira (Reitor da UP)	Rui Calçada (Diretor da FEUP)	Dinis Luis Juizo (Diretor da FEUEM)
Fernando Leite (Diretor Geral da ISUTC, Moçambique)		Edmundo Monteiro (Diretor da FCTUC, Portugal)	
Joaquim Silva Gomes (Presidente honorário do CLME)	António S. Matos (PCA da AMT Moçambique)	João Falcão e Cunha (ex-Director da FEUP)	
Alberto Tsamba (Ordem de Engenheiros de Moçambique)	Alexandra Neves (Técnica Consultores)	Luis Helder (Director do CSOGET)	

Comissão Científica

Alberto J. Tsamba (FEUEM)	Humberto Varum (FEUP)	Nelson Matsinhe (FEUEM)
Alcibíades Guedes (INEGI/FEUP)	Isabel Duarte (U. Évora)	Nilsa Collinson (FCUEM)
Anabela Paiva (UTAD)	J. Santos Baptista (FEUP)	Paulo Canhoto (U. Évora)
António Cumbane (FEUEM)	J. Silva Gomes (FEUP)	Paulo G. Piloto (IPB)
António M. Moura (FEUP)	João Ferreira (IST)	Pedro Areias (IST)
A. Pires da Costa (FEUP)	João Lanzinha (UBI)	Pedro Camanho (INEGI/FEUP)
Alberto Cardoso (UC)	João Lemos Pinto (U. Aveiro)	Raúl Fangueiro (UM)
Alexandra Neves (FEUEM)	João Manuel Tavares (FEUP)	Renato N. Jorge (FEUP)
Álvaro Cunha (FEUP)	Joaquim Góis (FEUP/OE)	Roxan Cadir (FEUEM)
António Pinho (U. Évora)	Jorge Lino Alves (FEUP)	Rosinei Ribeiro (UPEP - CEETEPS)
Aurélio Sine (LEM, IP)	Jorge Nhambiu (FEUEM)	Ruben Manhiça (FEUEM)
Carlos A. Pimenta (IEPG-UNIFEI)	José Correia (FEUP)	Rúben Martins (U. Évora)
Carlos C. António (FEUP)	José Pedro Tavares (FEUP)	Rui Gonzalez (LEM, IP)
Carlos Rodrigues (IPG)	Justino G. Doho (FEUEM)	Shaker Meguid (U. Toronto)
Carlos V. Quadros (FEUEM)	Jonas Matsinhe (FEUEM)	Vithor Nypwipwy (FEUEM)
Cláudia Beato (UBI)	Luís Lopes (U. Évora)	Victor Cavaleiro (UBI)
Edna Cabecinha (UTAD)	Luís Pais (UBI)	Zacarias Chilengue (FEUEM)
Edmundo Monteiro (FCTUC)	Luísa Costa (FEUP)	
Elza Fonseca (ISEP)	Luísa P.C. Lopes (IPV)	
Estevão Pondja (FEUEM)	Margarida Marques (UTAD)	
F. Veloso Gomes (FEUP)	Maria José Abreu (UM)	
Fernando Chaichaia (FEUEM)	Maria M. Moreira (U. Évora)	
Fernando Branco (FCTUC)	Maria R. Duque (U. Évora)	
Hélder Araújo (FCTUC)	Mário Augusto Vaz (FEUP)	
Hipólito Sousa (FEUP)	Marta Campos Ferreira (FEUP)	
Hugo Rodrigues (IPL)	Miguel Amado (FCT/UNL)	

Comissão Executiva

Carlos C. António	**Joaquim Góis**	**Roxan Cadir**	**Dinis Luís Juízo**
(Presidente Executivo em Portugal - FEUP)	(FEUP)	(Presidente Executivo em Moçambique - FEUEM)	(FEUEM)

Comissão Organizadora

Carlos C. António (FEUP)	**Joaquim Góis** (FEUP)	**Roxan Cadir** (FEUEM)	**Ruben Manhiça** (FEUEM)
Afonso Macheca (FEUEM)	**Zefanias Mabote** (FEUEM)	**Dionisio Langa** (FEUEM)	**Joaquim Tchamo** (FEUEM)
Jorge Lino (FEUP)	**Luisa C. Sousa** (FEUP)	**Paxis Roque** (FEUEM)	**Jonas Matsinhe** (FEUEM)
	Leila Jossias (FEUEM)	**Estevão Pondja** (FEUEM)	

Secretariado

Lurdes Catalino, Maria João, Jacinta Jasso, Inácio Jonas e Xavier Mahumane

Com apoio de

ABREU-PCO, Professional Congress Organizer (http://pco.abreu.pt)

Mercatura Conference System (http://www.mercatura.pt)

Painéis Temáticos

PAINEL I: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, ROBÓTICA E NOVAS TECNOLOGIAS
Mesa do Painel:
Hélder Araújo (ISR Instituto de Sistemas e Robótica, DEEC, UC, Portugal) – Moderador;
Ruben Manhiça (FEUEM, Moçambique) – Moderador;
António L. Soares (FEUP, Portugal);
Nilza Collinson (FE, UEM, Moçambique).

PAINEL II: PORTOS, MEIO AMBIENTE E ORDENAMENTO DE ZONAS COSTEIRAS
Mesa do Painel:
Clemêncio Nhantumbo (UEM, Moçambique) – Moderador
Fernando Veloso Gomes (Professor da FEUP, Portugal) – Moderador
Carlos Mesquita (Moçambique)

PAINEL III: INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTE E MOBILIDADE URBANA
Mesa do Painel:
João Falcão e Cunha (ex-Director da FEUP, Portugal) – Moderador
António S. Matos (PCA da AMTM, Moçambique) – Moderador
Armando Bembele (AMTM, Moçambique)
José Pedro Tavares (FEUP, Portugal)

PAINEL IV: ENSINO DA ENGENHARIA E TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO
Mesa do Painel:
Roxan Cadir (FEUEM, Moçambique) – Moderadora
Rui Calçada (Diretor da FEUP, Portugal) – Moderador
Estevão Pondja (FEUEM, Moçambique)
Mário Augusto Vaz, (FEUP, Portugal)

PAINEL V: ENERGIA
Mesa do Painel:
Alberto Tsamba (FEUEM, Moçambique) – Moderador
Teresa Ponce Leão (LNEG, Professora FEUP, Portugal) – Moderadora
Milagre Manhique (UEM, Moçambique)
Ana Palmero-Marrero (FEUP, Portugal)

PAINEL VI: RECURSOS MINERAIS E HÍDRICOS
Mesa do Painel:
Dinis Luis Juizo (FEUEM, Moçambique) – Moderador
Fernando Rocha (U. Aveiro, Portugal) – Moderador
Joaquim S. Góis (Professor da FEUP/OE, Portugal)
Luis Helder (CS-OGET, Moçambique)

PAINEL VII: REABILITAÇÃO URBANA
Mesa do Painel:
Alexandra Neves (FEUEM, Moçambique) – Moderadora
Humberto Varum (FEUP/OE, Portugal)) – Moderador
Aurélio Sine (LEM, IP, Moçambique)

Simpósios Temáticos

Simpósio Nº 1: **Materiais e Estruturas**
Coordenadores: Carlos Conceição António (FEUP, Portugal), Ricardo Oliveira de Faria (FEUP, Portugal), Arcilio Ferreira Peixoto (FEUP, Portugal), Alexandra Neves (FE UEM, Moçambique) e Saturnino Chembeze (FE UEM, Moçambique)

Simpósio Nº 2: **Recursos Geológicos – Caracterização, Avaliação, Exploração e Aplicação**
Coordenadores: Isabel M.R. Duarte (U. Évora, Portugal), António B. Pinho (U. Évora, Portugal), Luis Lopes (U. Évora, Portugal), Ruben Martins (U. Évora, Portugal), Oscar Nhabanga (FE UEM, Moçambique) e Alberto Bila (FE UEM, Moçambique).

Simpósio Nº 3: **Soluções Baseadas na Natureza para Mitigação dos Efeitos das Alterações Climáticas**
Coordenadores: Carlos António (FEUP, Portugal), Leila Jossias (FE UEM, Moçambique) Joaquim Góis (FEUP, Portugal) e Ruben Manhiça (FE UEM, Moçambique).

Simpósio Nº 4: **Geologia Médica e Termalismo**
Coordenadores: Fernando Rocha (U. Aveiro, Portugal), Carla Candeias (U. Aveiro, Portugal), Jonas Matsinhe (FE UEM, Moçambique) e Roxan Cadir (FEUEM, Moçambique).

Simpósio Nº 5: **Geotecnia Activa nas Infra-Estruturas**
Coordenador: Luís José Andrade Pais (Dep Eng Civil e Arquit UBI, Portugal), Paulo E. Maia de Carvalho (Dep Eng Civil e Arquit UBI, Portugal), Joaquim Tchamo (FE UEM, Moçambique) e Aurelio Sine (LEM, IP, Moçambique)

Simpósio Nº 6: **Engenharias: Projetos e Tecnologias Sociais**
Coordenadores: Rosinei Batista Ribeiro (UPEP - CEETEPS, Brasil), Alexandre Formigoni (UPEP – CEETEPS, Brasil), Silvia Pierre Irazusta (UPEP – CEETEPS, Brasil), Francisco de Moral Hernandez (UPEP – CEETEPS, Brasil), Eliane Antonio Simões (UPEP – CEETEPS, Brasil), Cláudio Rodrigo Torres (UPEP – CEETEPS, Brasil), Eliacy Cavalcanti Lélis (UPEP-CEETEPS, Brasil), Carlos Alberto Máximo Pimenta (UNIFEI, Brasil), Márcio Lopes Pimenta (UFU, Brasil), Adilson da Silva Melo (UNIFEI, Brasil), Caio Flavio Stettiner (UNIFEI, Brasil), Jonas Matsinhe (FEUEM), Roxan Cadir (FE-UEM).

Simpósio Nº 7: **Inovação e Sustentabilidade Ambiental**
Coordenador: António José Cumbane (Centro de Excelência em Estudos de Engenharia e Tecnologia de Petróleo e Gás, UEM, Moçambique) e Afonso Macheca (FE-UEM).

Simpósio Nº 8: **Poluição do Ar**
Coordenador: Célia Alves (U. Aveiro, Portugal) e Leila Jossias (FE-UEM)

PAINÉIS TEMÁTICOS

Painel I: Inteligência Artificial, Robótica E Novas Tecnologias

22182 OPEN-SOURCE 3D PRINTING: A JOURNEY THROUGH TIME IN THE TECHNOLOGICAL, SCIENTIFIC, AND EDUCATIONAL REVOLUTION. Jorge Lino Alves; Leonardo Santana. 3

22199 TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO DO SECTOR DA ÁGUA: DESENVOLVIMENTO URBANO E MONITORIZAÇÃO COMUNITÁRIA. António Jorge Monteiro; Ricardo Germano; Ana Silva; Alcino Nacume. 37

22209 OPEN-HARDWARE COMO ALAVANCA DE DESENVOLVIMENTO, ESTUDO DO CASO DOS PROJECTOS DA FACULDADE DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS DA UNISAVE. D. Mbanze; J. Otero; R. Farré; G. Solana. 39

22487 DESCONSTRUÇÃO DISCIPLINAR DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: REGRAS PARA DIRECÇÃO DO ESPÍRITO SOBRE O SEU OBJECTO E MÉTODO NAS CIÊNCIAS. Luís Roberto da Silva Olumene. 49

22488 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA CONTROLO DE DOAÇÕES DE FUNDOS MONETÁRIOS PARA EFEITOS MEDICINAIS. Rafael Beto Mpfumo, Delton Ramiro. 59

22492 MODELO DE SISTEMA DE FACTURAÇÃO OFFLINE PARA COMPUTAÇÃO CONFIDENCIAL. Ataíde G. P. Chilaúle. 77

22613 TRANSFORMER-BASED NEURAL NETWORKS FOR ROAD TRAFFIC FORECASTING: A CASE. Lauro Mota; Obiora Nnene; Atanásio Tembe. 81

22628 INDÚSTRIA 5.0: UMA TRANSFORMAÇÃO DE VALORES NA INDÚSTRIA EUROPEIA. António Lucas Soares; Ricardo Zimmermann ; Ana Correia Simões. 101

23461 AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE CAMPOS AGRÍCOLAS COM BASE EM RASPBERRY PI E ENERGIA SOLAR. CASO DE ESTUDO: CAMPOS AGRÍCOLAS DE MUNDAVENE, NO DISTRITO DE GOBA, NA PROVÍNCIA DE MAPUTO. Leila A. Mahumane; Fernando H. Chachaia. 103

23505 INOVAÇÃO ALIMENTAR ATRAVÉS DA IMPRESSÃO 3D: NOVOS CAMINHOS PARA UMA ALIMENTAÇÃO PERSONALIZADA. Lígia Afreixo Silva; Jorge Lino Alves 105

23509 PROJECTO REMAIN: DETECÇÃO DE DEFEITOS EM SAPATOS PARA REMANUFATURA ROBÓTICA. Helder Araújo; Eva Curto. 115

23527 MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA DOS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NAS DIVERSAS INDÚSTRIAS A NÍVEL DA CIDADE DE MAPUTO COM RECURSO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O SCADA. Samuel Fibione Jofrisse Júnior; Zacarias Fernando Nharongue Secane. 121

23532 SISTEMA DE RECARREGAMENTO REMOTO DE CONTADORES PRÉ-PAGOS DE ENERGIA ELÉCTRICA VIA SMS. Aziza Plantão; Hélio Gove; Hagira Gelo. 149

23533 DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO DE IMEI PARA O COMBATE AO EXTRAVIO DE CELULARES EM MOÇAMBIQUE NO ANO DE 2024. Eduardo Filimone Guambe Júnior; Hagira Gelo, Hélio Gove; Luís Cumaio. 151

23539 SISTEMA DE RASTREAMENTO E MONITORAMENTO DA LOCALIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES E CONTROLO DAS ACTIVIDADES DE PESCA ARTESANAL LOCAL NA BAÍA DE MAPUTO. Bernardino Jaime Cuambe Júnior; Natalino Abílio Manjate; Helio Gove. 159

23548 DADOS PESSOAIS: DIREITOS E DEVERES NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL - UMA PERSPECTIVA FOCADA NO TITULAR DOS DADOS EM MOÇAMBIQUE. Vitor M.O.B. Guerra. 161

23500 SEARCH SPACE DISCONTINUITY-AWARE CROSSOVER OPERATOR FOR THE OPTIMAL DESIGN OF HYBRID COMPOSITE STRUCTURES. Ricardo O. Faria; Carlos C. António. 165

PAPER Nr.22182

OPEN-SOURCE 3D PRINTING: A JOURNEY THROUGH TIME IN THE TECHNOLOGICAL, SCIENTIFIC, AND EDUCATIONAL REVOLUTION

Jorge Lino Alves [1(*)], Leonardo Santana [2]

[1] INEGI, Faculty of Engineering of the University of Porto (FEUP, Porto, Portugal
[2] Federal University of Santa Catarina, Department of Mechanical Engineering - Florianopolis, Brazil
[(*)] *Email:* falves@fe.up.pt

ABSTRACT

For many years, our society was conditioned to use proprietary systems, whether in terms of equipment or software. Looking at open-source tools often raised suspicions about their capabilities or the need for advanced knowledge, especially in the context of IT. The technological democratization promoted by open-source philosophies in 3D Printing came to break the paradigms surrounding public domain systems, becoming the most widely used concept of free software and hardware in the world. Important movements, such as RepRap, took Additive Manufacturing (AM) technology, mainly extrusion-based, from the professional (industrial) environment to the home, thus allowing enthusiasts and specialists to exchange knowledge and improve the technique and its field of application. Open-source extrusion-based 3D Printing is today a successful multidisciplinary learning platform, associated with low cost and efficiency. Such systems have integrated several areas such as engineering, medicine, arts, and materials science, becoming an important mechanism for developing research in materials, food, and biological sciences, as well as a construction method for aerospace, automotive, consumer goods, and customized elements. In addition to the technical aspect, open-source AM has become an educational strategy at primary and higher education levels, transforming society from the base to the professional market. Given the importance of the topic, a systematic theoretical review is proposed to understand the technical advances of low-cost, open-source extrusion-based 3D Printing in Brazil and Portugal between 2004 and 2025. The aim is to verify the parallel growth in the different realities, South America, and Europe. To this end, a systematic bibliographic study will be carried out on scientific platforms focused on collecting data on free hardware equipment projects and their applications in Medicine, Materials Science, Food Industry, and Civil Construction.

***Keywords**:* open-source, 3D printing, extrusion-based, systematic review.

INTRODUCTION

Freedom, accessibility, democratization, and sharing are principles and knowledge that govern the development of a prosperous and egalitarian society, both in terms of its human and financial resources. In contrast to the context of social organization, we are still dependent, in our daily lives, on products, systems or services of a proprietary, closed nature, with little or no participation of users in the development of these resources. Some sectors, however, have begun to develop productive elements capable of being accessed and modified by those who use them in their daily lives, whether in professional or personal activities. These “open” concepts, sometimes plagued by distrust regarding their quality, have been overcoming the barriers

imposed by people and, mainly, by the consumer goods market and are gaining more and more space in products that affect the quality and routine activities of our lives.

"Open-source": this is perhaps the most widely used term when we talk about the creation of open-access systems. The open-source (OS) concept is related to products, services, and ideas that are not tied to a proprietary contract restricted to their inventors. The basis of this philosophy is to ensure that all users have unrestricted access to the documents, data, and materials of a finished product, without costs associated with its use, modification, and improvement. The origin of the term OS is often related to the world of computing, characterized by free access to the source code of computer programs. Despite its strong connection with the world of software, the term "open-source" has transcended its origins and has come to be used to characterize any movement that uses the OS principles described in the context of computing (Pitt et al., 2006; Wong, 2011; Santana, 2019). Engard (2010a) states that the concept of open-source is something much bigger than just the code behind a software; it is about precepts related to community, collaboration, and innovation.

When referring to the concept of open source, Engard (2010a) highlights an important word that defines people with an affinity for this philosophy: community. Open-source communities are self-governing and self-organized systems. In these groups, the assumption is always to meet the need for resources acclaimed by a significant number of participants (Engard, 2010b). Open software and hardware platforms are, therefore, based on two pillars: (i) acting as a social platform and (ii) providing tools that allow efficient collaboration. In the social context, the basis of a community is created through a network of connections that allows the meeting of creators, active participants and interested parties in promoting awareness around open projects. The second pillar, in turn, consists of providing means for the community to act as a collaboration ecosystem. Such means can be online project repositories and wiki libraries (Hansen and Howard, 2013; Santana, 2019).

The success of open-source policies in the software sector has motivated the expansion and transposition of these practices to other scenarios, through free culture movements employed, for example, in hardware development (Powell, 2012). The vision of unrestricted access in hardware construction is described in Powell (2012) as an act in which physical objects are broken and remade, within a set of actions that are part of a wide range of cultural practices that include crafts, repairs and activities based on the "do it yourself" (DIY) concept. For Pearce (2012), the collaborative and open ideal of FOSS (Free and Open-Source Software) licenses can be easily transferred to hardware design and construction. Free and Open-Source Hardware (FOSH) is, therefore, an element in which the project is public, released with a license that grants any individual the right to study, modify, build, or even sell it. The development logic of these systems is based on sharing documentation that makes the process of creating a product open to external participation (Pearce, 2014; Mies et al., 2019; Santana, 2019).

With the advent of open-source hardware, the "Maker Movement" has emerged. This movement stands out for reducing barriers around project development between professionals and amateurs, for maximizing knowledge sharing, and for accelerating innovations linked to DIY culture (Dai et al., 2020). In addition to issues related to integrating people to create products, a well-designed open hardware device can combine ease of use, reliability like that of a commercial product, high performance, and flexibility (Siegle et al., 2015).

When we talk about open-source hardware, it is impossible not to mention the Arduino platform, considered the main large-scale success story of a product based on the concept of open access. One of the main board models, the Arduino Uno, was responsible for a total of ten million units sold by 2021. The Arduino concept consists of a family of electronic boards, based

on programmable microcontrollers, created at the Institute of Interaction Design in Ivrea (Italy). Such systems are very popular among maker movement enthusiasts due to their reliability, robustness, standardized connections, and low cost, and can be easily used to develop autonomous measurement and control mechanisms, with different levels of complexity. The versatility and applicability of Arduino boards can be further expanded with the use of special boards, called "shields", to act in the control of motors, light-emitting diodes (LED), among other external devices. Advances in software and hardware resources on the Arduino platform contribute to the insertion of these systems as a fundamental element for controlling machines, such as laser cutting equipment and, mainly, 3D printers (Gibb et al., 2015; Matijevic and Cvjetkovic, 2016; Santana, 2019; Kim et al., 2020; Control Design, 2021; Wenzel, 2023).

After a journey through several concepts, we arrived, with Arduino, at the central element of this study: open-source 3D printing. The Arduino platform stood out by acting as the "brain" in the process of creating low-cost, open-source 3D printers, especially the RepRap project (Replicating Rapid – Prototyper) (Pearce, 2014).

The RepRap project was born at the University of Bath (United Kingdom) in 2005 on the initiative of Professor Dr. Adrian Bowyer, with the intention of creating a trend driven by the construction of desktop 3D printers. Bowyer decided to create open-source machines with the power to self-replicate. Self-replication was characterized by the ability of the printer itself to manufacture around 50% of its own parts, in a clear process of dissemination of equipment from user to user. The RepRap models were based on a reinterpretation of Additive Manufacturing technology based on the Fusion Deposition Modeling (FDM) technique, at the time owned by the company Stratasys™, which used thermoplastic filaments, heated, and transformed into a semi-liquid/pasty state, to build parts in layers. Stratasys™ held patents for the FDM process between 1989 and 2009. For this reason, the RepRap movement adopted the terminology Fused Filament Fabrication (FFF) to describe the layer-forming agent of its machines. The RepRap project was published under the GNU (General Public License) licenses, thus allowing use by anyone, with the exception that any changes to the project would be published under the same license (Barnatt, 2014; Pearce, 2014; Yanamandram and Panchal, 2014; Horne, 2015; Santana, 2019; Rayna et al., 2023; Pazaitis et al., 2025).

According to Rayna et al. (2023), the RepRap community has more than 6,000 active members, and is therefore considered one of the most successful open-source hardware initiatives, which has also served as the basis for most commercially available desktop 3D printer models. Since its creation, the RepRap project has been responsible for the emergence of more than 70 printer models, many of which are the result of collaboration between hobbyists, workers in organizations that use 3D printers, or employees of companies that sell these machines (Rayna et al., 2023).

Another important project for the development of low-cost, open-source 3D printing systems was Fab@home. Founded in 2006 at Cornell University (United States), the Fab@home concept brought a different approach to the RepRap self-replication model. In this case, the inventors sought to promote multipurpose manufacturing, based on the equipment's ability to operate with a variety of raw materials. Using a set of syringes, the machines could print with silicones, chocolate, sugar coating, cheese, plasticine, among others (Malone and Lipson, 2007; Berchon and Luyt, 2014; Santana, 2019).

If we analyze the contributions of the RepRap and Fab@home projects, we can clearly outline the 3D Printing scenario we live in today. RepRap taught us and provided us with the ability to produce low cost machines with high customization power, a target of interest for any scientific or technological application. The Fab@home concept can be associated with the need for "open

material" systems, that is, capable of operating with different materials and providing printed parts with special properties and a variety of applications. The fact is that open source FFF 3D printing equipment, unlike commercial solutions, allows for greater flexibility and possibilities for adaptations for research and applications, since it allows access to the technology's control and operation protocols (Pallarolas, 2013).

Zhang et al. (2016) highlight that the combination of open-source software and hardware is responsible for providing viable methods for the design and manufacture of scientific research equipment, with low cost and high customization. According to the authors, open-source 3D printers are essential for the construction of scientific tools, which characterizes this equipment as a flexible platform for science. Research itself represents the end of a chain of scientific and technological development that goes through the entire training of a professional. In this sense, 3D Printing becomes essential for improving education, remodeling the teaching, and learning paradigms, in various phases of academic life, whether in regular and special schools, or in higher education in science, technology, engineering, mathematics, among others. The introduction of 3D Printing technology in classrooms helps transform abstract concepts into tangible models, ensuring a more concrete understanding of the subjects and filling the knowledge gaps between theory and practice (Kefalis et al., 2024; Munir et al., 2025).

Open-source 3D printing, especially extrusion-based systems such as FFF, is currently a successful multidisciplinary learning platform associated with low cost and efficiency. These systems integrate several strategic areas for the development of a society, such as Engineering, Medicine, Arts and Materials Science. The multifunctionality of open-source printers makes them an important mechanism for high-performance research in raw materials, food, and life sciences, as well as a construction method for the aerospace, automotive, consumer goods and custom elements sectors (Lei et al., 2022; Vanaei et al., 2024). For Ibach (2023). The 3D printer is a "projection screen" for the ecosocial maker movement, which symbolizes the desire for networked collaboration, ecological and social participation, political empowerment, and socioeconomic transformation.

After a brief understanding of the movements and ideas responsible for the changes in thinking around open technologies and their transformative benefits, the question that remained for us was: what were Portugal and Brazil "doing" in this period of revolution and democratization of 3D printing?

This question is motivated by the trajectory of the authors of this paper. In 2015, Leonardo Santana traveled from Brazil to Portugal to continue his research in open-source 3D printing, with a doctoral project at the University of Porto. Leonardo began his research in 2012 on open-source machines, in a scientific initiation project, with the construction of a RepRap printer – Figure 1 (a). Using this equipment, he carried out a study on the capabilities of these printers and analyzed the origins of failures in material deposition, formalizing the research with the defense of a master's thesis in 2015 (Santana, 2015) and the publication of an article in the Rapid Prototyping Journal (Santana et al., 2017a). In Portugal, during this period, Professor Jorge Lino, who would later become Leonardo's doctoral supervisor, completed the supervision of a master's thesis on the development of an open-source 3D printing system for food processing (Ferreira, 2015; Ferreira and Alves, 2017), Figure 1 (b), something little explored at the time, but with great appeal today.

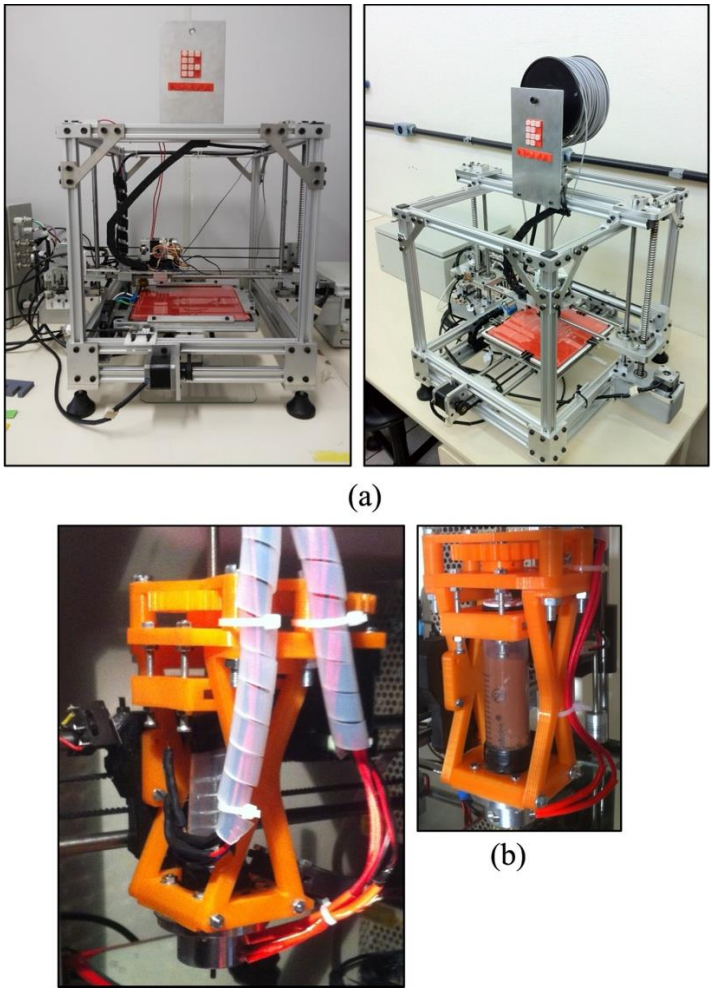


Fig. 1 – (a) 3D printer developed at the Federal Institute of Santa Catarina (Brazil) (2012-2015) (source: Leonardo Santana's personal collection) and (b) food extruder head produced under the guidance of Jorge Lino (Ferreira, 2015) (reprinted from Ferreira (2015) with permission from Jorge Lino (supervisor)).

In this paper, we will present an overview of research in both countries through a bibliometric analysis in different databases, as well as some applications of low-cost, open-source 3D Printing in different sectors.

PART 1: BIBLIOMETRIC ANALYSIS

Initially, the bibliometric analysis was carried out on the Google Scholar platform, since this environment allows browsing through various types of academic, scientific, or technical productions, which include articles, course completion papers, master's theses, doctoral dissertations, books, among others. This first study sought a broader analysis and, therefore, evaluated academic publications between the years 2004 and 2024 (20 years) on the topic of open-source 3D Printing in Brazil and Portugal. For this, we have used Publish or Perish™ software (version 8.12).

The following keywords were entered into the search engine, searching for titles in Portuguese and English: *"Impressão 3D de código aberto AND Brasil", "Open-source 3D printing AND Brazil", "Impressão 3D de código aberto AND Portugal", "Open-source 3D printing AND Portugal"*. For each country, 200 most cited titles for each language were evaluated. The

materials acquired were analyzed and organized in spreadsheets in Microsoft Excel™ software with information such as year of publication, title, authors, universities, abstract and type of publication. Titles that were directly related to the construction of open-source machines, applications of this equipment and related to derived concepts, such as 3D scanning and modeling, were considered for analysis. Another inclusion criterion for the analysis was that the first author of the work should be affiliated with an institution (university, research center, or company) in one of the countries analyzed.

From the data obtained, graphs were produced with information such as: (i) quantity of academic productions per year (dividing the totals into Portuguese and English); (ii) total publications by region of the countries; (iii) types of academic works; and (iv) themes associated with the studies. In addition to the graphs, word clouds were produced, with the help of the online tool WordClouds.com, to identify the most frequently occurring terms in the works carried out in Brazil and Portugal.

Once the analyses on Google Scholar were completed, in the second stage of this investigation analyses were restricted to papers indexed on the scientific platforms Scopus and Web of Science. A search formula was used in each database: (i) *Scopus:(TITLE-ABS-KEY("open source 3D printer" OR "open-source 3D printing" OR "RepRap" OR "low cost 3D printer" OR "Fused Filament Fabrication" OR "Extrusion based 3D printer" OR "Extrusion based 3D printing")) AND (AFFILCOUNTRY(Brazil)) AND (AFFILORG(universidade OR university))* (this formula was also used for the bibliometric analysis of Portugal, with only the country code modified to AFFILCOUNTRY(Portugal)); (ii) Web of Science: *TS = ("open source 3D printer" OR "open-source 3D printing" OR "RepRap" OR "low cost 3D printer" OR "Fused Filament Fabrication" OR "Extrusion based 3D printer" OR "Extrusion based 3D printing") AND CU=(Brazil*)(the same formula was used for Portugal, only modifying the code CU=(Portugal)). The time range was limited by the platforms themselves, with occurrences between 2012 – 2025 for Scopus and between 2015 – 2025 for Web of Science.

In addition to the titles of the papers, the databases provided important information about the universities where the papers originated, types of subjects, which were used to produce the statistical graphs. The same inclusion criteria used for the Google Scholar search were applied to the selection of papers on the Scopus and Web of Science platforms.

Analytical Search on Google Scholar

After analyzing each of the titles and abstracts of the academic productions found on the Google Scholar platform, the selected data were compiled by year, for each of the languages of the research. The results of this analysis are presented in Figure 2 (a) and (b), respectively for Brazil and Portugal.

In Brazil, most of the papers selected for this research were presented in Portuguese, corresponding to 62% of the tabulated research. In Portugal, the scenario was no different, with 65% of the publications produced in the country's native language. Still on the results of Figure 2, it is possible to verify in (a) that the first publication on the subject in Brazil was a paper in English, made available in 2009. In Portugal, Figure 2 (b), the first occurrence related to the subject of interest was in 2011 in the format of a master's thesis in Portuguese. It is always important to emphasize that these analyses on the first scientific publications in each country are restricted to the methodology used in this study.

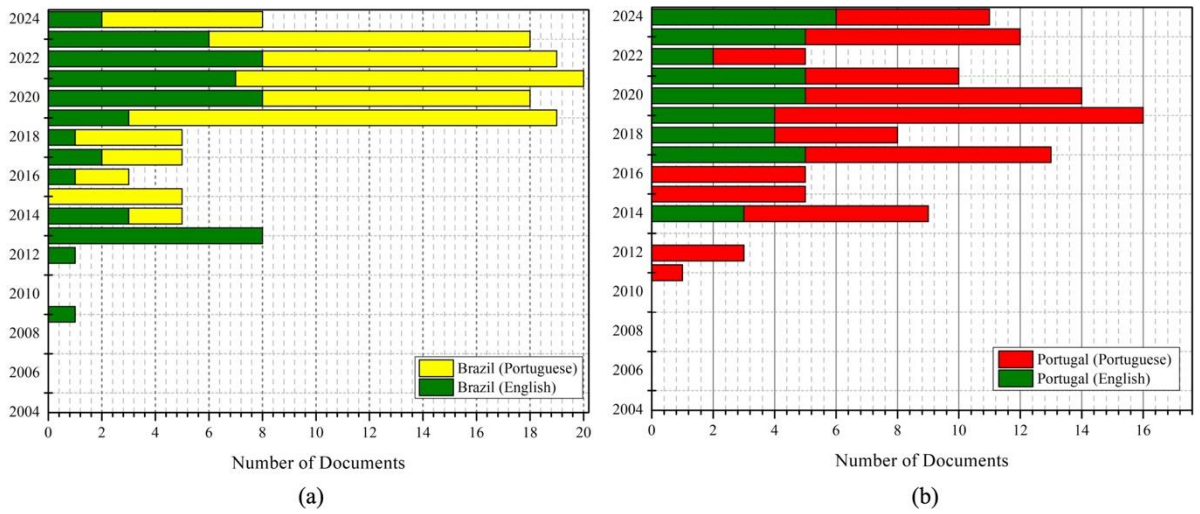


Fig. 2 – Number of documents by year and language selected in the Google Scholar analysis: (a) Brazil and (b) Portugal (source: the authors).

In 2009, Lixandrão Filho et al. (2009) worked on improving a Fab@home 3D printer with two deposition syringes for the manufacture of biomedical components for Tissue Engineering. The team at the Renato Archer Information Technology Center (CTI) worked on integrating systems to improve the printer's software and hardware, with the aim of increasing the precision of material deposition actions, as well as promoting easier incorporation of new materials for the part construction process, especially raw materials crosslinkable by ultraviolet light. To this end, the authors adapted the original mechanism of the Fab@home equipment with an accessory to control the stepper motors responsible for driving the syringes, sensors to monitor the amount of material available for printing, and the insertion of a software interface for online adjustment of processing parameters. This is a classic study of continuous improvement of open-source machines, fully aligned with the philosophies of the movements to popularize the 3D Printing process.

In Portugal, Lima (2011) addressed the use of 3D laser scanning techniques to produce architectural models, as part of his master's thesis at the Faculty of Architecture of the Technical University of Lisbon. In this research, the author modeled and refined the meshes of a three-dimensional model of the Chapel of *São Frutuoso de Montélios*, obtained through 3D scanning. With the model processed and converted to STL format, suitable for the layer slicing software used in 3D Printing, the author-built prototypes of the parts with the help of a low-cost FFF printer from Makerbot™. At that time, Lima (2011) highlighted that both technologies, scanning, and 3D Printing, were not yet accessible to all audiences, but that they would be indispensable tools for architectural design. The author's prediction not only came true but took on proportions in which printers and scanners became objects of domestic consumption, in addition to becoming real tools for the construction of buildings.

Continuing with the presentation of the results of the bibliometric analysis on the Google Scholar platform, Figure 3 (a) and (b), in this order for Brazil and Portugal, the word clouds that show the occurrence of the main terms associated with the searches are presented.

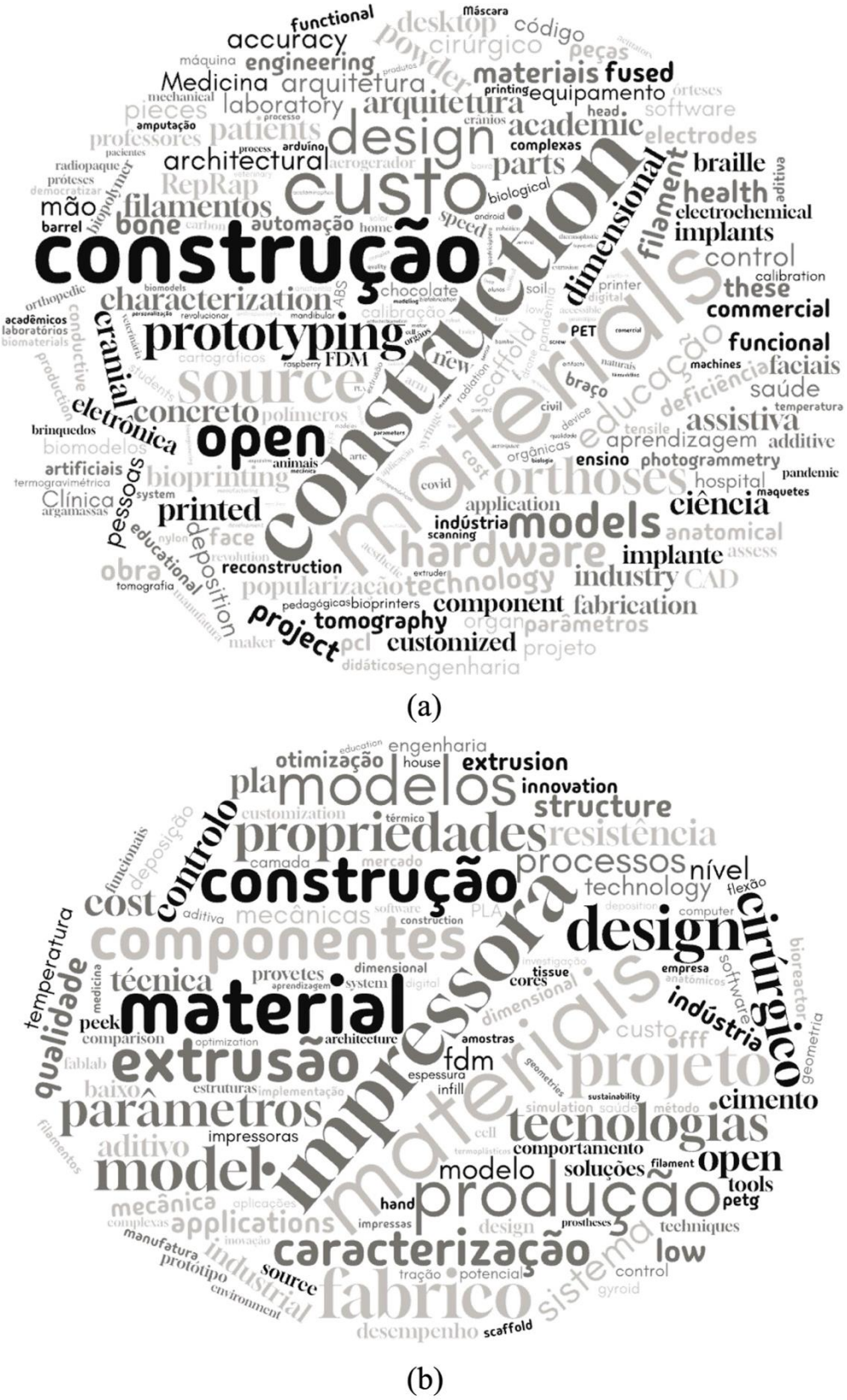


Fig. 3 – Word clouds obtained through analysis on Google Scholar: (a) Brazil and (b) Portugal (source: the authors).

The words in Figure 3 (a) and (b) indicate research trends, which can be grouped into studies on printing materials science, machine design and construction, medicine, education, parameterization, civil construction, and architecture, among others. To facilitate the thematic analysis of the selected studies, Figure 4 (a) and (b) show the number of studies by area for Brazil and Portugal. The analysis was also broken down by theme, organizing each study by type of dissemination, as shown in Figure 5 (a) (Brazil) and (b) (Portugal).

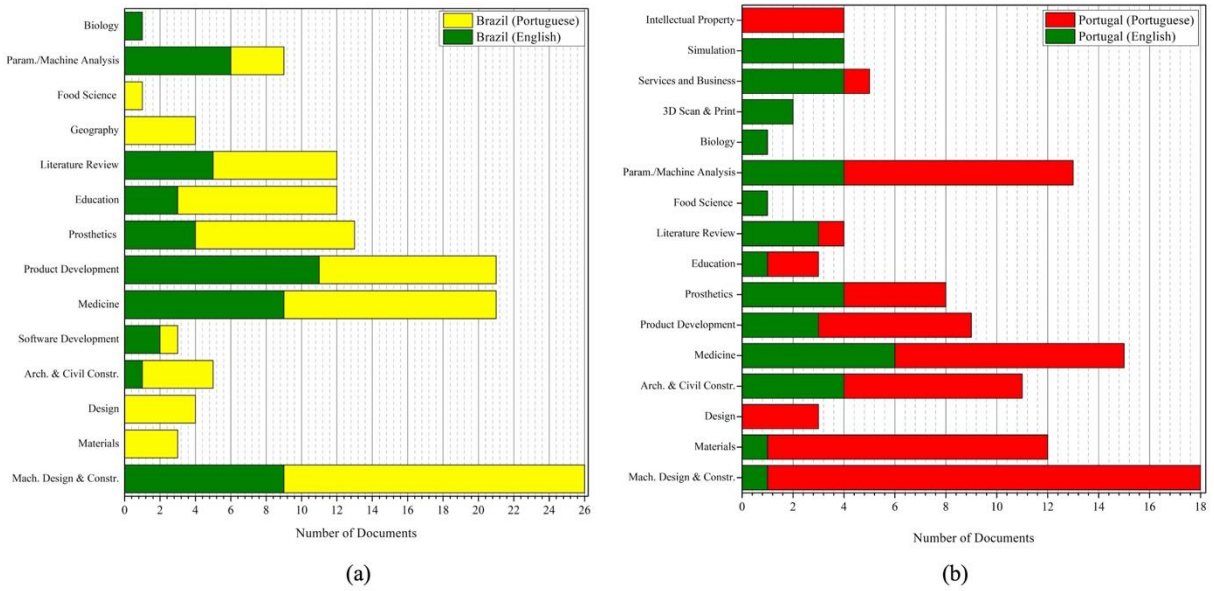


Fig. 4 – Number of documents by topics selected in the Google Scholar analysis: (a) Brazil and (b) Portugal (source: the authors).

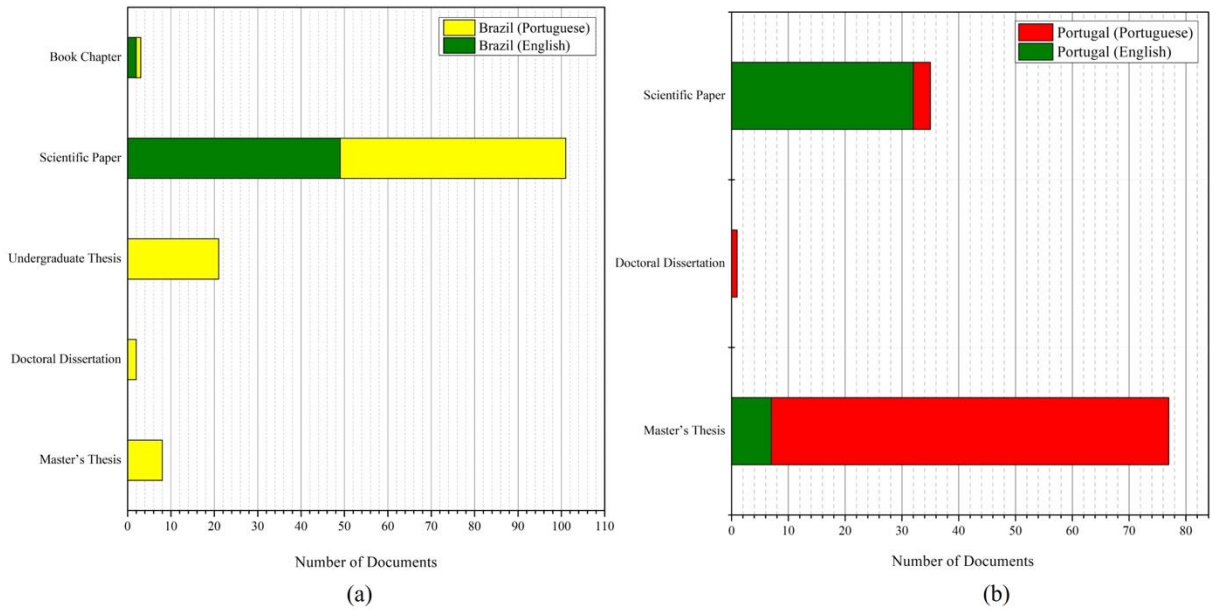


Fig. 5 – Number of documents by types of dissemination selected in the Google Scholar analysis: (a) Brazil and (b) Portugal (source: the authors).

In both countries, it is possible to observe, in Figure 4 (a) and (b), that most of the research in Portuguese was dedicated to the development of 3D printing machines. In Brazil, the topic was associated with 20% of the investigations in Portuguese, with 47% also characterized by undergraduate course completion papers and articles, and only one occurrence of a doctoral dissertation. Such research was concentrated between the years 2017 and 2024. It is important to highlight, however, that in Brazil, productions on the construction of machines were identified in the years 2013 and 2014, but in English — the design and construction of machines, together with medicine, was the second most addressed topic in publications in English originating outside of Brazil. In Portugal, the theme related to the development of equipment corresponded to 23% of the academic productions evaluated, with all of them associated with master's degree papers produced between the years 2014 and 2024.

An example of a 3D Printing system or machine design, developed in 2013 in Brazilian institutions, was the study by Freitas et al. (2013) on the development of a micro screw extruder. The authors designed and built an extruder head with a variable cross-section screw, which was adapted to an open-source Additive Manufacturing machine of the Fab@home type. The tool was tested in the processing of polymeric materials in powder form, such as Nylon™12 and Polycaprolactone (PCL). According to Freitas et al. (2013), the mechanism demonstrated good functional behavior in material transport and in the production of continuous and homogeneous filaments.

The literature in Portuguese in Brazil revealed two studies in 2017 on the development of machines based on open-source initiatives. Bagliotti and Gasparotto (2017) presented in their paper a process for building a low-cost 3D printer based on the RepRap model. Duarte (2017), in his final paper in Electrical Engineering, showed the production of a printer, also inspired by the RepRap project, with significant modifications in the mechanical, electronic and software structure in relation to the components used in conventional low-cost models. The author also included the use of a machine configuration consisting of three extrusion systems. In addition to the 3D printer, Duarte (2017) also produced a low-cost 3D scanner, coupled to the printer, for digitizing parts and promoting the integrated transformation of these virtual objects into physical ones through the Additive Manufacturing process.

Still within the scope of machine design in the Brazilian scenario, three recent works on the subject were identified in 2023, two articles in English and one course completion paper in Portuguese. Otoni et al. (2023) disclosed in their article the entire process of mechanical and electronic design, construction, exclusives, and functional tests of a Core XY 3D printer. According to the authors, a printer was developed, based on the concepts of Maker and DIY culture, by students from the Federal University of Uberlândia and used in the institution's Maker laboratory. The results of the study highlight the possibilities of pedagogical applications of the system, as well as the intelligent use of the machine in FABLABs for teaching at elementary, secondary, and higher levels.

Gomes Gama et al. (2023), in turn, deal in their research with the construction of a bioprinter from recycled metal scrap and simple electronic components available on the market. All the material developed in the project was made available free of charge with open-source licenses, democratizing, according to the authors, bioprinting technology. Finally, Chaves' final course work deals with the construction of a filament extruder for reusing plastic waste from 3D Printing, based on the use of the Arduino platform to establish the control and monitoring of process variables (Chaves, 2023).

Moving on to the Portuguese scenario, there is Gonçalves' master's thesis on the development of a 3D printer control strategy using LinuxCNC. In that situation, the author created the entire

Linux system adaptation mechanism for controlling an Additive Manufacturing equipment, something that was not established for such a CNC control platform. As hardware for the integration tests of the LinuxCNC software, the author used all the basic electronics of a RepRap 3D printer (Gonçalves, 2014).

Analyzing Portuguese literature, a movement was observed between 2017 and 2019, at the University of Porto, towards the development of open-source 3D printers based on delta kinematics, especially focused on multicolor printing. Abreu (2017) began work by building the first version of the delta printer, highlighting that the RepRap project was essential for obtaining technical information for the construction of the equipment. For Abreu (2017), the construction of a delta 3D printer, with FFF technology, is possible to be carried out in a reduced time and with modest investments. The author, in the year of preparing his master's degree, concluded that the parallel kinematics of delta systems could be a way to make the FFF process faster, more accurate and at a lower cost.

Following Abreu's (2017) study, Regadas (2017) carried out a retrofitting of the equipment developed by his predecessor, adapting it for multicolor printing. In this sense, Regadas (2017) made modifications to the machine's control module, reorganized the system's electronics, manufactured aluminum supports for fixing the vertical profiles of the machine's structure, designed a construction platform with leveling adjustments at three points and, most importantly, built a filament feeding module based on three independent traction systems. The author, at the end of his master's degree, states that the modifications made were important to allow printing of parts with three colors along its body.

Finally, Costa (2019) focused on the same equipment as the two previous works, completing his master's degree with the aim of updating the delta printer by replacing the control electronics and modifying the extrusion system. Extruders with mechanical gear reduction, manufactured by FFF Additive Manufacturing, were then installed, in addition to a motherboard with greater data processing capacity, the DUET. This sequence of works clearly represents the philosophy of improving open projects, defended by the creator communities, transformed into a line of high-level academic research.

Unlike approaches dedicated to building a machine, the study by Martins (2021) explored the optimization of a commercial open-source 3D printer, the Creality™ CR10-S, for the implementation of a multi-material/multi-color system. Among the main modifications, the following stand out: replacing the equipment's original control board, updating the firmware with new features, adopting a nozzle with three filament input channels (Diamond Hotend), and combining direct-drive and bowden-type filament feeding systems in these three inputs. The direct-feed configuration was installed to facilitate multi-material operations with flexible material deposition. The author concluded that the system is viable for the manufacture of multi-material or colored parts, as long as filament mixing is not applied in the extrusion chamber. Still in the context of modifications to low-cost commercial machines, the project led by Silva (2014) was verified, which used the open nature of a Creality™ Ender 5 Plus equipment to convert the 3D printer into a laser engraver.

The large number of academic publications on machine development is something natural for researchers who pursue their lines of research in open-source Additive Manufacturing. Having the equipment is the basis for any application project, evaluation of new materials, parametric studies, among others. In addition, building machines is a way to learn and get familiar with all the pillars of the development chain, take advantage of the multidisciplinarity of open-source printing systems and be part of the community.

An analysis of the graph in Figure 4 (a) reveals that, in Brazil, following initial studies on machine construction, there has been strong progress in areas related to medicine, product development, and prosthesis manufacturing. In medicine, studies were found dedicated, for example, to the use of free and open source software for the production of organ models from computed tomography and magnetic resonance images (Vaz and Silva, 2023), production of radiopaque filaments for the representation of bones and teeth in radiological objects (Savi et al., 2022), manufacture of devices for alignment tests in radiological equipment (Arruda et al., 2022), 3D printing of scaffolds for tissue engineering (Steffens et al., 2013), production of customized surgical guides (Rodrigues et al., 2021), development of products and systems for application in public health (Sampaio and Luiz, 2021) and obtaining anthropomorphic simulators for calibration of detection systems in nuclear medicine (Silva, 2021).

Regarding prosthetics, in Brazil, 3D printing was used to materialize hand exoskeletons to recover finger extension and flexion movements (Araujo et al., 2021), conducting projects such as Mao3D (São Paulo, Brazil), which aims to donate printed prosthetics to generate autonomy for people with upper limb disabilities (Bina et al., 2021), production of molds for the manufacture of prosthetics for cranial reconstruction (Maricevich et al., 2019), design and printing of orthoses (Souza et al., 2017), and construction of automated prosthetics, based on the use of additive manufacturing and Arduino control (Roberto da Silva, 2021). For product development, three-dimensional printing has been used to produce robotic arms (Costa et al., 2020; Reck and Antonello, 2021; Bezerra, 2023), robot fish prototypes (Santos et al., 2023), humanoid robots (França et al., 2020), sensors (Cardoso et al., 2020; Oliveira et al., 2020), interdigitated electrodes (Gaál et al., 2018), bathroom drains (Araújo et al., 2023), wind turbine prototypes (Bender, 2022), devices to assist the elderly (Cardim et al., 2024), shortcut keyboards for graphic designers (Barbosa, 2019), and drones (Cunha, 2021).

In Portugal, after machine design, the three most explored topics were medicine, parametric analysis, and materials. What we can see is that both countries have dedicated efforts to the customized use of open-source 3D printing for applications that can directly affect people's quality of life, through the production of resources for the medical field. In Portugal, there were examples of the use of 3D printing for the manufacture of vascular stents in Poly (lactic acid) (PLA) (Teixeira, 2021), 3D reconstruction from computed tomography and prototyping of anatomical structures (Melo, 2018), production of shoes for people with cerebral palsy (Silva, 2015), scaffolds for bone tissue recovery (Costa et al., 2014), production of scaffolds by extrusion of photocurable hydrogels (Afonso Gusmão et al., 2023), knee positioning orthoses for people with cerebral palsy (Santos et al., 2017), construction of anatomical models for medical teaching (Bartikian et al., 2019) and printing of templates for the manufacture of metal plates for recovery of the eye socket (Barros et al., 2024).

In the context of parametric analysis - which includes machines, process parameters, 3D design and technologies - Portuguese studies show several cases. There is an improvement in the integration process of PLA printed parts and structures by pouring liquid rubber to produce components used in radiotherapy (Teixeira, 2019), analysis of printing and design parameters in the manufacture of complex parts obtained by mathematical models (Gonçalves, 2017). There is also an evaluation of the variables involved in the multicolor 3D printing process (Silva, 2018), effects of the shape factor on the mechanical properties of printed parts (Oliveira, 2019), studies of FFF parameters for the manufacture of nuts and bolts (Semeão, 2019), comparison between FFF technology and photopolymerization printing in a vat, through the dimensional, geometric and mechanical quality of the manufactured parts (Martins, 2023) and configuration of printing variables to understand dimensional/shape deviations (Santana et al., 2017b, 2019) and impacts on the tribology of objects (Santana et al., 2021).

Regarding materials analysis, studies were conducted on the production and characterization of raw materials for Additive Manufacturing by Extrusion. In the development of materials, initiatives stand out to produce Polypropylene filaments reinforced with glass fibers (Gomes, 2014), superconducting pastes (Mendes, 2019) and printable mortars with raw earth (Guimarães, 2024), glass powder waste (Viana, 2024) and marble powder (Pêgo, 2023; Ribeiro, 2023). With a focus on material characterization, studies were identified on the analysis of the thermal, chemical, and mechanical properties of PLA and Polyethylene terephthalate glycol (PETG) (Santana et al., 2018), in addition to works on the influence of filament color on the performance of these polymers (Castro, 2021), analysis of the mechanical properties of parts printed in Polyetheretherketone (PEEK) (Geraldo, 2022), evaluation of aging in the mechanical properties of parts printed in Thermoplastic Polyurethane (TPU) (Dias, 2023) and, finally, a study for the use of non-destructive analysis techniques, Pulsed Active Thermography and Ultrasound, to identify defects in parts printed in PLA (Gomes, 2019).

In both countries, in this analysis, only one occurrence of doctoral research was found. Santana (2019), at the University of Porto (Portugal), carried out an extensive study on process parameters, applications of statistical methods and problem fragmentation methodologies, materials and design for 3D printing and performance analysis of snap-fits in PLA and PETG. The author presents a step-by-step guide to understanding 3D Printing in practical contexts, called the user-printing system recognition relationship. In Brazil, Balzani (2022) developed his doctoral study in Architecture and Urbanism, with the aim of creating and making available open-source algorithms, in “structured Portuguese”, for full-scale 3D Printing of mortar components.

To conclude the presentation of the results of the bibliometric analysis on the Google Scholar platform, Figure 6 (a) and (b) show the percentages of contribution to studies on open-source 3D Printing by regions of Brazil and Portugal.

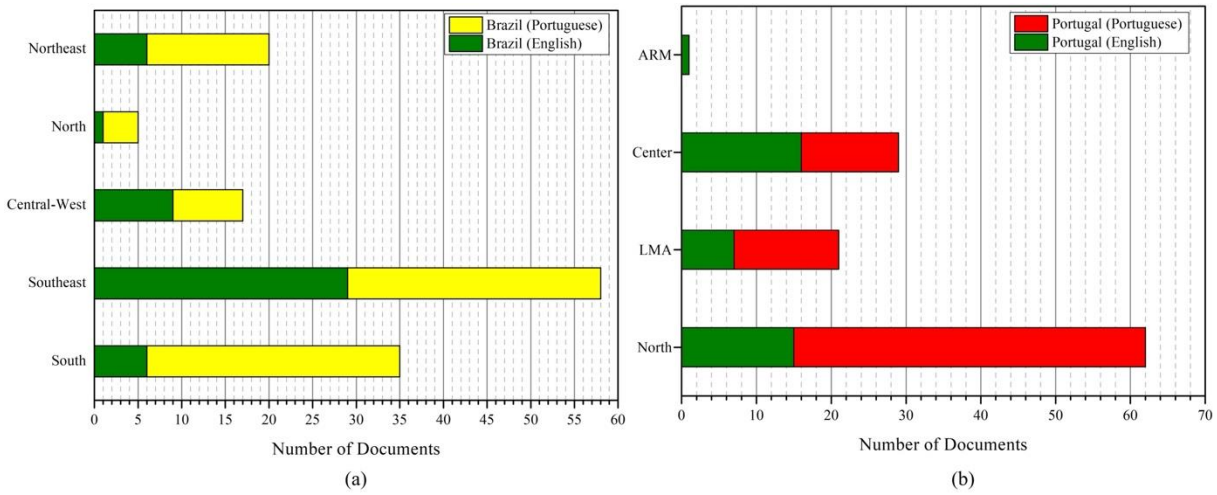


Fig. 6 – Number of documents by regions of Brazil (a) and Portugal (b) (source: the authors). Note: ARM - Autonomous Region of Madeira; LMA - Lisbon Metropolitan Area.

The Southeast region, as shown in Figure 6 (a), is the largest responsible for publications in Brazil, with approximately 35% of productions in Portuguese, tied with the South region, and 57% of materials in English. These percentages may be related to the fact that the states of the Southeast region, São Paulo, Minas Gerais and Rio de Janeiro, concentrate the most important centers of research and scientific production in the country, with the largest contribution of

authors based in their territories (FAPESP, 2021). According to Mcmanus et al. (2021), 50% of Brazilian publications are linked to a select group of 14 universities in the country, with the University of São Paulo (USP) responsible for 18% of these productions. USP also holds the achievement of being the 16th university in scientific impact in the world ranking, holding 43.5% of the top 50% articles in the world in their respective areas (Cruz, 2024).

In the case of Portugal, Figure 6 (b), the North region is responsible for 55% of all publications analyzed in this article. Considering only the materials in Portuguese, the North is home to 63.5% of scientific publications, followed by the Lisbon Metropolitan Area (LMA) (18.9%) and the center (17.6%). In English, the North region is slightly behind the LMA, with a percentage of 38% compared to the 41% of the leading region. In the context of this research, the strong contribution of the North region can be justified by the high number of master's theses on open-source 3D printing, in Portuguese, from the University of Porto (UP) and the University of Minho, which corresponded to 30% and 23% of the total studies analyzed. The University of Porto was ranked, according to the Times Higher Education (THE) World University Rankings, as the best Portuguese institution in the categories of Teaching and Research Quality. In terms of overall performance, UP achieved the best ranking in the Research Environment category, which includes scientific productivity, reaching 320th in a group of 401-500 best universities in the world (Universidade do Porto, 2024).

Analytical Search on Scopus and Web of Science

Figure 7 shows the graphs with the number of publications on open-source 3D printing, or related topics, indexed in the Scopus (a) and Web of Science (WOS) (b) platforms, for Brazil and Portugal. In 2017, in Portugal, the first publications, a total of 5, on the subject of this paper were registered in the Scopus platform. From this period, the article with the highest number of citations, 50 to date, was produced by Khaliq et al. (2017) and published in the Rapid Prototyping Journal, associated with the theme of materials. The work carried out by researchers from the University of Minho aimed to analyze the rheological properties of two types of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), one produced for use in FFF and the other for general applications. The authors highlight that the high viscosity of the general-purpose material resulted in problems in the 3D Printing process, impairing the mechanical properties of the manufactured parts. This article is also considered, based on the context of this article, the most visible work of 2017 on the WoS platform.

In 2021, Portugal had a peak of indexed works, as seen in both databases represented in Figure 7 (a) and (b). As a result of this year, one of the articles with the most citations in the databases was developed by Valvez et al. (2021), with the first author representing the University of Beira Interior and was a critical review study related to the mechanical properties of materials used in the concept of 4D Printing by FFF.

According to the Scopus platform, the paper developed in Portugal with the highest number of total citations was written by Conceição et al. 2019), with the main author affiliated with the University of Porto. The work was published in the journal "Carbohydrate Polymers" with a theme related to 3D Printing of drugs.

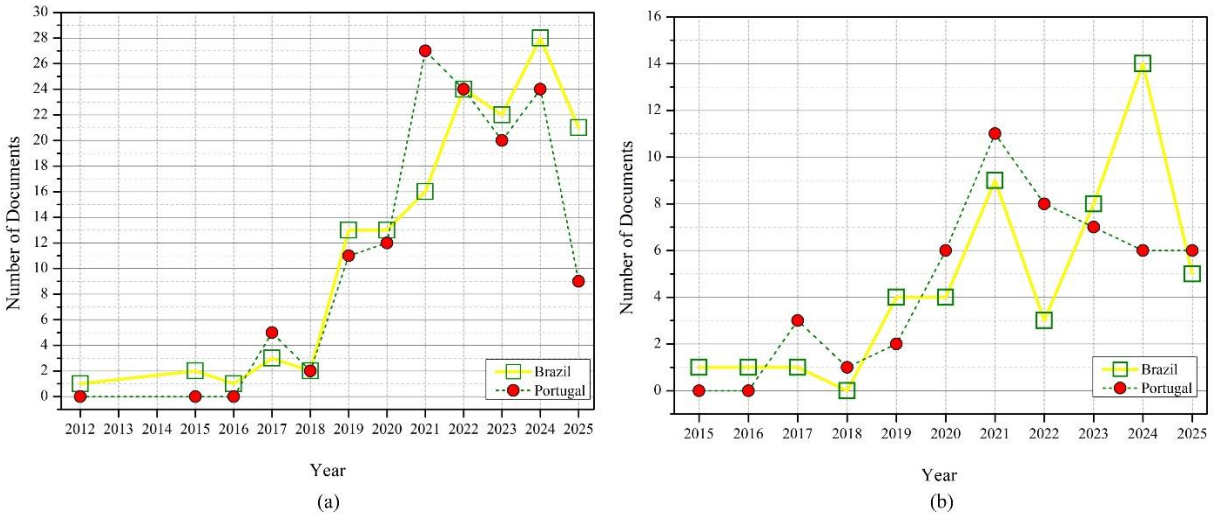


Fig. 7 – Number of documents published per year on the Scopus (a) and Web of Science (b) platforms (source: the authors).

Based on the WoS platform data, the most cited article was developed by Carneiro et al. (2020), with the first author representing MEtRiCS (Guimarães, Portugal), and published in the journal Additive Manufacturing. The authors presented a low-cost strategy for the fabrication of cellular lattice-type metal structures. The FFF technique was used to print the complex structures, which were used as a geometric pattern for the investment casting process with plaster shell and aluminum casting.

Going to Brazil, the first occurrence of an article, according to the Scopus platform, Figure 7 (a), was in 2012. In that year, Inforçatti Neto et al. (2012)presented a study on the development of an extruder head for processing thermoplastics in Fab@home machines. As a typical project aligned with open-source concepts, the authors built the tool with the help of parts manufactured by Additive Manufacturing. The results showed a head with the capacity to adapt to the use of filaments with different diameters and use of temperatures up to 400 ºC. It is important to highlight that the main author of the article was affiliated with the Renato Archer Information Technology Center (CTI), located in the city of Campinas, in the state of São Paulo. According to the WoS database, the first occurrence was the article by Cruz et al. (2015). The study investigated the propagation of terahertz in Bragg fibers manufactured by low-cost 3D printing. The results found showed, according to the authors, a good agreement between numerical and experimental data. The first author represented the Institute of Advanced Studies-IEAv of São José dos Campos, São Paulo.

The peak of papers on open-source 3D printing and related topics was in the year 2024, as shown in Figure 7 (a) and (b). The most cited article in 2024, according to the Scopus and WoS platforms, was written by Kalinke et al. (2024), characterized by a broad literature review study on the insertion of sustainability concepts in the FFF process. The first author was linked to the University of Campinas (UNICAMP), São Paulo.

The most cited publication in Brazil, with 243 according to the Scopus database, was authored by Richter et al. (2019) and focuses on low-cost FFF 3D printing for electrochemical sensing systems applications. The first two authors of the paper were associated with the Federal University of Uberlândia, Minas Gerais. Through the WoS platform, the paper with the highest total citations was by (Macedo et al., 2019) with a theme related to the study of the influence of the void volume fraction, cooling rate and present stresses on the mechanical properties of

ABS printed parts. The first author of the study was from the Technological Institute of Aeronautics, São José dos Campos, São Paulo.

Continuing with the presentation of the bibliographic analysis carried out, Figure 8 (a) and (b) show the percentages related to the themes of the papers evaluated in the present study, respectively, for Scopus and WoS.

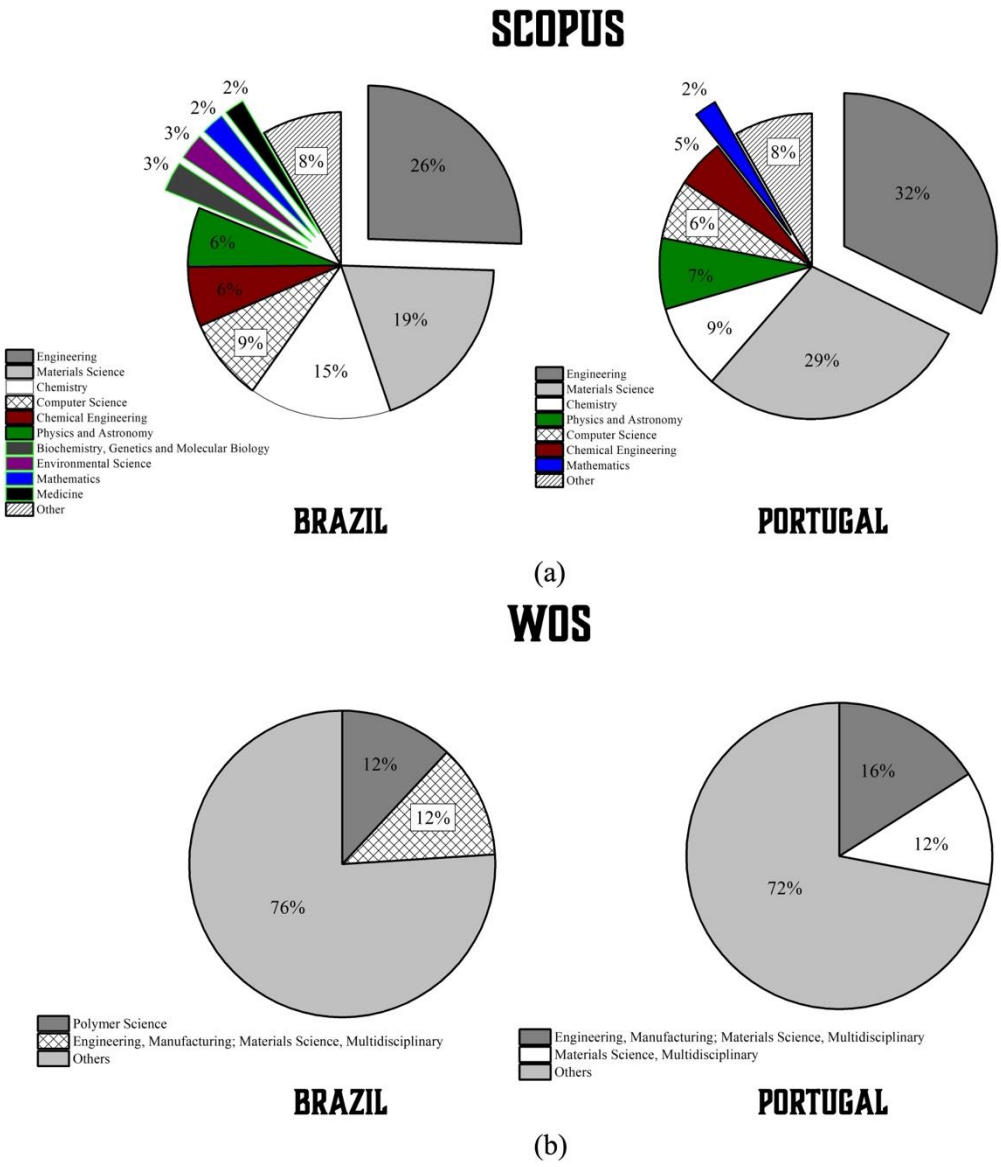


Fig. 8 – Publication themes in (a) Scopus and (b) Web of Science (source: the authors).

As shown in Scopus, Figure 8 (a), Brazil and Portugal present a greater number of works related to Engineering, followed by Materials and Chemical applications. The results of the WoS platform, Figure 8 (b), show a greater variety of themes, since the most significant percentage, both for Brazil and Portugal, was related to the "Others" category.

To conclude the statistical study of the open-source 3D printing literature, Figure 9 (a) (Scopus) and (b) (WoS) show the percentages of contribution to research in the area by universities in Brazil and Portugal.

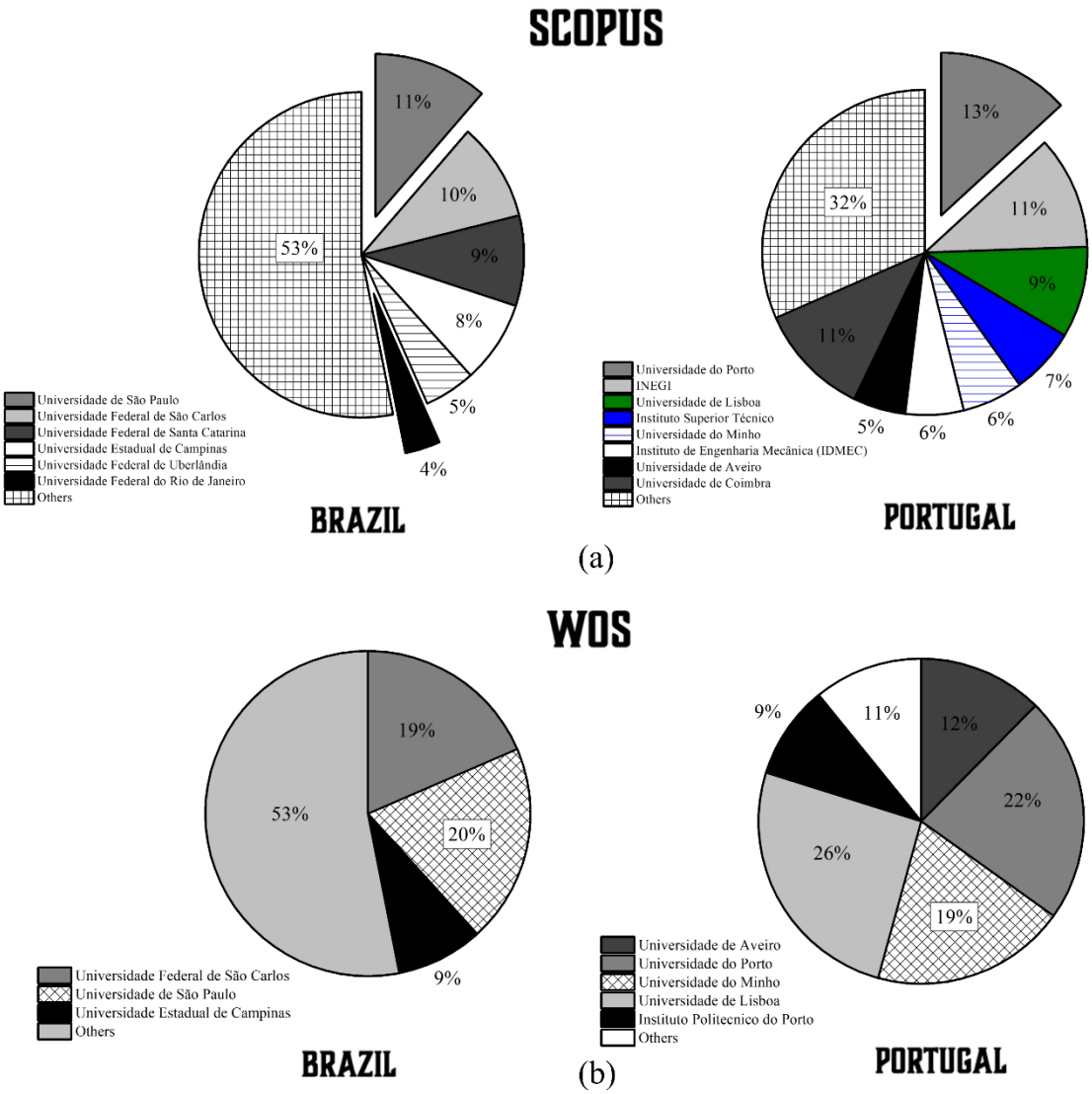


Fig. 9 – Contribution to publications by universities: (a) Scopus and (b) Web of Science (source: the authors).

Analyzing Figure 9 (a), related to the Scopus database, it is possible to observe a greater diversity of universities involved in the development of studies on open-source 3D printing in Brazil, represented by the percentage of 53% in the “Others” group. In Portugal, the scenario is similar regarding the highest percentage, with 32%, however, it is possible to see some individual highlights such as the University of Porto (13%) and INEGI (11%). It is worth noting that INEGI is linked to the Faculty of Engineering of the University of Porto.

The data from the WoS platform, Figure 9 (b), also reveal a plurality of university contributions in Brazil, with 53% for the “Others” group. However, with the information from WoS it is possible to see individual growth with the University of São Paulo (20%) and the Federal University of São Carlos (19%). In Portugal, the contribution of universities in the North of the country is clearer and more defined, with 22% for the University of Porto and 19% for the University of Minho. Together, these institutions exceed the individual contribution of 26% from the University of Lisbon.

PART 2: NOTES FROM A TENURED PROFESSOR

Full Professor Jorge Lino Alves, from the University of Porto, is one of the important players in the study of Additive Manufacturing in Portugal, with strong ties to researchers in Brazil, conducting high-level research through his Laboratory for Product and Service Development (LDPS – Faculty of Engineering of the University of Porto) and INEGI. In addition to his academic profile, Jorge Lino is a great enthusiast, aligned with the concepts of innovation and creative freedom of open-source 3D Printing. With a maker character is responsible for many research projects in extrusion-based 3D Printing associated with the areas of material development and food processing, thermoplastics, composites, and various pastes. In this topic, some notes and examples of creative applications of 3D Printing are presented.

Many of the previous limitations of Additive Manufacturing — such as materials constraints, low efficiency, limited resolution, part size, and finish quality — have recently overcome, paving the way for broader adoption of these technologies. In the context of extrusion-based 3D printing is possible to find applications in the printing of houses (extrusion of cementitious materials) or creation of artificial reefs (Figure 10), large furniture (robotic arms with polymer granulate extruder) (Figure 11), 4D printing (printing of intelligent materials that respond to an external stimulus, for example a shelter that is transported in the form of a plate and that expands in place with the energy of the Sun), fabrics with printed motifs in the most varied colors and with different properties, personalized foods (gums and fillets with specific nutrients) (Figure 12), prostheses tailored to the patient (hands, jaws, stents, biodegradable porous components), printing of parts in space (orbital station, colonization of Mars), personalized footwear (maximum comfort and performance), and many others.



Fig. 10 – Artificial reef developed at the University of Porto (Matus et al., 2025)(source: courtesy of Ilse Matus).



Fig. 11 – Table printed in PP recycled from fishing nets (source: courtesy of Solidtech).



Fig. 12 – 3D printed 100% vegan mycelium-based salmon fillet – engineered to create a smooth mouthfeel, rich in omega-3, vitamins (B9, B6, B12) and protein (source: courtesy of Revo Foods).

Maker movement, digital manufacturing and 3D Printing

Manufacturing locally is the main motto of the Maker Movement. It is a digital revolution in manufacturing, based on the same premises that led to the digitalization of the areas of communication and computing, but now what is being programmed is the physical world instead of the virtual one.

The Maker Movement represents a growing mobilization of hobbyists, tinkerers, engineers, hackers, and artists committed to the creative design and construction of material objects for recreational and utilitarian purposes. The goal is to create and develop things (concrete or digital) using new tools, such as 3D printing, in open spaces, workshops or laboratories,

combining innovative forms of manufacturing with do-it-yourself work. The Maker Movement encompasses three important transformative characteristics: the use of digital tools to create designs for new products and prototype them ("digital DIY"), the sharing of these design projects and collaboration with online communities and the common use of standardized files that allow anyone to either submit their designs to commercial prototyping services, to be produced in any quantity, or to easily manufacture them in their own laboratories.

Figure 13 is related to the interdisciplinary project “We Won’t Waste You” developed in the master’s Program of Product and Industrial Design, University of Porto, Portugal, in partnership with the Municipality of Matosinhos, where a FabLab was created. Based on the principles of interdisciplinarity, on Project-Based Learning and on Material Driven Design methodology, students developed products using discarded materials (crustacean shells, charcoal ash, scales, egg shells, etc.) in two different contexts: nature that is capable of supplying incredibly interesting raw materials and often ready and suitable for use and application in new products, and the catering industry that generates a large amount of discarded waste that can be reused for new purposes.

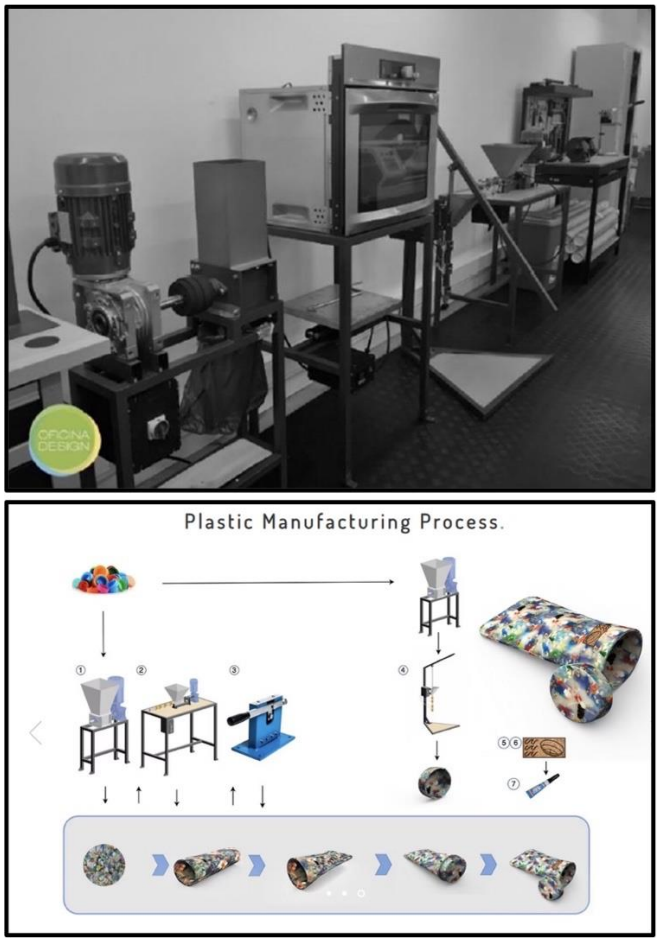


Fig. 13 – Equipment’s installed in the FabLab (Oficina Design, Matosinhos) that allowed manufacturing a large variety of products (source: Design Studio of FEUP).

Figure 14 is an example of the study of two models from the “Enabling the Future” project (https://enablingthefuture.org/): “Kinetic Hand” and “Kwawu Arm 2.0”, available for free on “Thingiverse” (https://www.thingiverse.com/). They were selected for preliminary testing

before the production of the final prosthesis model for a child (Matos et al., 2025). Both were printed mostly on PA12 on an HP Jet Fusion 5200 printer. The learning resulting from this study allowed the development of a low-cost prosthesis for a child, to be printed in PLA.



Fig. 14 – Prosthesis printed in PA12 on an HP Jet Fusion 5200 printer. “Kinetic Hand” and “Kwawu Arm 2.0” (source: courtesy of Tiago Matos).

The Maker Movement encompasses different professionals and profiles in a creative way and is based on three main points: the “make” (about the action, the doing), the “makerspace” (about the space and the environment) and the “makers” (about the “makers”, the people). The Maker Movement has seen significant milestones throughout its history. The publication of the Maker Movement Manifesto identified the main guiding principles and rules for innovation in this new “hands-on” context: making, sharing, donating, learning, equipping, playing, participating, supporting, and changing.

The term “digital manufacturing” refers to processes that use computer-controlled tools and the materials themselves are digital, created and modeled digitally. Additive manufacturing has been widely hailed as a revolution, but the revolution is not about additive versus subtractive manufacturing; it is about the ability to turn data into things and things into data.

3D (three-dimensional) printing is the main process used in AM. This technology allows models to be built in layers, like two-dimensional sections, making it possible to produce parts with high geometric complexity that are practically impossible to obtain using conventional manufacturing methods.

The process of developing a model through 3D printing necessarily involves the steps of digital 3D modeling (in specific software), converting the model into polygonal format (.STL), converting the model into layers (.SLi) and printing the model itself, which can then be finished if necessary.

The parts produced can undergo advanced paint finishes and laser engraving. In the case of low-cost printing with polymeric materials, the differentiating factor is the possibility of turning the product into a final part with high-quality, high-definition finishes, which integrate perfectly with the different polymeric materials used. The finishes allow for smoothing the surfaces and applying artistic, chrome or base paint (Matus, 2024).

With this finishing technique, the printing volume is no longer a limitation for filament printers, as it is possible to produce a large-scale project, consisting of one or more parts, where the application of a final finish will eliminate the joints and make the object a single integrated part (Figure 15).

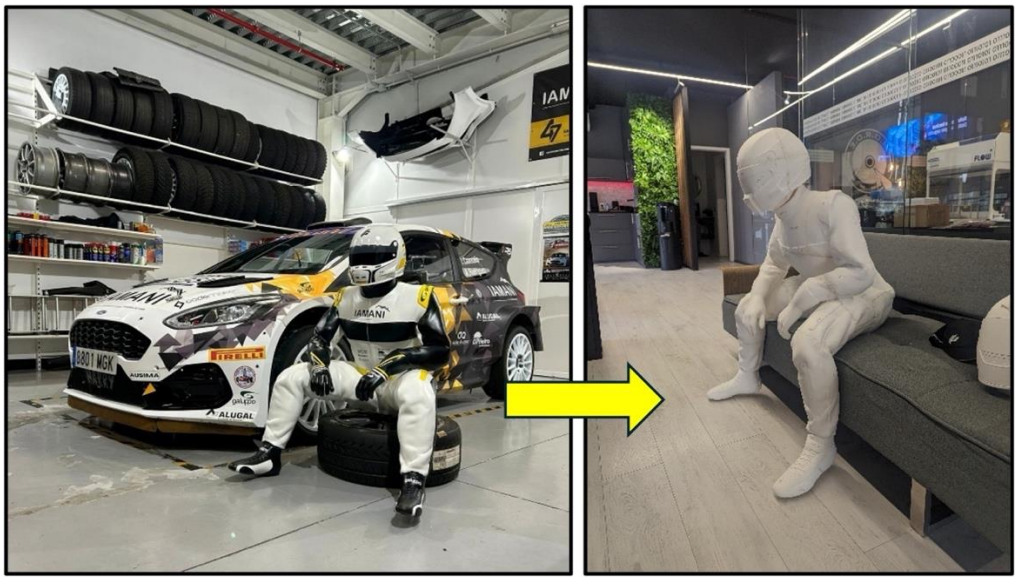


Fig. 15 – Full-scale rally driver (source: courtesy of 3D Maker).

3D printing has added innovative value to both the product design process and the industrial manufacturing process. Mass customization and custom construction have opened doors to limitless possibilities. New manufacturing capabilities allow complex products to be produced at scale, without high fixed-cost capital investments and with lower variable costs than traditional methods. Shorter lead times and higher speeds enable shorter design and production cycles, delivering products to market faster. By streamlining the supply chain, production is closer to the point of use, with much less inventory. Finally, there is a significant reduction in waste, as the materials are recyclable and can be reused for successive printings.

“Maker” education and PBL – project-based learning

The Maker Movement has great potential to influence the educational model. It develops the habit of experimentation, stimulates curiosity, exploration, collaboration, and connectivity, facilitating learning and creating an ecosystem for sharing knowledge. It emphasizes the value of practical experience (“hands-on”), redirecting the learning process where students explore, question, and create, focusing on the real physical creation process. It transforms consumers into creators, connecting them with the entire process behind creation. It democratizes innovation by enabling access to automated technologies, new tools, and ideas around the world.

Despite having developed predominantly in spaces outside of school, there has always been a growing interest among educators in bringing the Maker Movement into the educational environment in order to improve opportunities for students to engage in design and engineering practices, specifically, and in educational practices related to STEM (Science, Technology,

Engineering, and Mathematics) or STEAM (when art is also included) that have introduced educational policies based on innovation through creativity.

In theoretical and pedagogical terms, the Maker Movement and digital fabrication are aligned with three main movements: the Constructionism of Seymour Papert, founder of the MIT Media Lab, who developed the theory of "learning by doing" which concerns learning through the construction of knowledge centered largely on connections between computers and real-world artifacts; the Experiential Education of John Dewey, who defended the idea that education should be based on life experience, centered on students and connected to real life; and the Critical Pedagogy of Paulo Freire, which was based on the idea that students' projects should be deeply connected to problems, both at the personal and community level, and designing solutions to these problems would become not only an educational issue but also an empowering one. In addition to these, reformist, and progressive educators from the beginning of the 20th century, such as Maria Montessori, Friedrich Fröbel, Johann Heinrich Pestalozzi and Célestin Freinet also promoted the use of physical artifacts and tools in education (Facca et al., 2022).

To clarify the connections between making and learning, Martin (2015) presents seven reasons why the Maker Movement can be a valuable learning activity:

1) It is aligned with curricular demands, in particular with design and engineering practices;
2) It gives young people access to sophisticated tools for building and thinking;
3) It involves making things, seeing how they come together, and how they can be shared with others;
4) It is playful and highly tolerant of mistakes;
5) It advocates a growth mindset, where, given effort and resources, anyone can learn the skills needed to complete any project they can imagine;
6) It allows young people to choose what and how they will make;
7) It takes place within connected learning communities, spanning both face-to-face and online contexts, and involving people of a wide range of ages and backgrounds.

The Maker Movement has the potential to bring creative, fun, and relevant engineering and design learning tools and activities to a wider and more diverse audience than ever before. This will be beneficial both to the Maker Movement and to the schools and classrooms that embrace this movement (Martin, 2015).

One of the main ways to integrate making and learning is through the active learning methodology known as PBL (Project-Based Learning). PBL is a dynamic classroom approach in which students actively explore real-world problems and challenges and gain deeper understanding of them, emphasizing student-centered and interdisciplinary activities. PBL can also be considered one of the most effective ways for students to learn about and experience design as active participants (Alves and Duarte, 2023; Gomes et al., 2024). Open-source 3D printing and its derivative projects can also be used in the environmental integration of children in a hospital environment. Freitas et al. (2019) show in their work the development of an assembly toy, called "Boneco Cubo", to stimulate children and make life in a hospital something more natural, without the fears and anxieties that are normal for children's behavior in these places.

The consumer market has evolved and the demand for innovative products with new features, better quality, lower prices, higher performance, and lower environmental impact has increased proportionally, which has also required a transformation in the way these products are designed and produced. This demand ends up impacting the way industrial designers, engineers and

production specialists develop new products. Design, due to its integrative and holistic vision, ends up increasingly interfacing between different areas, blurring the boundaries of knowledge, requiring a focus on research and interdisciplinary interaction through teams composed of individuals from different disciplines/areas, enhancing lateral thinking and new methodologies more appropriate to the context in which they live. In this way, digital manufacturing and new AM technologies have emerged, supporting design processes, increasing productivity, optimizing digital processes, and improving concept validation and physical testing procedures. The need to open academia to the reality of industry has been changing teaching pedagogy in some courses, primarily bringing this reality to the university through the development of projects in a real context (Gomes et al., 2018).

FINAL CONSIDERATIONS

The insertion of Extrusion-based Additive Manufacturing into the open-source universe has transformed the unimaginable, the fictional, and the futuristic into pure and applied reality. The benefits of these systems demonstrate, quite possibly, the real concept of democracy and freedom through the integration of people observed in maker communities. The construction and analysis of these devices, as well as their derived concepts, gave voice to individuals from different professions, positions, and backgrounds so that they could together design and materialize an ideal product with impacts on economic, social, and intellectual development.

Our analysis shows that both countries, Portugal, and Brazil, had similar beginnings, both in terms of time and in terms of printer design and construction, in the process of inserting academia into open-source, DIY, and maker cultures. Regardless of their realities in terms of finance, territory, and population, the researchers from both countries evaluated followed a similar path to generate tools and apply them in strategic areas, such as health, civil construction, and product development.

The philosophy presented in this work shows that to do science, there are no limits imposed by routine difficulties. Open-source 3D Printing, in its essence, shows that the union of efforts, shared thinking and the simplicity of creating are the necessary paths to evolve and develop technologically.

ACKNOWLEDGMENTS

Dr. Leonardo Santana would like to thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for funding his post-doctoral research (Grant number: 151261/2024-5).

REFERENCES

Abreu JTF de. Desenvolvimento de uma impressora FDM tipo delta. Universidade do Porto, 2017.

Afonso Gusmão, Diana M. C. Marques, Rodrigo Torres-Garcia, Frederico Castelo Ferreira, Paola Alberte, Marco Leite. Designing and Prototyping a 3D Printer for Multi-Extrusion of Thermo- and Photocurable Hydrogels: Enabling Affordable and Wider Access to Bioprinting 2023. https://doi.org/10.31224/2916.

Alves JL, Duarte T. Teaching ceramic materials in mechanical engineering: An active learning experience. International Journal of Mechanical Engineering Education 2023; 51: 23–46. https://doi.org/10.1177/03064190221142096.

Araújo JMB, Souza JCS de, Espírito Santo R do. Processo de modelagem e impressão 3D de um ralo de banheiro com o auxílio do autodesk fusion 360. In: Universidade Federal de Campina Grande, editor. XI Simpósio de Engenharia de Produção, Campina Grande: 2023.
Araujo RS, Silva CR, Netto SPN, Morya E, Brasil FL. Development of a Low-Cost EEG-Controlled Hand Exoskeleton 3D Printed on Textiles. Front Neurosci 2021; 15. https://doi.org/10.3389/fnins.2021.661569.

Arruda EHM, Oliveira da Silva J, Felisberto Morais de Assunção M. Design and development of an alignment test device for clinical X-ray equipment with 3D print and low-cost materials. Brazilian Journal of Radiation Sciences 2022; 10. https://doi.org/10.15392/bjrs.v10i2A.2024.

Bagliotti IR, Gasparotto AMS. O processo de produção de uma impressora 3d de baixo custo RepRap com tecnologia Fused Filament Fabrication. Revista Interface Tecnológica 2017; 14: 169–83.

Balzani R do N. Algoritmos e requisitos para definição de ferramenta de código aberto para impressão 3D de argamassas. Doutorado. Universidade de Brasília, 2022.

Barbosa JHN. Teclado de atalhos para auxiliar designers gráficos desenvolvido por impressão 3D. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal da Paraíba, 2019.

Barnatt C. 3D Printing: Second Edition. 2nd ed. England: Explainingthefuture.com, 2014.

Barros JF de, Oliveira J, Pereira da Silva N, Donato P, Amado I. In-House Three-Dimensional Printing in Orbital Reconstructive Surgery: A Case Report and Future Perspectives. Cureus, 2024. https://doi.org/10.7759/cureus.72966.

Bartikian M, Ferreira A, Gonçalves-Ferreira A, Neto LL. 3D printing anatomical models of head bones. Surgical and Radiologic Anatomy 2019; 41: 1205–9. https://doi.org/10.1007/s00276-018-2148-4.

Bender TC. Desenvolvimento de um protótipo de aerogerador de eixo vertical por impressão 3D. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, 2022.

Berchon M, Luyt B. L'impression 3D. Editions Eyrolles; 2014.

Bezerra DA. Prototipagem com modelagem e impressão 3D de braço robótico para deposição de filmes finos pela técnica de spray-pirólise. Mestrado. Universidade Federal do Ceará, 2023.

Bina TS, Kunkel ME, Dos Anjos EGR, Ribeiro RC, Ribeiro TV, Silveira HD. Creation of a 3D printing protocol for the unlimbited arm prosthesis. In: Belinha J, Campos JCR, Fonseca E, Silva MHF, Marques MA, Costa MFG, et al., editors. Advances and Current Trends in Biomechanics. 1st ed., London: CRC Press, 2021.

Cardim ABF, Julio M da S, Almeida MA de, Kogati KA, Paschoarelli LC, Castro C da SS, et al. Impressão 3D aplicada à melhora das atividades diárias de pessoas idosas: análise dos modelos open source de dispositivos auxiliares para abertura de garrafas PET. Estudos Interdisciplinares Sobre O Envelhecimento 2024; 29.

Cardoso R, Castro S, Stefano J, Muñoz R. Drawing Electrochemical Sensors Using a 3D Printing Pen. J Braz Chem Soc 2020. https://doi.org/10.21577/0103-5053.20200129.

Carneiro VH, Rawson SD, Puga H, Meireles J, Withers PJ. Additive manufacturing assisted investment casting: A low-cost method to fabricate periodic metallic cellular lattices. Addit Manuf 2020; 33: 101085. https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101085.

Castro FFA de. Análise da influência da pigmentação na qualidade de peças impressas por FFF em PLA e PETG. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2021.

Chaves MVA. Desenvolvimento de extrusora de baixo custo para reaproveitamento de resíduos plásticos da impressão 3D. Trabalho de conclusão de curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2023.

Conceição J, Farto-Vaamonde X, Goyanes A, Adeoye O, Concheiro A, Cabral-Marques H, et al. Hydroxypropyl-β-cyclodextrin-based fast dissolving carbamazepine printlets prepared by semisolid extrusion 3D printing. Carbohydr Polym 2019; 221: 55–62. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.084.

Control Design. 10M Arduino Uno boards sold worldwide. Control Design 2021. https://www.controldesign.com/management/financials/news/11291667/10m-arduino-uno-boards-sold-worldwide (accessed May 9, 2025).

Costa J, Antônio Urzedo Machado T, Carneiro M. Implementation and Validation of Thor 3D Printed Open Source Robotic Arm. IEEE Latin America Transactions 2020; 18: 907–13. https://doi.org/10.1109/TLA.2020.9082919.

Costa PF, Vaquette C, Baldwin J, Chhaya M, Gomes ME, Reis RL, et al. Biofabrication of customized bone grafts by combination of additive manufacturing and bioreactor knowhow. Biofabrication 2014; 6: 035006. https://doi.org/10.1088/1758-5082/6/3/035006.

Costa RMB. Atualização de uma Impressora 3D FDM tipo Delta. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2019.

Cruz A. USP é a 16ª universidade que mais produz artigos científicos no mundo. Jornal Da USP 2024. https://jornal.usp.br/institucional/usp-e-a-16a-universidade-que-mais-produz-artigos-cientificos-no-mundo/#:~:text=No%20quesito%20impacto%20cient%C3%ADfico%2C%20a,suas%20respectivas%20%C3%A1reas%20do%20conhecimento. (accessed May 13, 2025).

Cruz ALS, Argyros A, Tang X, Cordeiro CMB, Franco MAR. 3D-printed terahertz Bragg fiber. 2015, 40th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz), IEEE; 2015, p. 1–2. https://doi.org/10.1109/IRMMW-THz.2015.7327936.

Cunha TLR da. Projeto de um drone com estrutura impressa em 3d: hardware e software open source. Trabalho de conclusão de curso. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, 2021.

Dai JX, Boujut J-F, Pourroy F, Marin P. Issues and challenges of knowledge management in online open source hardware communities. Design Science 2020; 6: e24. https://doi.org/10.1017/dsj.2020.18.

Dias GBC de G. Efeitos do envelhecimento nas propriedades mecânicas de um polímero flexível produzido por impressão 3D. Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2023.

Duarte JPA. Desenvolvimento de uma plataforma de impressora 3D acoplada a um scanner 3D. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Uberlândia, 2017.

Engard NC. What is open source? Practical Open Source Software for Libraries, Elsevier; 2010a, p. 3–11. https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-585-5.50001-1.

Engard NC. Community and open source. Practical Open Source Software for Libraries, Elsevier; 2010b, p. 13–21. https://doi.org/10.1016/B978-1-84334-585-5.50002-3.

Facca CA, Fernandes A, Alves JL, Rangel B, Barbosa AM. A Impressão 3D e as Tecnologias Emergentes de Fabricação Digital: a (R)Evolução nos Processos de Ensino de Design, Engenharia e Manufatura. Design & Narrativas Criativas nos Processos de Prototipagem, Editora Blucher; 2022, p. 275–306. https://doi.org/10.5151/9786555501421-12.

FAPESP. Scientific papers published by each Brazilian state. Pesquisa FAPESP 2021. https://revistapesquisa.fapesp.br/en/scientific-papers-published-by-each-brazilian-state/ (accessed May 13, 2025).

Ferreira IA. Impressão Tridimensional de Baixo Custo Aplicada à Pasta de Açúcar. Tese de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.

Ferreira IA, Alves JL. Low-cost 3D food printing. Ciência & Tecnologia Dos Materiais 2017; 29: e265–9. https://doi.org/10.1016/j.ctmat.2016.04.007.

França MHN, Oliveira F da S, Pinheiro OR. Desenvolvimento de um protótipo humanoide por meio de impressões 3D para desenvolvimento de novas tecnologias/Developing a humanoid prototype through 3D printing for developing new technologies. Brazilian Applied Science Review 2020; 4: 2729–37. https://doi.org/10.34115/basrv4n4-044.

Freitas MS, Inforçatti NP, Silveira ZC, Noritomi PY, Silva JVL. Development of an innovative micro extrusion head based on screw for experimental additive manufacturing machines. IFAC Proceedings Volumes 2013; 46: 367–72. https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00122.

Freitas T, Rangel B, Alves JL. The Toy as a Factor of Better Children's Integration in Hospitalization Context, 2019, p. 215–34. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02257-0_17.

Gaál G, da Silva TA, Gaál V, Hensel RC, Amaral LR, Rodrigues V, et al. 3D Printed e-Tongue. Front Chem 2018; 6. https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00151.

Geraldo MS. Caracterização e Otimização do Comportamento Mecânico de PEEK Produzido por Impressão 3D. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2022.

Gibb A, Steven Abadie, Baafi E, Bolton M, Bradford K, Levine G, et al. Building Open Source Hardware: DIY Manufacturing for Hackers and Makers. United States: Pearson Education, 2015.

Gomes Â, Rangel B, Carneiro V, Lino J. "Learning by Doing" Integrated Project Design in a Master Program on Product and Industrial Design. Contributions to Higher Engineering Education, Singapore: Springer Singapore; 2018, p. 105–34. https://doi.org/10.1007/978-981-10-8917-6_5.

Gomes AFF. Ensaios Não Destrutivos para Impressão 3D de Materiais Compósitos de Matriz Polimérica. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2019.

Gomes DA, Lopes L, Lino Alves J. Bridging the Gap: Project-Based Learning in Industrial Design Education. Int J Des Educ 2024; 19: 109–40. https://doi.org/10.18848/2325-128X/CGP/v19i01/109-140.

Gomes Gama JF, Dias EA, Aguiar Coelho RMG, Chagas AM, Aguiar Coelho Nt J, Alves LA. Development and implementation of a significantly low-cost 3D bioprinter using recycled scrap material. Front Bioeng Biotechnol 2023; 11. https://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1108396.

Gomes R. Desenvolvimento e produção de filamentos para utilização em impressoras 3D. Tese de Mestrado. Universidade do Minho, 2014.

Gonçalves JFO. Impressora 3D com LinuxCNC. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2014.

Gonçalves RAR. Estudo da impressão 3D de baixo custo de geometrias complexas obtidas a partir de modelos matemáticos. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2017.

Guimarães ALR. Impressão 3D com terra crua: A ressignificação da aplicação do solo na arquitetura e no design contemporâneo. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2024.

Hansen A, Howard TJ. The Current State of Open Source Hardware: The Need for an Open Source Development Platform. In: Chakrabarti A, Prakash R V., editors. ICoRD'13: Global Product Development. 1st ed., New Delhi: Springer; 2013, p. 977–88. https://doi.org/10.1007/978-81-322-1050-4_77.

Horne R. On the desktop: driven by open source. Disruptive Magazine 2015: 21–32.

Ibach MK. Printing Utopia: The Domain of the 3D Printer in the Making of Commons-Based Futures. Design and Culture 2023; 15: 323–44. https://doi.org/10.1080/17547075.2022.2136562.

Inforçatti Neto P, Filho ALL, Pereira FDAS, Silva JVL da, Silveira Z de C. Thermoplastic filament extruder head for desktop Additive Manufacturing machines. Innovative developments in virtual and physical prototyping: Proceedings of the 5th international

conference on advanced research in virtual and rapid prototyping, Boca Raton, FL: CRC Press; 2012, p. 635–8. https://doi.org/10.1201/b11341-101.

Kalinke C, Crapnell RD, de Oliveira PR, Janegitz BC, Bonacin JA, Banks CE. How to Improve Sustainability in Fused Filament Fabrication (3D Printing) Research? Global Challenges 2024; 8. https://doi.org/10.1002/gch2.202300408.

Kefalis C, Skordoulis C, Drigas A. The Role of 3D Printing in Science, Technology, Engineering, and Mathematics (S.T.E.M.) Education in General and Special Schools. International Journal of Online and Biomedical Engineering (IJOE) 2024; 20: 4–18. https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i12.48931.

Khaliq MH, Gomes R, Fernandes C, Nóbrega J, Carneiro OS, Ferrás LL. On the use of high viscosity polymers in the fused filament fabrication process. Rapid Prototyping J 2017; 23: 727–35. https://doi.org/10.1108/RPJ-02-2016-0027.

Kim S-M, Choi Y, Suh J. Applications of the Open-Source Hardware Arduino Platform in the Mining Industry: A Review. Applied Sciences 2020; 10: 5018. https://doi.org/10.3390/app10145018.

Lei IM, Sheng Y, Lei CL, Leow C, Huang YYS. A hackable, multi-functional, and modular extrusion 3D printer for soft materials. Sci Rep 2022; 12:12294. https://doi.org/10.1038/s41598-022-16008-6.

Lima PDRCR. Estratégias de modelação 3D de contextos arquitectónicos, a partir de varrimento laser 3D. Tese de Mestrado. Faculdade de Arquitectura Universidade Técnica de Lisboa, 2011.

Lixandrão Filho, Cheung APYC, Noritomi PY, Silva JVL da, Colangelo N, Kang H, et al. Construction and adaptation of an open source rapid prototyping machine for biomedical research purposes—a multinational collaborative development. Innovative Developments in Design and Manufacturing, CRC Press; 2009. https://doi.org/10.1201/9780203859476.ch73.

Macedo RQ de, Ferreira RTL, Jayachandran K. Determination of mechanical properties of FFF 3D printed material by assessing void volume fraction, cooling rate and residual thermal stresses. Rapid Prototyping J 2019; 25:1661–83. https://doi.org/10.1108/RPJ-08-2018-0192.

Malone E, Lipson H. Fab@Home: the personal desktop fabricator kit. Rapid Prototyping J 2007; 13: 245–55. https://doi.org/10.1108/13552540710776197.

Maricevich JBR, Cezar-Junior A, de Oliveira-Junior E, Veras e Silva JM, da Silva JL, Nunes A, et al. Functional and aesthetic evaluation after cranial reconstruction with polymethyl methacrylate prostheses using low-cost 3D printing templates in patients with cranial defects secondary to decompressive craniectomies: A prospective study. Surg Neurol Int 2019; 10: 1. https://doi.org/10.4103/sni.sni_149_18.

Martin L. The Promise of the Maker Movement for Education. Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER) 2015; 5. https://doi.org/10.7771/2157-9288.1099.

Martins J de S. Otimização de uma impressora 3D. Tese de Mestrado. Universidade da Beira Interior, 2021.

Martins RMG. Estudo comparativo das tecnologias de impressão 3D, DLP e FDM. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, 2023.

Matijevic M, Cvjetkovic V. Overview of architectures with Arduino boards as building blocks for data acquisition and control systems. 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), IEEE; 2016, p. 56–63. https://doi.org/10.1109/REV.2016.7444440.

Matos TM, Silva CC do V, Barbosa e Sousa AI, Alves JL. Fabrico aditivo na área médica: prótese mecânica para membro superior. InterPlast 2025.

Matus I. Impressão de Baixo Custo e Acabamentos Superficiais. Ciência & Tecnologia dos Materiais, Fabrico Aditivo Presente e Futuro, p. 14-17, 2024.

Matus I, Lino J, Góis J, Vaz-Pires P, Barata da Rocha A, Teixeira J, et al. REEFDESIGN. ReefdesignPt 2025. https://reefdesign.pt/ (accessed May 13, 2025).

Mcmanus C, Neves AAB, Diniz Filho JA, Maranhão AQ, Souza Filho AG. Profiles not metrics: the case of Brazilian universities. An Acad Bras Cienc 2021; 93. https://doi.org/10.1590/0001-3765202120200261.

Melo MC. Reconstrução 3D e prototipagem rápida de estruturas anatómicas a partir de imagens de tomografia computorizada. Tese de Mestrado. Instituto Politécnico de Lisboa, 2018.

Mendes DAP. Impressão 3D de Materiais Supercondutores. Tese de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, 2019.

Mies R, Bonvoisin J, Jochem R. Harnessing the Synergy Potential of Open Source Hardware Communities. In: Redlich T, Moritz M, Wulfsberg JP, editors. Co-Creation Reshaping Business and Society in the Era of Bottom-up Economics. 1st ed., Cham: Springer; 2019, p. 129–45. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97788-1_11.

Munir MT, Jamwal PK, Li B, Carter S, Hussain S. Revolutionising engineering pedagogy: The role of 3D printing in modern engineering education. Innovations in Education and Teaching International 2025; 62: 575–93. https://doi.org/10.1080/14703297.2024.2346554.

Oliveira FM de, Melo EI de, Silva RAB da. 3D Pen: A low-cost and portable tool for manufacture of 3D-printed sensors. Sens Actuators B Chem 2020; 321: 128528. https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128528.

Oliveira RMCG. Impressão 3D de polímeros: Influência do fator de forma na avaliação das propriedades mecânicas. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2019.

Otoni AVS, de Souza Tavares JJPZ, Neto RMF. 3D Printer as a Resource for Didactic Development Tool for the Maker Culture—An Open-Source Design of the COREXY 3D Printer, 2023, p. 175–85. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5414-8_18.

Pallarolas EAFF. Revisão Técnica de Processos de Manufatura Aditiva e Estudo de Configurações Para Estruturas de Impressoras Tridimensionais. Monografia. Universidade de São Paulo, 2013.

Pazaitis A, Giotitsas C, Savvides L, Kostakis V. Reframing Innovation for Post-growth: Lessons from Patent Discourses in 3D Printing. Science, Technology and Society, 2025. https://doi.org/10.1177/09717218251326836.

Pearce JM. Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs. Elsevier, 2014. https://doi.org/10.1016/C2012-0-07249-3.

Pearce JM. Building Research Equipment with Free, Open-Source Hardware. Science (1979) 2012; 337: 1303–4. https://doi.org/10.1126/science.1228183.

Pêgo PAP. Impressão 3D de um Produto a Partir de Resíduos de Mármore. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2023.

Pitt LF, Watson RT, Berthon P, Wynn D, Zinkhan G. The Penguin's Window: Corporate Brands From an Open-Source Perspective. J Acad Mark Sci 2006; 34: 115–27. https://doi.org/10.1177/0092070305284972.

Powell A. Democratizing production through open source knowledge: from open software to open hardware. Media Cult Soc 2012; 34: 691–708. https://doi.org/10.1177/0163443712449497.

Rayna T, Striukova L, Fauchart E. Commercialization Strategies of Large-Scale and Distributed Open Innovation: The Case of Open-Source Hardware. Calif Manage Rev 2023; 65: 22–44. https://doi.org/10.1177/00081256231161628.

Reck MAX, Antonello R. Projeto para um Braço Robótico de Baixo Custo Baseado em Open Source e Impressão 3D. Caderno de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia 2021; 3: 65–72. https://doi.org/10.21166/cpitt.v3i1.2915.

Regadas JJLM. Otimização de uma impressora 3D Delta e desenvolvimento da impressão simultânea de 3 cores. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2017.

Ribeiro ER. Impressão 3D com Pó de Mármore: Design como veículo para a valorização de resíduos. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2023.

Richter EM, Rocha DP, Cardoso RM, Keefe EM, Foster CW, Munoz RAA, et al. Complete Additively Manufactured (3D-Printed) Electrochemical Sensing Platform. Anal Chem 2019; 91: 12844–51. https://doi.org/10.1021/acs.analchem.9b02573.

Roberto da Silva T. Impressão 3d e automação de uma prótese de membro superior com baixo custo. Trabalho de Conclusão de Curso. Mackenzie, 2021.

Rodrigues RBDL, Almeida Campos Castro Torriani EA, Giacomini GO, Dotto GN, Liedke GS. ULTRA Tomografia Computadorizada Multidetectores com ultra baixa dose de radiação e

impressão 3D como auxiliares para cirurgia guiada em implantodontia. Revista da Faculdade de Odontologia - UPF 2021; 25: 241–6. https://doi.org/10.5335/rfo.v25i2.9579.

Sampaio CP de, Luiz SMF. Impressão 3d aplicada à saúde pública: uma análise de possibilidades com base em produto, processo e paradigma . In: Librelotto LI, Ferroli PCM, editors. Anais do IX ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto, Florianópolis: UFSC/VIRTUHAB; 2021, p. 535–48.

Santana L. Avaliação das capacidades da impressão 3D de baixo custo na fabricação de snap-fits: uma relação de reconhecimento usuário-sistema de impressão. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.

Santana L. Avaliação de uma impressora 3D baseada em código aberto na fabricação de peças em PLA. Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, 2015.

Santana L, Ahrens CH, da Costa Sabino Netto A, Bonin C. Evaluating the deposition quality of parts produced by an open-source 3D printer. Rapid Prototyping J 2017a; 23: 796–803. https://doi.org/10.1108/RPJ-05-2016-0078.

Santana L, Alves JL, Netto A da CS. Effect of the angle of the laid-up filaments on the surfaces on the coefficient of static friction between parts manufactured by extrusion-based 3D printing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications 2021; 235: 1351–67. https://doi.org/10.1177/1464420720978997.

Santana L, Lino Alves J, da Costa Sabino Netto A. Dimensional analysis of PLA and PETG parts built by open source extrusion-based 3d printing. 10º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, ABCM, 2019. https://doi.org/10.26678/ABCM.COBEF2019.COF2019-0078.

Santana L, Lino Alves J, da Costa Sabino Netto A. A study of parametric calibration for low cost 3D printing: Seeking improvement in dimensional quality. Mater Des 2017b; 135: 159–72. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.09.020.

Santos MN, Souza J V., Kamarry S, Santos P, Prudente F. A Low-Cost and Open-Source Robotic Fish Using 3d Printing Technology. OCEANS 2023 - Limerick, IEEE, 2023, p. 1–6. https://doi.org/10.1109/OCEANSLimerick52467.2023.10244381.

Santos S, Soares B, Leite M, Jacinto J. Design and development of a customised knee positioning orthosis using low cost 3D printers. Virtual Phys Prototyp 2017; 12:3 22–32. https://doi.org/10.1080/17452759.2017.1350552.

Savi M, Andrade MAB, Villani D, Rodrigues Jr O, Potiens M da PA. Development of radiopaque FFF filaments for bone and teeth representation in 3D printed radiological objects. Brazilian Journal of Radiation Sciences 2022; 10. https://doi.org/10.15392/bjrs.v10i1.1739.

Semeão HM. Análise da qualidade de parafusos e porcas fabricados por Impressão 3D de baixo custo. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2019.

Siegle JH, Hale GJ, Newman JP, Voigts J. Neural ensemble communities: open-source approaches to hardware for large-scale electrophysiology. Curr Opin Neurobiol 2015; 32: 53–9. https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.11.004.

Silva AD de MM. Estudo das potencialidades da impressão 3D no apoio ao fabrico de sapatos para pessoas com paralesia cerebral. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2015.

Silva AFBM da. Impressora FDM tipo Delta: estudo de impressão de cor e comparação de propriedades. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2018.

Silva G de S da. Adaptação de equipamentos para gravação a LASER: casos de estudo de impressora 3d e de manipulador colaborativo industrial. Tese de Mestrado. Instituto Politécnico de Bragança, 2014.

Silva TM da. Desenvolvimento de um novo simulador de tireoide utilizando tecnologia de impressão 3D. Tese de Mestrado. Instituto de Radioproteção e Dosimetria – Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2021.

Souza MA de, Schmitz C, Pinhel MM, Palma Setti JA, Nohama P. Proposal of custom made wrist orthoses based on 3D modelling and 3D printing. 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), IEEE, 2017, p. 3789–92. https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8037682.

Steffens D, Rezende RA, Santi B, de Pereira FDAS, da Silva JVL, Pranke P, et al. 3D-printed scaffolds for the cultivation of mesenchymal stem cells. IFAC Proceedings Volumes 2013; 46: 361–6. https://doi.org/10.3182/20130911-3-BR-3021.00117.

Teixeira ACMM. Otimização do Processo de Fabrico Aditivo para a Produção de Bólus Individualizados em Radioterapia Externa no Cancro da Mama. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2019.

Teixeira VCV. Impressão 3D de stents vasculares: Influência da espessura e do envelhecimento do dispositivo nas propriedades mecânicas. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra, 2021.

Universidade do Porto. University of Porto Leads Science Education in Portugal. Invest Porto 2024. https://www.investporto.pt/en/news/university-of-porto-leads-science-education-in-portugal/ (accessed May 13, 2025).

Valvez S, Reis PNB, Susmel L, Berto F. Fused Filament Fabrication-4D-Printed Shape Memory Polymers: A Review. Polymers (Basel) 2021; 13: 701. https://doi.org/10.3390/polym13050701.

Vanaei HR, Khelladi S, Tcharkhtchi A. 3D Printing as a Multidisciplinary Field. Industrial Strategies and Solutions for 3D Printing, Wiley; 2024, p. 1–24. https://doi.org/10.1002/9781394150335.ch1.

Vaz GM da R, Silva LP. Digital Fracture: New Approach for 3D Organ Modeling. International Journal of Biomedical and Clinical Analysis 2023; 3: 63–8. https://doi.org/10.61797/ijbca.v3i2.261.

Viana M. Impressão 3D com cimento e pó de vidro: Desenvolvimento de uma argamassa cimentícia com agregados provenientes de resíduos industriais. Tese de Mestrado. Universidade do Porto, 2024.

Wenzel T. Open hardware: From DIY trend to global transformation in access to laboratory equipment. PLoS Biol 2023; 21: e3001931. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001931.

Wong GCY. Open source hardware: the history, issues, and impact on digital humanities. Master. University of Alberta, 2011.

Yanamandram VMK, Panchal JH. Evaluating the Level of Openness in Open Source Hardware. Product Development in the Socio-sphere, Cham: Springer International Publishing; 2014, p. 99–120. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07404-7_4.

Zhang C, Wijnen B, Pearce JM. Open-Source 3-D Platform for Low-Cost Scientific Instrument Ecosystem. SLAS Technol 2016; 21: 517–25. https://doi.org/10.1177/2211068215624406.

ARTIGO Nº22199

TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO DO SECTOR DA ÁGUA: DESENVOLVIMENTO URBANO E MONITORIZAÇÃO COMUNITÁRIA

António Jorge Monteiro[1(*)], Ricardo Germano[2], Ana Silva[2], Alcino Nhacume[3]

[1]CERIS, Av. Rovisco Pais, N.º 1, 1049-001, Lisboa, Portugal.
[2]ENGIDRO Engineering Solutions, R. Luís Cristino da Silva, Lote 248-2º 98E, 1950-172 Lisboa, Portugal.
[3]DNAAS, Rua da Imprensa, N.º 162, Maputo, Moçambique.
(*) *Email:* antonio.jorge.monteiro@tecnico.ulisboa.pt

RESUMO

Desde 2018, o Sistema Nacional de Informação de Água e Saneamento (SINAS), sob gestão da Direção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento (DNAAS) de Moçambique, passou por uma modernização significativa, integrando tecnologias *open source*. Inicialmente mais voltado para infraestruturas rurais, o sistema foi expandido em 2023 com um módulo urbano e uma plataforma de reporte comunitário por SMS. Estas inovações permitem a coleta de dados em tempo real e a participação da comunidade na supervisão das infraestruturas de água. Capacitações multinível asseguram a sustentabilidade do sistema, que se consolida como uma ferramenta robusta para decisões informadas e gestão participativa.

***Palavras-chave**:* Sistema de Informação, Ferramenta de apoio à decisão, Gestão de ativos, Monitorização pela comunidade, Tecnologia *open source.*

INTRODUÇÃO

O Sistema Nacional de Informação de Água e Saneamento (SINAS) da Direção Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento (DNAAS) foi concebido para cobrir todo o setor de abastecimento de água e saneamento de Moçambique, incluindo o abastecimento de água e saneamento rural e urbano. A sua missão é criar uma rede institucional robusta de dados que visa identificar, analisar, disseminar, usar e armazenar dados para gestão, planeamento, formulação de políticas e tomada de decisões (Monteiro et al, 2023). Nesta comunicação pretende-se apresentar a sua evolução mais recente que incluiu o desenvolvimento do módulo urbano, com coleta estruturada de dados sobre infraestruturas de tratamento, captação e armazenamento, e a implementação de uma plataforma piloto para reporte de avarias pela comunidade através de SMS simplificados, promovendo transparência e gestão participativa.

As tecnologias utilizadas incluem ODK Collect, PostgreSQL e QGIS, complementadas por hardware dedicado ao processamento de SMS (SMSEagle). Além disso, ações de capacitação central, provincial e municipal asseguraram a transferência de conhecimento técnico. Na componente de monitorização por SMS segue-se a capacitação para líderes comunitários, sendo o passo seguinte a promoção da adoção plena do sistema em todo o território moçambicano.

REFERÊNCIAS

Monteiro, A.; Silva, A.; Germano, R.; Nhacume, A. (2023). “Gestão de ativos de água e asaneamento à escala nacional por sistema de informação open source”. Revista Águas & Resíduos, Série IV–A&R n.º 12.

ARTIGO Nº22209

OPEN-HARDWARE COMO ALAVANCA DE DESENVOLVIMENTO, ESTUDO DO CASO DOS PROJECTOS DA FACULDADE DE ENGENHARIAS E TECNOLOGIAS DA UNISAVE

Mbanze, D.[1, (*)], Otero, J.[2], Farré, R.[2], Solana G.[1]

[1] Faculdade de Engenharias e Tecnologias da Universidade Save - Moçambique
[2] Universidade de Barcelona – Espanha
[(*)] *Email*: dbanze@unisave.ac.mz

RESUMO

O objectivo deste artigo é mostrar as técnicas aplicadas pela UniSave através da Faculdade de Engenharias e Tecnologias em parceria com a Universidade de Barcelona no design e construção de dispositivos médicos de baixo custo numa abordagem de hardware de código aberto. Os autores esperam que, o caso das pesquisas desenvolvidas pela Unisave, oferecerá uma janela para mostrar o efeito impulsionador da filosofia *open-science*, promovendo a aplicação dos dispositivos médicos de baixo custo na solução dos problemas de saúde dos pacientes nos hospitais locais, bem como desenvolver a inovação tecnológica, educação de qualidade e inclusiva nas comunidades.

Palavras-chave: Open-hardware, Desenvolvimento

1. INTRODUÇÃO

Dispositivos médicos desempenham um papel importante no gerenciamento de doenças a nível mundial, mas também representam um desafio económico crescente, especialmente para países subdesenvolvidos. Os dispositivos médicos disponíveis atualmente no mercado são eficazes, mas, devido ao seu custo elevado, são inacessíveis para a maioria dos pacientes em países de baixa e média renda. A abordagem de hardware de código aberto é uma opção de design relativamente nova para elaboração e distribuição das informações técnicas abrangentes e necessárias para a construção de dispositivos de baixo custo. Portanto, o hardware do código aberto permite o uso livre e irrestrito do conhecimento necessário para replicar, fabricar e manter em serviço um dispositivo ou modificar seu desenho aplicando algumas melhorias. O objetivo deste programa de pesquisa e educação (www.open-source-medicaldevices.com) é projetar, construir e testar dispositivos médicos de alto desempenho e baixo custo, contribuindo para o alcance dos Objectivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) 2030 que visam garantir vidas saudáveis e promover o bem-estar para todos, bem como desenvolver a inovação e educação de qualidade, inclusiva e equitativa.

As opções tecnológicas são adaptadas às necessidades locais específicas em termos de funções de dispositivos médicos e procedimentos de manutenção. O programa se concentra em dispositivos construídos usando componentes eletrónicos de baixo custo, de uso geral e de hardware de código aberto (por exemplo, transdutores, atuadores, microprocessadores) disponíveis no mercado livre, em plataformas de comércio eletrónico de uso popular, e em peças mecânicas obtidas a partir de desenho e impressão 3D simples, garantindo acessibilidade e fácil reposição das mesmas.

A construção de dispositivos usando as informações técnicas de hardware de código aberto, deve precisar de uma quantidade limitada de capital, exige apenas ferramentas básicas do conhecimento de eletrónica e programação e deve ser implementável por pessoal com níveis de treinamento de engenharia relativamente inexperientes.

Até o momento, o programa desenhou sete dispositivos diferentes de baixo custo e de hardware de código aberto que foram publicados em Jornais científicos de acesso aberto (www.open-source-medical-devices.com). Um deles visa melhorar a cicatrização de feridas [1]. Três dispositivos são focados em aplicações pediátricas: um suporte respiratório [2], uma incubadora para recém-nascidos [3] e redução de choque [4]. Dois dispositivos adicionais são focados em patologias respiratórias para adultos: ventilação mecânica não invasiva [5] e avaliação dos músculos respiratórios [6]. O último dispositivo foi desenvolvido para detetar microorganismos infeciosos em fluidos humanos [7].

O processo de desenvolvimento do programa e sua expansão prática dentro dos países de baixa e média renda exigem o envolvimento de equipes locais interdisciplinares compostas por médicos e engenheiros, bem como a elaboração de protocolos práticos de utilização dos equipamentos, que são submetidos à aprovação através de ensaios clínicos [8-10] por conselhos de ética hospitalar locais por forma a garantir a segurança do paciente.

A experiência que o mundo viveu no período de Covid 19 [11-15] mostra que os cientistas e inovadores de todo o mundo e em especial dos países em via de desenvolvimento, devem estar preparados para responder todo tipo de emergências ou catástrofes, aplicando as tecnologias modernas com um custo relativamente baixo.

Os resultados até agora obtidos, mostram que o programa de pesquisa e educação em Hardware de código aberto tem sucesso na fase de elaboração da engenharia de conceito [1-7], e pode-se progredir com uma fase posterior de produção de uma pré-serie de dispositivos e a homologação dos mesmos, ampliando substancialmente o acesso dos pacientes a dispositivos médicos de baixo custo bem como capacitar as comunidades locais para assistência técnica em países de baixa e média renda e estimular o desenvolvimento de indústrias locais.

2. METODOLOGIA

Para este artigo, o método de pesquisa utilizado é a análise de caso. Neste contexto, são analizados e descutidos os resultados alcançados nos projetos de pesquisa da Faculdade de Engenharias e Tecnologias (FET) da Universidade Save. Estes projectos foram desenvolvidos num conceito de open-hardware, nomeadamente, a conceptualização e elaboração dos protótipos em código aberto de equipamentos médicos de baixo custo. Esta é uma linha de inovação tecnológica e extensão universitária que a FET está a desenvolver em coordenação com a Universidade de Barcelona (UB) visando a construção de respiradores de pressão contínua positiva de ar (CPAP segundo o seu acrónimo em inglês), entre outros dispositivos.
Apesar de Moçambique ser um dos países em franco crescimento, a sua economia ainda depende do apoio dos parceiros internacionais para a materialização da sua agenda de desenvolvimento nos diversos domínios. Neste contexto, o acesso a tecnologias de ponta, especialmente nas áreas de saúde e educação, está dependente das doações externas, uma vez que o preço desses equipamentos no mercado internacional é relativamente alto.

Outro factor, está relacionado com a falta de quadros especializados a nível nacional no domínio dos diversos tipos de tecnologias modernas que o mercado oferece. Este factor obriga aos sectores que trabalham com equipamento médico de alta tecnologia, a terem longas paragens

do funcionamento em caso de registo de avaria ou falha dos mesmos. Estes equipamentos requerem técnicos especializados tanto para sua instalação após a aquisição assim como para sua manutenção.

Neste sentido, a existência de equipamentos construidos com o conceito de open-Hardware, os quais requerem um conhecimento básico de electricidade ou electrónica e programação para sua fabricação, impulsiona a criatividade tecnológica e facilita a transferência de conhecimento para as comunidades locais.

2.1. Electrónica e desenvolvimento de software

Os equipamentos desenvolvidos são compostos por dispositivos electrónicos microcontrolados atravéz do arduino [1]. A versão ou o tipo do microcontrolador a aplicar em um determinado projecto depende das necessidades operativas do equipamento a ser desenvolvido. O arduino é um microcontrolador com uma lógica operacional simples e é programável atravéz do seu IDE que utiliza a linguagem de programação C++. Os circuitos electrónicos são desenvolvidos e construidos em placas impressas que depois são instalados nas caixas impressas em 3D, onde as conexões com outros dispositivos são efectuados. Todo o material aplicado nos projectos é facilmente obtido através de sites de comércio livre na internet. Um exemplo de um sistema electrónico montado e microcontrolado por arduino nano pode ser visto na Figura 1.

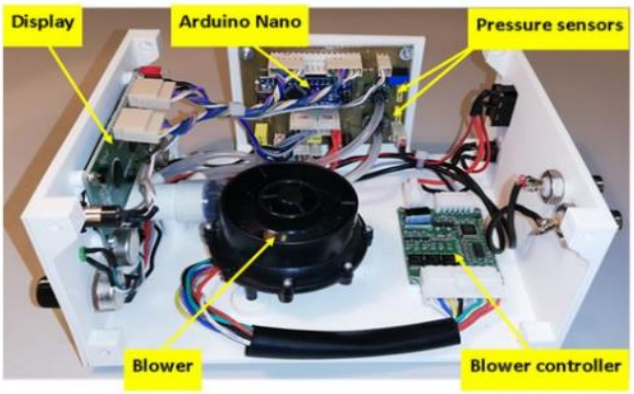


Figura 1. Montagem electrónica de um projecto microcontrolado com arduino Nano.

2.2. Desenho e impressão 3D

Os circuitos electrónicos projectados são montados em invólucros inpressos numa impressora 3D, o que permite ter equipamentos de alto padrão operacional, estético e estruturalmente resistente. O desenho e impressão 3D é uma das grandes revoluções tecnológicas que existem em tempos modernos. Detalhes técnicos de projecto podem ser milimetricamente projectados e estruturados em softwares como 123D design, que depois são convertidos e gravados em formato STL (Standard Tessellation Language) e enviados a impressora para sua extrusão. Os equipamentos são projetados de modo a oferecer resistência mecânica adequada e são impressos em material como PLA ou Policarbonato que é altamente resistente às condições de operação dos equipamentos construidos.

3. RESULTADOS ALCANÇADOS

3.1. **Respirador Pediátrico**

Um dos equipamentos desenvolvidos foi o ventilador pediátrico, visando a redução de mortalidade infantil em países em via de desenvolvimento. O ventilador foi desenvolvido para ser fácil de montagem e de utilização num conceito de open-hardware. Composto com uma ventoinha (WM7040), de alta pressão microcontrolado com arduino Nano e dois transdutores de pressão, incluindo um LCD display digital. A pressão e o fluxo de ar são continuamente monitorados na saída do ventilador e através da lógica operacional do microcontrolador programado, são detectados e controlados momentos de inspiração e de expiração, ajustando-os a pressão gerada pela ventoinha. O ventilador pode operar no modo temporizado ou espontâneo temporizado. As respirações espontâneas dos pacientes são controladas e se o esforço do paciente não for detectado, uma respiração temporizada é acionada de acordo com uma frequência de recuperação.

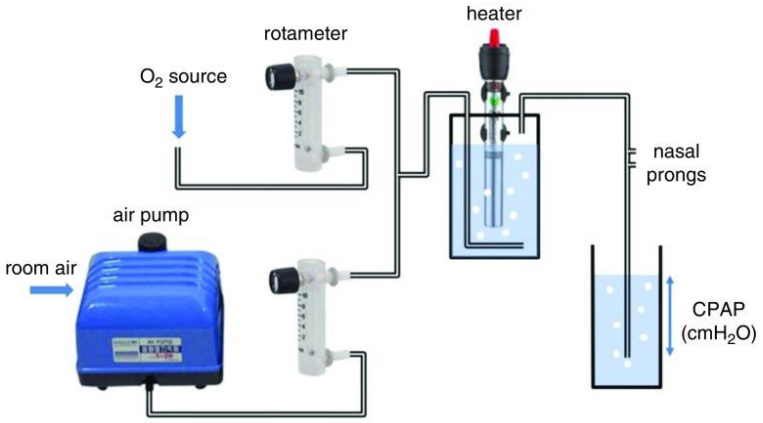


Figura 2. Conceptualização do Respirador pediátrico [2]

Os principais materiais necessários para construção de um respirador pediátrico estão listados na tabela 1, incluindo o seu custo no mercado livre.

Tabela 1. Lista de materiais para cosntrução de Respirador Pediátrico

Material	**Custo de Aquisição (€)**
CNBTR LZQ-6 0-10LPM	11.95
CNBTR LZQ-3 0-10LPM	12
Yuge H-200 25W 220V 20 – 34 ºC	6.10
RSElectrical RS-25W 220V 16 – 32 ºC 139	7.99
15W 220V 50/60Hz >0.02Mpa 20L/min 2.5kg	56.41
Sobo - SB-648A 5 W 220-240 V 2 x 4 L/Min	10
Sobo - SB-988 12 W 220-240 V 4×4 L/min	12.40
Baoblaze - HX608A 3,2 W 220 V 3.5 L/min	8.99
Yuge - f-2588 3 W 220 V 2 x 2 L/min	8.40
Custo dos components electrónicos da UPS	120
Total	**254.24**

3.2.Termoblocks

O dispositivo designado T*ermoblocks* foi baseado em *Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP)* para detectar microrganismos infecciosos em fluidos humanos. A sua performance é similar ao do PCR Convencional. O dispositivo de uso laboratorial é composto por dois blocos térmicos [7] (um de temperatura padrão de 95°célsius destinado a teste de células lisas e outro de 65° célsius para amplificação de DNA). Os termoblocos são microcontrolados com arduino nano. A programação foi desenvolvida para permitir que o utilizador ajuste e controle as temperaturas de cada um dos blocos térmicos, mantendo-os em um nível desejado. Na parte superior do equipamento foi montado um ponto observatório dos resultados das amostras testadas. Este ponto possui uma iluminação regulável por forma a proporcionar ao observador uma melhor visibilidade do estado das amostras testadas. Este equipamento foi produzido com um custo aproximado de 500€.

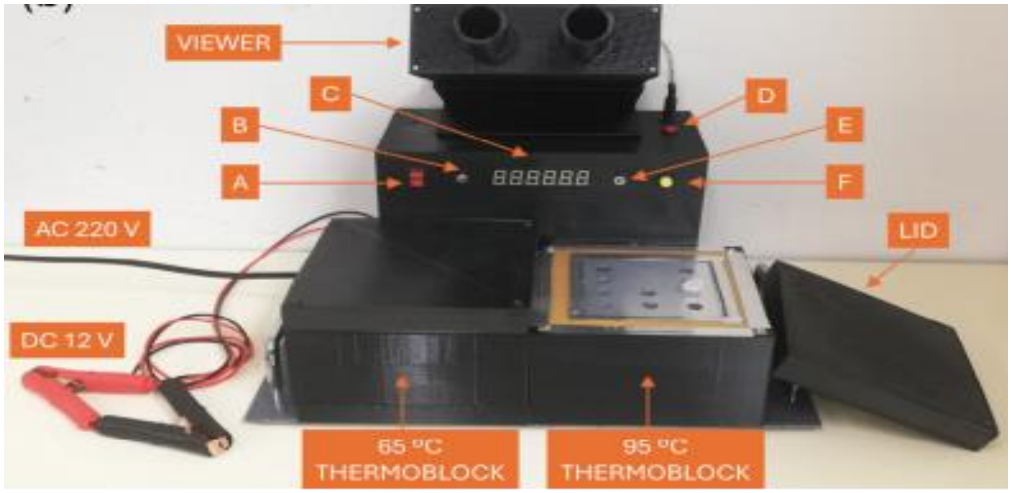


Figura 3. Imagem de um Termoblocks [7]

Na imagem do dispositivo tirada com a tampa do Termoblock de 95° aberta, pode-se ver os furos para fixação de tubos de amostras. A: Botão on/off geral. B e E: on/off interruptores para termoblocos de 65 ºC e 95ºC respectivamente. C: visualizador de temperatura. D: botão para ligar os LEDs e ajuste da intensidade de luz no visualizador, F: botão para o ajuste da temperatura dos blocos. Os principais materiais que compõem o projecto de thermoblocks estão listados na tabela 2, incluindo o seu custo no mercado livre.

Tabela 2. Lista de materiais para cosntrução de Termoblocks

Material	**Custo de Aquisição (€)**
DC-AC SSR-80DD 80A 3-32VDC a 5 - 200 VDC	16.43
Relay Finder 40.52.9.012 DPDT	7.03
SERADHE heater Dissipater 1138.3 70X64X25 TO-3	8.68
Resistores, conectores, diodos, leds, capacitores, IC, PCB, Interruptores, cabos, terminais de conexão	91.1
Arduino Nano	6
500W Power Inverter Input 12V DC, Output 210-240V AC, USB: DC 5V 3.5A.	41.99
Battery chargercables 30A, 1 meterlongitudinal	9.99

DS18B20 Digital Temperature Sensor	15.99
DC voltage source 12V	8.19
Blocos de aluminio	83.27
Silicon heating pad 100x100 mm, 100W, 220V AC	48.26
Fiberglass Plates C40695**, 1.5mm**	29.2
6 Digital Display LED TM1637, 0.56”	9.29
Ultimaker PLA Filament 1Kg, 2.85mm	80
Polycarbonate Filament 180g,2.85mm	23.99
HALJIA 2 canal 5 V modulo, solid stage relay	9.99
Blue filter, plastic screen (078-Tokyo Blue, LEE Filters)	5.3
Plastic screen (015Deep Straw, LEE Filters)	5.3
Total	**500**

3.3. Incubadora Neonatal

Por forma a minimizar o problema de mortalidade infantil em nascimentos prematuros, foi desenvolvido uma Incubadora totalmente funcional com um custo aproximado de 250€. Deste modo, a mortalidade pode ser reduzidas simplesmente mantendo a homeostase térmica do recém-nascido durante as primeiras semanas de vida. Infelizmente, as mortes causadas por prematuridade continuam extremamente comuns em países em via de desenvolvimento, causado pelo acesso reduzido a Incubadoras devido ao alto custo dos equipamentos comercialmente disponíveis. A incubadora é baseada em um microcontrolador Arduino. Ela mantém a temperatura e a umidade relativa controladas dentro da câmara principal, enquanto mede continuamente o progresso do peso do recém-nascido. Além disso, a incubadora possui um sistema de inclinação do leito e um alarme de temperatura de segurança independente adicional. O desempenho da nova incubadora neonatal de baixo custo foi avaliado e aprovado nas normas IEC 60601-2-19.

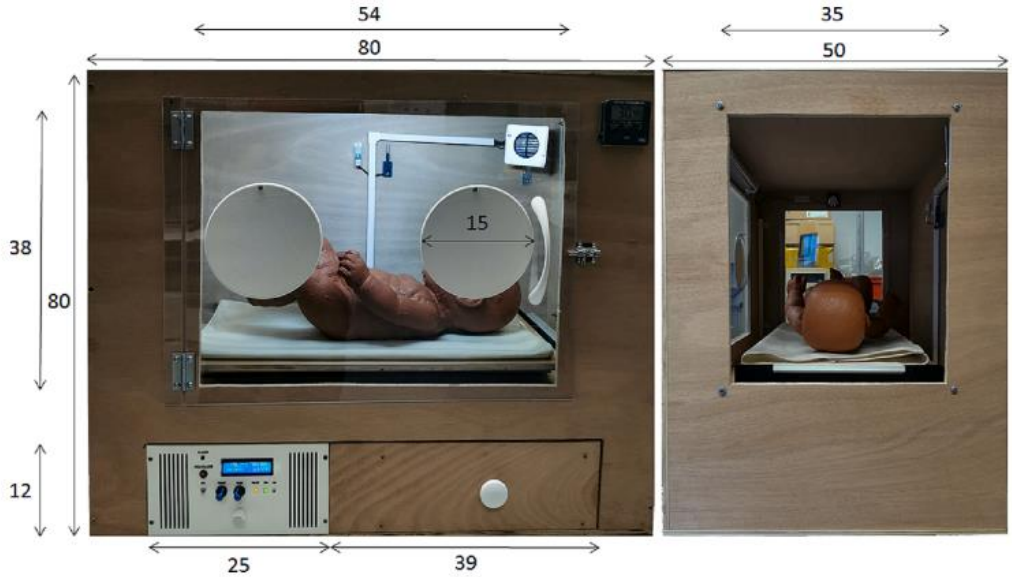


Figura 3. Imagem de uma Incubadora Neonatal [3]

Na sequência segue a lista dos principais materiais necessários para construção de uma Incubadora neonatal, incluindo o seu custo no mercado livre.

Tabela 3. Lista de materiais para cosntrução de Incubadora neonatal

Material	**Custo de Aquisição (€)**
Arduino Nano	4.7
12 V Power source	19.2
IRFP260 transistor (MOSFET)	2.6
TIP122 transistor	0.5
BC549 transistor	0.1
SHTC3 sensor	3.2
HX711 sensor	8
Heater	7.5
LCD I2C	3.6
2 pins connector	0.1
3 pins connector	0.1
4 pins connector	0.1
Strip	1.26
470 resistanceO	0.12
220 resistanceO	0.27
220 µF capacitor	0.22
LEDs	0.1
Bakelite board	1.68
Cables	2.26
Pushbutton	0.1
Potentiometer	1
Dissipator for the MOSFET	1
PLA	10.98
Gutter	3.1
Handle	1.9
Knob	0.2
Latch	1.6
Phenolic plywood	85.24
Polyethylene crystal	24.81
PVC tube	0.32
PVC elbow	0.33
Hinge	0.21
Wood screws	2.43
Screws	2.59
Washers	0.58
Self-locking washers	0.042
LED strip	8
Metal plates	3.07
Tupperware	1.35
Homogenization fan	2.89
Humidification and dehumidification fans	1.94
External thermometer	12.95
Ultrasonic nebulizer	14.6
Total	**236.8**

4. CONCLUSÕES

Neste artigo foram apresentadas as técnicas do desenvolvimento da tecnologia open-Hardware como resultado das pesquisas desenvolvidas pela Faculdade de Engenharias e Tecnologias da Universidade Save em coordenação com a Universidade de Barcelona. A construção destes despositivos médicos de baixo custo mostra um grande potêncial para o alívio da falta de equipamento médico para solução dos problemas das comunidades, especialmente nas zonas rurais, visando a melhoria da qualidade dos serviços de saúde nestas zonas. Para além de operarem em locais com a cobertura da rede nacional de energia eléctrica, os equipamentos aqui descutidos estão preparados para funcionarem em locais disprovidos da rede nacional de energia, uma vez que estão equipados com sistemas autónomos de alimentação na base de paineis fotovoltaicos. Para países como Moçambique, a tecnologia open-hardware pode desempenhar um papel preponderante não só no sector da saúde, mas também no sistema educacional técnico-profissional, proporcionando um equipamento laboratorial cientificamente aprovado para desenvolver vários tipos de exames nas aulas práticas laboratoriais. Para o ensino das engenharias e tecnologias o uso da tecnologias open-hardware pode insentivar e desenvolver o espírito inovador nos estudantes e corpo docente. Um dos grandes desafios na aplicação desta tecnologia nas instituições públicas nacionais, é a falta de protocolos sanitários aprovados que definem os procedimentos para sua homologação e inserção nos hospitais e laboratórios das instituições públicas ao benefício das populações, especialmente das zonas rurais que na sua maioria são as mais carrenciadas pelos serviços básicos de qualidade nos países em via de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

[1] Farré, R.; Rodríguez-Lázaro, M.A.; Gonzalez-Martin, J.; Castro, P.; Hospital, T.; Compta, Y.; Solana, G.; Gozal, D.; Otero, J. Device for Negative Pressure Wound Therapy in Low-Resource Regions: Open-Source Description and Bench Test Evaluation. *J. Clin. Med.* **2022**, *11*, 5417. https://doi.org/10.3390/jcm11185417

[2] Farré R, Trias G, Solana G, Ginovart G, Gozal D, Navajas D. Novel Approach for Providing Pediatric Continuous Positive Airway Pressure Devices in Low-Income, Underresourced Regions. Am J Respir Crit Care Med. 2019 Jan 1;199(1):118-120. doi: 10.1164/rccm.201808-1452LE.

[3] Cuervo R, Rodríguez-Lázaro MA, Farré R, Gozal D, Solana G, Otero J. Low-cost and open-source neonatal incubator operated by an Arduino microcontroller. HardwareX. 2023 Jul 17;15:e00457. doi: 10.1016/j.ohx.2023.e00457.

[4] Farré, R.; Rodríguez-Lázaro, M.A.; Dinh-Xuan, A.T.; Pons-Odena, M.; Navajas, D.; Gozal, D. A Low-Cost, Easy-to-Assemble Device to Prevent Infant Hyperthermia under Conditions of High Thermal Stress. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 13382. https://doi.org/10.3390/ijerph182413382

[5] Garmendia O, Rodríguez-Lazaro MA, Otero J, Phan P, Stoyanova A, Dinh-Xuan AT, Gozal D, Navajas D, Montserrat JM, Farré R. Low-cost, easy-to-build noninvasive pressure support ventilator for under-resourced regions: open source hardware description, performance and feasibility testing. Eur Respir J. 2020 Jun 4;55(6):2000846. doi: 10.1183/13993003.00846-2020.

[6] Aymerich C, Rodríguez-Lázaro M, Solana G, Farré R, Otero J. Low-Cost Open-Source Device to Measure Maximal Inspiratory and Expiratory Pressures. Front Physiol. 2021 Aug 26;12:719372. doi: 10.3389/fphys.2021.719372.

[7] Jorge Otero, Miguel A. Rodríguez-Lázaro, Arturo Martínez-Trejo, Daniel Mbanze, Gorka Solana, Andrea Vergara, Salvador Bosch, David Gozal, Jordi Vila, Ramon Farré,Robust and low-cost open-source device for detecting infectious microorganisms by loop-mediated isothermal amplification, HardwareX, Volume 19, 2024, e00568, ISSN 2468-0672, https://doi.org/10.1016/j.ohx.2024.e00568.

[8] Mackintosh, M.; Tibandebage, P.; Njeru, M.K.; Kungu, J.K.; Israel, C.; Mujinja, P.G. Rethinking health sector procurement as developmental linkages in East Africa. Soc. Sci. Med. 2018, 200, 182–189. [Google Scholar] [CrossRef]

[9] De Maria, C.; Mazzei, D.; Ahluwalia, A. Open source biomedical engineering for sustainability in African healthcare: Combining academic excellence with innovation. In Proceedings of the ICDS, The Eighth International Conference on Digital Society, Barcelona, Spain, 23–27 March 2014; pp. 48–53. [Google Scholar]

[10] Clifford, K.L.; Zaman, M.H. Engineering, global health, and inclusive innovation: Focus on partnership, system strengthening, and local impact for SDGs. Glob. Health Action 2016, 19, 30175. [Google Scholar] [CrossRef]

[11] Farré, R.; Gozal, D.; Nguyen, V.H.; Pearce, J.M.; Dinh-Xuan, A.T. Open-source hardware may address the shortage in medical devices for patients with low-income and chronic respiratory diseases in low-resource countries. J. Pers. Med. 2022, 12, 1498. [Google Scholar] [CrossRef]

[12] Levinson, D.R. Comparison of Prices for Negative Pressure Wound Therapy Pumps; Office of Inspector General, Ed.; Department of Health and Human Services: Washington, DC, USA, 2009. Available online: https://oig.hhs.gov/oei/reports/oei-02-07-00660.pdf (accessed on 12 September 2022).

[13] Alvarez MM, Bravo-González S, González-González E, Trujillo-de Santiago G. Portableand Label-Free Quantitative Loop-Mediated Isothermal Amplification (LF-qLamp) for Reliable COVID-19 Diagnostics in Three Minutes of Reaction Time: Arduino-Based Detection System Assisted by a pH Microelectrode. Biosensors (Basel). 2021; 11(10):386. doi: 10.3390/bios11100386.

[14] Deng H, Jayawardena A, Chan J, Tan SM, Alan T, Kwan P. An ultra-portable, selfcontained point-of-care nucleic acid amplification test for diagnosis of active COVID-19 infection. Sci Rep. 2021; 11(1):15176. doi: 10.1038/s41598-021-94652-0

[15] Agarwal S, Maria A, Roy MK, Verma A. A randomized trial comparing efficacy of bubble and ventilator derived nasal CPAP in very low birth weight neonates with respiratory distress. *J Clin Diagn Res* 2016;10:SC09–SC12.

ARTIGO Nº22487

DESCONSTRUÇÃO DISCIPLINAR DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: REGRAS PARA DIRECÇÃO DO ESPÍRITO SOBRE O SEU OBJECTO E MÉTODO NAS CIÊNCIAS

Luís Roberto da Silva Olumene[1(*)]

[1]Candidato de Doutoramento. Docente e investigador no Instituto Superior de Transportes e Comunicação, ISUTC – Maputo, Moçambique.
[(*)] *Email*: Lolumene@isutc.ac.mz

RESUMO

O objectivo deste trabalho é desconstruir o actual estatuto disciplinar da Inteligência Artificial. A pesquisa começou por indagar se pode a Inteligência Artificial pertencer às ciências computacionais? Para o efeito, esta pesquisa usou o método hermenêutico, dialético, histórico e comparativo que a partir do objecto e método, construidos, resultou em uma regra ao qual designamos "regra do modelo de ciclo de vida da Inteligência Artificial". A pesquisa é relevante pela sua natureza epistemológica básica estratégica, pois desconstruímos e construímos teorias que visam dar avanços a aspectos do conhecimento da Inteligência Artificial nas ciências.

***Palavras-chave**:* Inteligência Artificial, Ciências Computacionais, Antidisciplina, Objecto, Método.

1. INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) "vai buscar conceitos da psicologia cognitiva como das ciências computacionais para desenvolver sistemas artificiais que apresentam, e simulam certas características da inteligência humana" (Gleitman *et al.*, 1999: 1243). No entanto, apesar da IA buscar conhecimentos da psicologia ela é considerada como pertecendo, "apenas", à computação (em particular às ciências computacionais). Não obstante, notamos que o seu objecto e métodos vão para além da computação violando, desta forma, "o princípio da não-contradição" sobre "o todo e a parte".

É de referir que segundo a "Associação para Máquinas de Computação" (ACM) e "Instituto de Engenheiros Eléctricos e Electrónicos – Sociedade da Computação" (IEEE-CS) fazem parte da computação as seguintes disciplinas académicas (ACM, IEEE-CS 2020): ciências computacionais (CC), sistemas de informação (SI), tecnologias de informação (TI), engenharia de *software* (ES), engenharia de computadores (EC), cibersegurança (CSEC) e ciência de dados (CD). Vide figura adiante.

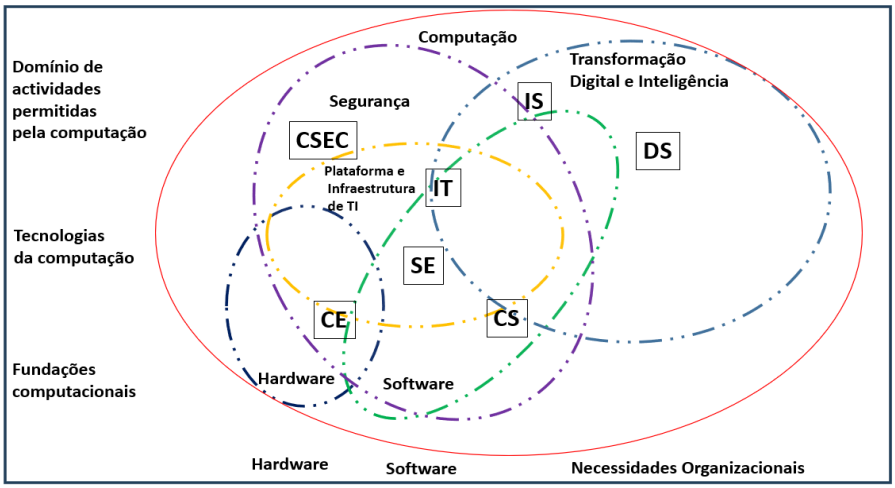


Figura.1 – Uma visão contemporânea do cenário da educação em computação (Fonte: ACM, IEEE-CS 2020)

2. METODOLOGIA

Para fundamentação e direcção da pesquisa, usaremos os métodos de abordagem hermenêutico onde procuraremos compreender porquê o dilema, segundo Olumene (2022), do "ser e não ser da Inteligência Artificial". O método dialético será baseado, segundo a classificação de Marconi e Lakatos (2010), na lei dialética de "interpretação dos contrários, contradição ou luta dos contrários" principalmente na problemática (e problema). Desta feita, quanto a finalidade, ou natureza, a nossa pesquisa é básica, pura, ou teórica por pretendermos dar avanços a aspectos de conhecimento da Inteligência Artificial. Todavia, porque pretendemos explorar o lado epistemológico da IA esta pesquisa quanto a forma de abordagem será qualitativa.

3. PROBLEMÁTICA

Apesar dos progressos da IA para o desenvolvimento e sua aplicação em várias áreas da sociedade esta acarreta várias ambiguidades e contradições que dificultam o alcance dos propósitos da IA. Neste ponto iremos desconstruir a tese de que a IA pertence as ciências computacionais. Portanto, pelo exposto e como ponto de partida da nossa "tese" consideraremos as ciências computacionais como o conjunto universal (ou sujeito) e a IA o particular (a extensão). Por conseguinte, consideraremos como verdadeira a "tese" de que: a IA é subclasse (ou subárea) das ciências computacionais, pois é oficialmente a situação actual em que a IA se encontra embora ela tenha ligações, ou raízes, na filosofia, psicologia e na cibernética. Vide figura adiante.

"Historicamente, a ciência da computação surgiu da engenharia eléctrica e da matemática" (Walker 2010:6). "No limite deste novo campo, onde a informática ciência da computação faz fronteira e por vezes se sobrepõe aos seus vizinhos, a matemática, por um lado, e a engenharia eléctrica, por outro lado" (Bauer 2010:113). No entanto, "esta separação suscitou várias controversas, pois muitos consideravam que as ciências computacionais não podiam ser um curso legítimo na computação, isto é, esta era considerada uma plataforma de pesquisa da matemática" (ACM e IEEE-CS 2005:10). Vide figura abaixo.

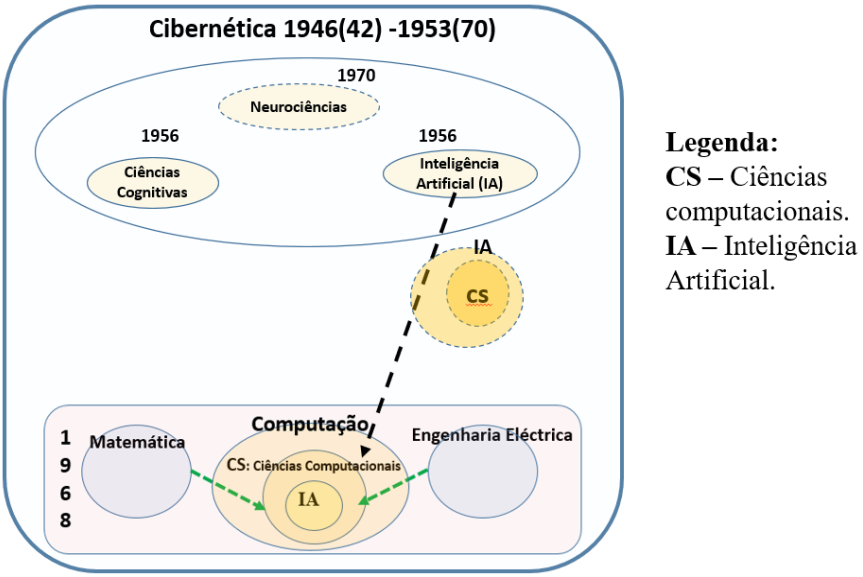


Figura.2 - Origem do objecto e método das ciências computacionais e IA (Fonte: Autor).

Desta feita, a Inteligência Artificial (Simons 1984: 46) "É, geralmente, considerada como subárea das ciências computacionais […] uma razão para esta convenção é a possibilidade de distinguir no tempo o início das actividades em que se foca o trabalho corrente sobre a Inteligência Artificial […] a nossa definição de subclasse Inteligência Artificial é normalmente arbitrária". Melhor dizendo, IA é subclasse das ciências computacionais, que, por sua vez, são subclasse da computação.

Por conseguinte, (1°- primeiro contraditório ou antítese) o mesmo autor contradiz-se ao afirmar que "a expressão Inteligência Artificial foi inventada por John McCarthy, em 1956, numa conferência que se considera ter marcado o começo da Inteligência Artificial como um ramo separado da ciência de computadores" (Simons 1984: 51). É importante referir que as ciências computacionais não existiam, formalmente, em 1956. Ademais, "a percepção de que os passos detalhados de quase toda actividade humana inteligente era desconhecida, marcou o início da Inteligência Artificial como parte separada da ciência da computação" (Feigenbaum e Barr 1981: 6).

Outrossim, "o campo da Inteligência Artificial é geralmente associado às ciências computacionais embora ela tenha *links* importantes com outros campos […] começou a emergir como ramo separado de estudo durante 1940 e 1950 quando os computadores se tornaram uma realidade comercial" (Padhy 2009: V, 5). Deste modo, IA nasce separada das ciências computacionais e, portanto, não é subclasse das ciências computacionais contrariando o postulado na nossa tese.

No entanto, (2°- segundo contraditório) Poole e Mackworth (2010) dizem que também é surpreendente o facto da ciência da computação ter começado como um subproduto da Inteligência Artificial. Isto é, ciências computacionais são subclasse da IA contrariando o postulado na nossa tese. Neste caso, a IA ficaria como subclasse da computação, classe mãe.

Em outra perspectiva, da engenharia, (3°- terceiro contraditório) Bolter considera que a formação inicial de grande parte dos seus investigadores, na sua maioria provenientes da informática e das engenharias, tende a fazer a IA uma arte dos engenheiros. A IA não é uma

ciência, mas antes uma especialidade da engenharia e da lógica (Bolter 1984 citado por Pombo 1997).

De outro modo, (4°- quarto contraditório) o cientista cognitivo Pylyshyn (1981 citado por Simons 1984: 65) diz que "O campo da Inteligência Artificial é coextensivo ao da psicologia cognitiva […] como disciplinas intelectuais (não como tecnologias aplicadas), dedicam-se aos mesmos problemas e por isso os êxitos alcançados em cada uma delas devem, em última instância, ser julgados de acordo com o mesmo critério […] Eu creio que a Inteligência Artificial é precisamente o remédio de que a psicologia precisa neste seu estágio de desenvolvimento".

Neste âmbito, Edward Feigenbaum, afirma que "psicologia e Inteligência Artificial têm uma relação de reciprocidade. O que nós aprendemos acerca da inteligência humana sugere extensão para a teoria da inteligência das máquinas e vice-versa" (Feigenbaum e Cohen 1982:3). Fica subjacente que a IA pertence a outro grupo de disciplinas, nas ciências, que não seja a computação como o é actualmente. Isto é, a IA e psicologia pertencem a mesma classe-mãe ou são idênticas vistas sobre perspectivas diferentes. Nesta direcção, para o psicólogo Allport parece ser "razoável esperar que a Inteligência Artificial acabe por vir a desempenhar, *vis às vis* as ciências psicológicas e sociais, papel idêntico ao desempenhado pela matemática, desde o século XVII, em relação às ciências físicas" (Allport 1980 citado por Simons 1984: 65,66).

Por outra perspectiva, (5°- quinto contraditório) do lado das ciências da vida, Vignaux (1991:17) afirma que "Se a Inteligência Artificial sofreu o desenvolvimento que se conhece durante os últimos trinta anos, o facto deveu-se aos programas conjuntos da Informática, da lógica, da psicologia e das ciências da vida [...]. A Inteligência Artificial não existiria sem a longa história da medicina que explica grande parte do funcionamento do corpo humano e, especialmente, do sistema nervoso".

Entretanto (6°- sexto contraditório) o filósofo da mente Putnam sugere que como a IA é antes de mais nada um subramo da engenharia, não pode ser filosofia (Dennett 1998). Ou seja, a Inteligência Artificial pertence a engenharia. Entretanto, o filósofo da mente Daniel Dennett rebate afirmando que "Hobbes, Leibniz e Descartes estavam fazendo filosofia e epistemologia quando abordavam sobre os limites do mecanicismo, também Kant" (Dennett 1998: 276).

É neste contexto que Carter (2007:1) considera que "a possibilidade do actual desenvolvimento da Inteligência Artificial, porém, não é apenas uma questão suficiente de tecnologia avançada, ela é fundamentalmente uma questão filosófica". A IA pode ser associada à filosofia de várias maneiras, principalmente, porque tanto como disciplinas estudam a mente e o senso comum (Kaliraj e Devi 2022). A semelhança da psicologia, vista no quarto contraditório, a filosofia e a IA partilham o mesmo objecto de estudo e pertencem a mesma classe, não a computação, violando a nossa tese.

Por outro ângulo, (7°- sétimo contraditório) de acordo com Novais (2002: 138) a "Inteligência Artificial é uma disciplina autónoma da cibernética ou consequência desta" ou, ainda, segundo Barbrook (2009: 85) "a teoria da cibernética foi redefinida como um estudo da Inteligência Artificial". Na mesma direcção, Russell e Norvig (2010: 15) "questionam porquê Inteligência Artificial e teoria de controlo (ou cibernética) são campos diferentes, apesar das estreitas relações entre os seus membros fundadores?".

Segundo Novais, "pensando bem, todos os investigadores desta área são ciberneticistas" (Novais 2002: 138). Ou "a maioria dos fundadores da Inteligência Artificial apareceram da cibernética" (Vignaux 1991:23). Assim sendo, IA é subclasse da cibernética, ou seja, pelo exposto no parágrafo anterior, fica claro que a IA é, de facto, cibernética. Se assim for viola a

nossa tese e vai em sentido contrário aos propósitos das ciências computacionais. Deste modo, IA pode ser "tudo isto junto" e se assim for, não pode ser subclasse (ou subárea) de uma determinada disciplina.

Contudo, Joichi Ito diz que um projecto antidisciplinar não é a soma de um monte de disciplinas, mas algo totalmente novo — a palavra desafia uma fácil definição. Mas o que ela significa é alguém ou algo que não se encaixa dentro de uma disciplina acadêmica tradicional — um campo de estudo com seus próprios jargões, fluxogramas, e métodos (Ito 2014). Trata-se de um campo de estudo específico com suas "próprias palavras, estruturas e métodos particulares" (Stinson 2016). Portanto, em última análise, fica desconstruída a ideia de que a IA é subclasse das ciências computacionais. A IA é antidisciplina e deverá possuir um objecto e método próprio.

3.1 Problema científico

A lógica apresenta três princípios da razão, dos quais, destacamos o "princípio da não contradição". De acordo com este princípio é impossível que a afirmação e a negação sejam verdadeiras ao mesmo tempo (Borges *et al.* 2019). Por outro ângulo, segundo o princípio de extensão do silogismo tudo que "se afirma" ou "se nega", universalmente de um sujeito "se afirma" ou "se nega" igualmente, no que está contido nesse mesmo sujeito (Chambisse e Nhumaio 2008).

Por conseguinte, pelo exposto, há do nosso ponto de vista um contraditório científico. Segundo Olumene (2014, 2022), a Inteligência Artificial não pode "ser" e "não ser" ao mesmo tempo, nas ciências exactas e "ser" e "não ser" ao mesmo tempo nas ciências humanas sociais e da vida, segundo o princípio da não contradição. Outrossim, de acordo com Olumene (2022) o que " se afirma" ou "se nega" da IA é contraditório com o que "se afirma" ou "se nega" das ciências computacionais ou, ainda, o que "se afirma" ou "se nega" da classe-mãe computação.

Por outro lado, e em sentido contrário, se a IA pode assumir três estados: "ser", "não ser" e, também, "não ser nenhum dos dois estados anteriores" então, enquadra-se na lógica quântica. Desta feita, com o teorema de Gödel, segundo Santos (2008), a lógica clássica entra em crise, abalada em seu fundamento centrado na não contradição. O mesmo autor alega que a lógica clássica, a lógica do "sim ou não", do "é ou não é", segundo a qual não cabem definições como "mais ou menos" ou "aproximadamente", expressões que ficam "entre linhas divisórias" e "além das linhas divisórias", considerando-se que há um terceiro termo no qual "é" se une ao "não é" (*quanton*).

4. OBJECTIVOS DA PESQUISA

Pretende-se consolidar e dar continuidade a pesquisa sobre "O Dilema do ser e não ser da Inteligência Artificial" de Olumene (2022). Desta feita, os objectivos da pesquisa são: **a)** Desconstruir a tese de que a Inteligência artificial é subclasse das ciências computacionais; **b)** Construir uma regra para direcção do espírito do Objecto e Método da Inteligência Artificial; **c)** Propor uma definição para a Inteligência Artificial com base na regra do espírito.

5. TEORIA PARA DIRECÇÃO DO ESPÍRITO SOBRE O OBJECTO E MÉTODO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Para fundamentação da nossa teoria usaremos a teoria da taxonomia de Bloom e o Mapa conceptual.

5.1 Objecto e Método da Inteligência Artificial

Não se conhece nenhuma ciência ou disciplina que é definida ao critério do pesquisador de acordo com a sua preferência, comodidade ou *background*. É nesta perspectiva que Wilensky diz que "a Inteligência Artificial é um campo conhecido por sua falta de consenso sobre questões fundamentais" (Wilensky 1983 citado por Gardner 1985:141). Por outro lado, de acordo com Carvalho (2009: 10), na discussão que promove sobre concepção metodológica, defende que "a ciência pode definir-se pelo seu objecto e pelo seu método". No mesmo diapasão, Chambisse e Cossa afirmarem que de uma maneira geral, a abordagem de qualquer ciência começa pela apresentação da sua "definição", pela delimitação do seu "objecto" e pela indicação dos seus "métodos específicos" (Chambisse e Cossa 2010).

5.2 Taxonomia de Bloom para direcção do espírito do objecto e método

A taxonomia de Bloom é útil para organização de métodos ou objectivos de aprendizagem. Bloom diz que a taxonomia é uma estrutura cujo principal objectivo é facilitar a comunicação na construção de uma taxonomia de objectivos educacionais (Bloom *et al.* 1956). Vide tabela adiante.

Tabela.1 - Nível de habilidade com verbos aplicáveis da Taxonomia de Bloom (Fonte: ACM, IEEE-CS e AAAI 2023:9)

Taxonomia de Bloom revisado	**Nível de habilidade com verbos aplicáveis**
Lembrar Entender	Explicar: definir, descrever, discutir, enumerar, expressar, identificar, Indicar, listar, nomear, seleccionar, declarar, resumir, tabular, traduzir
Aplicar Analisar	Aplicar: fazer *backup*, calcular, computar, configurar, depurar, implantar, experimentar, instalar, iterar, interpretar, manipular, mapear, medir, corrigir, prever, provisionar, randomizar, recuperar, restaurar, agendar, resolver, testar, rastrear, treinar, virtualizar
Analisar Avaliar	Avaliar: analisar, comparar, classificar, contrastar, distinguir, categorizar, diferenciar, discriminar, ordenar, priorizar, criticar, apoiar, decidir, recomendar, avaliar, escolher, defender, prever, classificar
Criar	Desenvolver: combinar, compilar, compor, construir, criar, projectar, desenvolver, generalizar, integrar, modificar, organizar, planear, produzir, reorganizar, reescrever, refatorar, escrever

Sendo assim, na tabela acima, escolhemos os seguintes objectivos de aprendizagem: Objectivo "Entender", Objectivo "Simular", Objectivo "Construir" e Objectivo "Testar". A ACM e IEEE-CS (2024) chamam aos objectivos de aprendizagem, por nível de habilidade.

6. RESULTADO

Segundo Moreira (2006), os mapas conceptuais podem ser interpretados como diagramas hierárquicos que procuram reflectir a organização conceptual de um corpo de conhecimento ou parte dele. Vide figura adiante.

Com base na tabela anterior começamos por organizar a lógica dos objectivos de aprendizagem em uma regra. Desta feita, enquadramos os objectivos de aprendizagem da IA em grupos de acordo com a Taxonomia de Bloom e chamamos, no mapa conceptual, de zonas com

respectivas disciplinas, isto é: Objectivos de aprendizagem - Entender (ciências humanas e sociais); Objectivos de aprendizagem - Simular (ciências exactas e naturais – com foco na matemática); Objectivos de aprendizagem - Construir (ciências exactas e naturais – com foco na física) e; Objectivos de aprendizagem - Teste (todas as disciplinas). Vide figura abaixo.

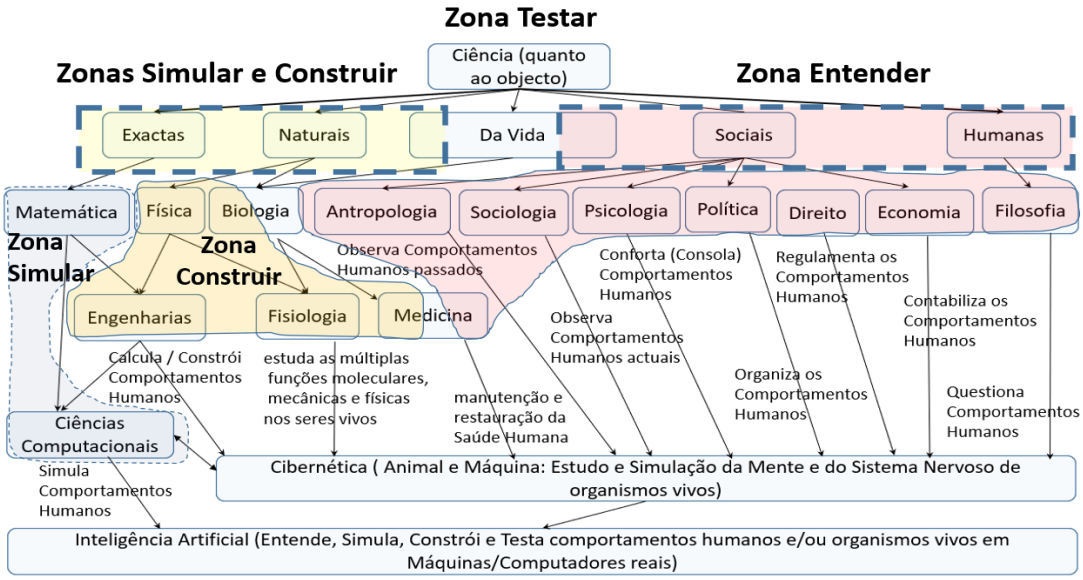


Figura.3 - Zonas da Taxonomia de Bloom no Mapa Conceptual (Fonte: Autor).

De seguida fundamentamos, de forma sequenciada, os objectivos de aprendizagem (objectivos do ciclo de vida da Inteligência Artificial). Vide figura abaixo.

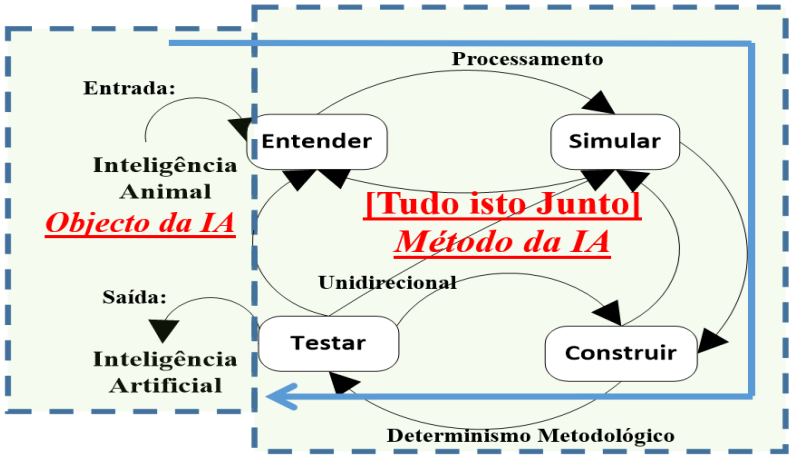


Figura.4 – Regras para direcção do espírito sobre o objecto e método da IA (Fonte: Olumene 2022, 2024, adaptado).

Desta forma, adiante explicamos o funcionamento do modelo de ciclo de vida da Inteligência Artificial.

Nesta "Regra para direção do espirito", a faculdade de interesse, ou de destaque é a inteligência (Input e output do Modelo). Por esta via, é comum afirmarmos (Olumene 2014: 62):

- "Entender" a Inteligência (Métodos que permitem "entender" a inteligência);
- "Simular" a Inteligência (Métodos que permitem "simular" a inteligência);
- "Construir" a Inteligência (Métodos que permitem "construir" a inteligência);
- "Testar" a Inteligência (Métodos que permitem "testar" a inteligência).

Todavia, o acto inteligente pode, de entre outras formas, ser observado pela manifestação de um determinado comportamento, neste caso comportamento Inteligente. Daí, também, referenciarmos na literatura (Olumene 2014: 47):

- "Entender*"* o Comportamento (Métodos que permitem "entende*r"* o comportamento);
- "Simular*"* o Comportamento (Métodos que permitem "simular" o comportamento);
- "Construir*"* o Comportamento (Métodos que permitem "construir" o comportamento);
- "Testar*"* o Comportamento (Métodos que permitem "testar" o comportamento).

Por outro lado, é comum referir-se, também, as características. Isto é:

- "Entender*"* as características (Métodos que permitem "entender" as características);
- "Simular*"* as características (Métodos que permitem "simular" as características);
- "Construir*"* as características (Métodos que permitem "construir" as características);
- "Testar*"* as características (Métodos que permitem "testar" as características).

As abordagens anteriores permitem-nos formular uma definição epistemológica para a Inteligência Artificial. da seguinte forma, vide tabela adiante.

Tabela.2 – Definição da IA com base na regra do espírito. (Fonte: Autor).

Regra	**Definição**
Disciplinas Envolvidas	Uma disciplina da computação que vai buscar conhecimentos, por um lado, da filosofia, ciências humanas, sociais e da vida e, por outro lado, conhecimento das ciências exactas e naturais ***para***;
Método	Entender (E), Simular (S), Construir (C) e Testar (T) ***o***;
Objecto	Animal (inteligência, comportamento, características) ***em***;
Aplicação	máquinas reais ***de modo a***;
Finalidade	Melhorar a sua condição animal, social, cultural e tecnológica.

7. CONCLUSÃO

A pesquisa foi motivada pela pergunta de partida "se pode a Inteligência Artificial pertencer às ciências computacionais?". Para o efeito, desconstruimos a tese de que a Inteligência artificial é subclasse das ciências computacionais; construimos uma regra para direcção do espírito do Objecto e Método da Inteligência Artificial e; propusemos uma definição para a Inteligência Artificial com base na regra do espírito.

Por conseguinte, concluímos que a IA não pertence às ciências computacionais por ser antidisciplina. Notamos, ao longo da pesquisa, que ela tem raízes profundas na filosofia, psicologia, cibernética e na medicina. Outrossim, notamos que o objecto e método é

determinante para os avanços da IA. A pesquisa poderá ser útil para o desenho e planificação curricular da IA, por exemplo, os métodos ou objectivos de aprendizagem cobrem os domínios de aprendizagem cognitivo, afectivo e psicomotor.

8. REFERÊNCIAS

ACM e IEEE-CS., Computing Curricula 2020: Paradigms for Global Computing Education, Series Report 2020 December 31, 2020. <htttp://www.acm.org>. Consultado em 12-07-2022.

ACM, IEEE-CS e AAAI, Computer Science Curricula 2023 Version Beta, 2023. <https://csed.acm.org/wp-content/uploads/2023/03/Version-Beta-v2.pdf>, Consultado em 20-03-2023.

ACM e IEEE-CS, Computing Curricula 2005: The Overview Report, 2006. <http://www.acm.org>, Consultado em 20-07-2022.

Bauer, F.L., Origins and Foundations of Computing: In cooperation with Heinz Nixdorf MuseunsForum, Berlin: Spring-Verlag, 2010.

Bloom, B.S. *et al.* (eds), Taxonomy of Educational Objectives : The Classification of Educational Goals, USA: Longmans, 1956.

Borges, J.F., Paiva, M. e Tavares, O. Introdução à Filosofia, 11ª Classe, Maputo: Plural Editores, 2019.

Barbrook, R., Futuros Imaginários: Das máquinas pensantes à aldeia global, 2009. <https://monoskop.org/images/e/ee/Barbrook_Richard_Futuros_imaginarios_das_maquinas_pensantes_a_aldeia_global.pdf>, Consultado em 29-11-2022.

Carvalho, J.E., Metodologia do Trabalho Científico, «Saber-Fazer» da investigação para a dissertações e teses, 2ª Edição, Lisboa: Escolar Editora, 2009.

Chambisse, E.D. e Cossa, J.F., Filosofia, 11ª Classe, Maputo: Texto Editores, 2010.

Carter, M., Minds and Computers: An Introduction to the Philosophy of Artificial Intelligence, Edinburg University Press, 2007.

Dennett, D.C., Brainchildren: Essay on Designing Minds, Massachusetts: The MIT Press, 1998. <https://ks3-cn-beijing.ksyun.com/attachment/a67ab3fb170b3cffde4e6d62fb871973>. Consultado em 21-10-2022.

Feigenbaum, E.A. e Cohen, P.R., The Handbook of Artificial Intelligence, Volume.III, Department of Computer Science, Stanford University, California: William Kaufmann Inc., 1982.
< https://archive.org/details/handbookofartific03cohe >, Consultado em 12-06-2021.

Feigenbaum, E.A. e Barr, A., The Handbook of Artificial Intelligence, Volume I, Department of Computer Science, Stanford University.,California: William Kaufmann Inc., 1981. <https://ia600306.us.archive.org/34/items/handbookofartific01barr/handbookofartific01barr.pdf> Consultado em 22-11-2022.

Gleitman, H., Fridlund, A.J. e Reisbeig, D., Psicologia, 8ª Edição, Lisboa: Fundação, Calouste Gulbenkiam, pp. 1243,1999.

Gardner, H., The Minds new science: A history of the cognitive revolution, NewYork: Library of Congress Cataloging, 1985.

Ito, J., Antidisciplina, USA: MIT Media Lab Science, 2014. <https://joi.ito.com/weblog/2014/10/02/antidisciplinar.html>, Consultado em 05-12-2022.

Kaliraj, P. e Devi, T. Artificial Intelligence Theory, Models, and Applications, 2022. <https://b-u.ac.in/sites/b-u.ac.in/files/latest-attachments/4.pdf>, Consultado em 26-04-2023. Pp 1-24.

Marconi, M.A. e Lakatos, E.M., Fundamentos de Metodologia Cientifica, 7ª Edição, São Paulo: Editora atlas, 2010.

Moreira, M.A., Mapas Concetuais e Diagramas V, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO.pdf>. Consultado em 23-02-2023.

Novais, J., O Homem e a Automação: emoção versus razão, Lisboa: Escolar Editora, 2002.

Olumene, L.R.S., A Relevância da Inteligência Artificial na Actualidade: Uma Proposta para a Definição do seu Estatuto Científico na Computação, Dissertação de Mestrado, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Matemática e Informática, Moçambique, Maputo, 2014. <http://www.repositorio.uem.mz/bitstream/258/221/1/2015%20-%20Olumene%2c%20Lu%c3%ads%20Roberto%20da%20Silva.%20pdf.pdf>, Consultado em 10-10-2022.

Olumene, L.R.S., O Dilema do "ser" e "não ser" da Inteligência Artificial: Discurso do Método da Inteligência Artificial para o Desenvolvimento do seu "Estatuto Científico" na Computação, Instituto Politécnico de Santarém, Vol. 10 N.º 3 (2022): Edição Temática: Ciências Naturais e do Ambiente, Ciências Exatas e da Engenharia e Ciências da Vida e da Saúde| Número Especial: III Simpósio de Economia e Gestão da Lusofonia, 2022.
< https://revistas.rcaap.pt/uiips/article/view/29120>. Consultado em 01-01-2023.

Padhy, N.P., Artificial Intelligence and Intelligent Systems, New Delhi: OXFORD University Press, 2009.

Pombo, O.M., Unidade da Ciência e Configuração Disciplinar dos Saberes: Contributos para uma Filosofia do Ensino, Universidade de Lisboa, Tese de Doutoramento, 1997.
< https://repositorio.ul.pt/handle/10451/42668>, Consultado em 01-05-2023.

Poole, D.L. e Mackworth A.K., Artificial intelligence: Foundations of computational Agents, Cambridge: Cambridge University Press, 2010. [online]

Russell, S. e Norvig, P., Artificial Intelligence: A modern approach, 3rd Edition, USA: Person Education, 2010.

Stinson, L, Design, MIT Media Lab's *Journal of Design and Science* Is a Radical NewKind of Publication: The MIT Media Lab has launched a new kind of academic journal that embodies its "antidisciplinary" ethos, 2016. <https://www.wired.com/2016/03/mit-media-labs-journal-design-science-radical-new-kind-publication/>.

Simons, G.L., Introdução a Inteligência Artificial, Lisboa: Clássica editora, 1984.

Santos, A., Complexidade e transdisciplinaridade em educação: cinco princípios para resgatar o elo perdido, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Laboratório de Estudos e Pesquisas Transdisciplinares, 2008.<https://www.scielo.br/j/rbedu/a/5qbJPVmkqkbqNMj8hGTXVBN/?format=pdf&lang=pt>, Consultado em 10-02-2023.

Vignaux, G., As Ciências Cognitivas, Lisboa: Instituto Piaget, 1991.

ARTIGO Nº22488

UMA PLATAFORMA DIGITAL PARA DOAÇÕES TRANSPARENTES E SEGURAS EM TRATAMENTOS MÉDICOS EM MOÇAMBIQUE.

Rafael Beto Mpfumo[1(*)], Delton Ramiro[2]

[1,2]Instituto Superior de Transportes e Comunicações - ISUTC
[(*)] *Email :* rmpfumo@isutc.ac.mz

RESUMO

O crescente recurso a plataformas online para angariação de fundos destinados a tratamentos médicos em Moçambique enfrenta desafios significativos relacionados à falta de transparência e à prevalência de campanhas fraudulentas, minando a confiança dos potenciais doadores e a eficácia dessas iniciativas. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma plataforma digital inovadora que visa mitigar esses problemas, oferecendo um ambiente seguro e transparente para a criação e gestão de campanhas de financiamento coletivo. A metodologia de desenvolvimento envolveu a análise de dados de 50 campanhas informais existentes (revelando que 85% apresentavam inconsistências ou sinais de adulteração de dados bancários), entrevistas com 25 doadores (onde 92% expressaram forte receio de fraude) e pesquisa sobre melhores práticas em sistemas de doação online. A plataforma permite que indivíduos e famílias em necessidade apresentem suas causas de forma clara e verificável, enquanto os doadores podem autenticar as solicitações e monitorar a aplicação dos recursos doados. A solução foi implementada utilizando tecnologias *web* modernas, como *HTML, CSS, Bootstrap* e o *framework React.js* para o *frontend*, e *Node.js* com MongoDB para o *backend*, garantindo escalabilidade e segurança. Espera-se que esta plataforma contribua significativamente para aumentar a confiança e a eficácia das campanhas de arrecadação de fundos para tratamentos médicos em Moçambique.

Palavras-chave: Doação Digital, Angariação de Fundos, Transparência, Segurança, Moçambique.

1. INTRODUÇÃO

A crescente utilização de plataformas de redes sociais para angariação de fundos destinados a tratamentos médicos em Moçambique reflete uma resposta adaptativa à crescente pressão sobre os recursos financeiros na área da saúde, onde as carências de financiamento e infraestrutura do sistema público impulsionam a busca por soluções alternativas (Smith & Johnson, 2023). Atualmente, a busca por apoio financeiro é predominantemente iniciada por pacientes, seus familiares ou pessoas próximas, por meio de campanhas online que podem utilizar tráfego orgânico ou pago. No modelo de tráfego orgânico, a campanha é compartilhada gratuitamente na rede de contatos do responsável, dependendo da boa vontade dos internautas para amplificar seu alcance (Chen et al., 2022). Embora essa abordagem ofereça a vantagem de custo zero de publicação, ela frequentemente se limita a um alcance restrito e apresenta baixas taxas de conversão. Em contrapartida, o tráfego pago envolve investimento em publicidade em redes sociais, possibilitando a segmentação do público e o alcance de um número significativamente maior de potenciais doadores, o que geralmente resulta em taxas de conversão mais elevadas

(Lee & Kim, 2021). Parcerias com influenciadores digitais também são uma tática comum nesse modelo.

Contudo, apesar do potencial de mobilização de apoio, a abordagem atual para a angariação de fundos médicos online em Moçambique é marcada pela ausência de mecanismos robustos de verificação e pela consequente vulnerabilidade à exploração através de campanhas fraudulentas (UNDP, 2020; World Bank, 2021). A facilidade de criação de perfis falsos e a disseminação de narrativas enganosas online não apenas comprometem a reputação de iniciativas genuínas de financiamento, mas também expõem os doadores a um risco considerável de serem vítimas de fraude. Essa falta de supervisão e autenticação gera sérias preocupações entre os doadores em potencial, que questionam a legitimidade das necessidades apresentadas e a correta aplicação dos fundos.

Um dos principais vetores de fraude reside nos esquemas de burla, que ocorrem após a disseminação das campanhas. Indivíduos mal-intencionados identificam e alteram dados críticos nas campanhas originais, principalmente informações bancárias, para desviar as doações para suas próprias contas (Interpol, 2023). Ao manter uma aparência superficialmente semelhante à campanha legítima, essas versões fraudulentas são publicadas em massa, muitas vezes superando o alcance da campanha original. Adicionalmente, a carência de mecanismos de controle adequados pode facilitar a má gestão dos recursos arrecadados e até mesmo a violação de dados pessoais dos envolvidos (Privacy International, 2024). As limitações do processo atual são diversas e significativas:

- **Dificuldade de Transmitir Credibilidade:** Pacientes enfrentam obstáculos para convencer potenciais doadores sobre a legitimidade de suas necessidades.
- **Ausência de Plataforma Credível:** Não existe um meio confiável para pacientes comprovarem suas necessidades e para doadores verificarem a autenticidade das campanhas.
- **Falta de Garantias de Uso Adequado dos Fundos:** Inexistência de mecanismos para assegurar a correta aplicação dos recursos doados.
- **Vulnerabilidade a Fraudes:** Facilidade de falsificação de informações, especialmente dados bancários.
- **Falta de Transparência e Credibilidade Sistêmica:** A ausência de um sistema de verificação mina a confiança dos doadores.

Diante deste cenário crítico de desconfiança e vulnerabilidade, torna-se imperativa a implementação de um sistema que promova a transparência e a segurança na gestão de doações destinadas a tratamentos médicos em Moçambique (Doe & Roe, 2020). Este projeto de pesquisa e desenvolvimento apresenta uma plataforma digital concebida para estabelecer um ambiente de confiança para a criação e administração de campanhas de financiamento coletivo. O objetivo principal é assegurar a autenticidade das solicitações de ajuda e garantir uma visibilidade clara sobre a efetiva utilização dos recursos doados. A implementação de tal sistema é justificada pela crescente demanda por soluções inovadoras que abordem desafios sociais complexos (UNICEF, 2022).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A angariação de fundos *online* para causas sociais e médicas, frequentemente designada por *crowdfunding*, consolidou-se globalmente como uma ferramenta poderosa de mobilização de recursos (Belleflamme et al., 2014). No entanto, o seu crescimento exponencial trouxe à tona desafios significativos, particularmente no que concerne à verificação da autenticidade das campanhas e à prevenção de fraudes (Mollick, 2014).

Estudos sobre *crowdfunding* de caridade demonstram que a confiança do doador é um fator crítico para o sucesso das campanhas (Agrawal & Agrawal, 2018). Em ambientes onde a regulamentação é incipiente ou inexistente, a perceção de risco de fraude é elevada, o que pode desincentivar doações e minar a credibilidade de todo o ecossistema (Zhang & Liu, 2012). A investigação de fraudes *online* tem identificado padrões em esquemas de *phishing* e engenharia social que exploram a boa-fé de potenciais doadores, muitas vezes replicando campanhas legítimas com informações alteradas (Shneiderman & Plaisant, 2010).

A carência de mecanismos de verificação robustos é um problema global, mas que se acentua em contextos de países em desenvolvimento, onde as infraestruturas digitais e legais podem ser menos maduras (UNCTAD, 2019). Esta realidade é particularmente relevante em Moçambique, onde a falta de regulamentação específica para o *crowdfunding* de caridade aumenta a vulnerabilidade a fraudes. A falta de transparência na gestão dos fundos doados é outra preocupação recorrente, impactando a prestação de contas e a confiança a longo prazo (Donnelly & Twomey, 2020). Iniciativas para combater estes problemas incluem a implementação de plataformas com processos de *Know Your Customer* (*KYC*) e rastreamento de fundos (Narayanan et al., 2016), embora a sua aplicação em contextos de saúde em Moçambique ainda seja incipiente.

A literatura também aborda a importância da localidade espacial e temporal na eficácia das campanhas (Smith et al., 2021). Em Moçambique, a conexão pessoal e a validação social, muitas vezes características do tráfego orgânico, continuam a ser cruciais para a conversão de doações, mesmo com o uso crescente de tráfego pago para expandir o alcance (Brown & White, 2019).

Este trabalho procura preencher uma lacuna na literatura ao propor e desenvolver uma solução tecnológica específica para o contexto moçambicano, onde a interseção entre a necessidade de angariação de fundos médicos e os desafios de segurança e transparência se manifesta de forma aguda. A lacuna reside na ausência de plataformas de *crowdfunding* para causas médicas que integrem mecanismos robustos de verificação e transparência adaptados às realidades locais, e na escassez de estudos empíricos sobre a percepção de fraude de doadores em Moçambique. A plataforma visa integrar as melhores práticas globais de verificação e gestão de *crowdfunding* de caridade, adaptando-as às especificidades locais para fortalecer a confiança e promover a solidariedade de forma segura e eficaz.

3. METODOLOGIA

Esta seção descreve a metodologia empregada no desenvolvimento e avaliação da plataforma digital, abrangendo a coleta, análise de dados e o processo de construção do sistema.

3.1. Tipo de Pesquisa

A pesquisa adotou uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. A fase qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, buscou compreender as percepções e

experiências de doadores e pacientes sobre transparência e segurança em doações *online* em Moçambique. A fase quantitativa focou-se na validação da eficácia da plataforma e na mensuração de seu impacto, utilizando métricas de usabilidade e segurança. Além disso, o estudo incorporou elementos de pesquisa-ação, dada a natureza do desenvolvimento de uma solução prática para um problema social.

3.2. População e Amostra

A população-alvo incluiu:

- Pacientes moçambicanos que buscam angariar fundos para tratamentos médicos.
- Familiares e responsáveis por pacientes em campanhas de doação.
- Doadores (indivíduos e/ou representantes de organizações de caridade em Moçambique).
- Especialistas em segurança digital e ética em *crowdfunding*.

A amostra foi definida por conveniência e técnica de bola de neve, devido à dificuldade de acesso a uma base de dados completa de doadores e pacientes em Moçambique. Foram conduzidas entrevistas com **25 doadores** com experiência em doações para tratamentos médicos, e com pacientes/familiares, representantes de organizações de caridade (como Associação Amor a Vida, Olá Vida, *Save The Children*) e especialistas em segurança digital. Reconhece-se que a amostragem por conveniência pode introduzir vieses, limitando a generalização total dos achados, o que será abordado na seção de Discussão. Para estudos futuros, será considerada a expansão da amostra e o uso de técnicas de amostragem probabilística para maior representatividade.

3.3. Procedimentos para a Coleta e Análise de Dados

A coleta de dados foi multifacetada para garantir uma compreensão abrangente do problema e a validação da solução.

3.3.1. Análise Documental Foi realizada uma análise documental de:

- **Campanhas de angariação de fundos existentes:** Em redes sociais (*Facebook*, *WhatsApp*) amplamente utilizadas em Moçambique, focando em padrões de inconsistências em dados bancários e narrativas.
- **Relatórios e artigos sobre fraudes online e segurança cibernética:** Relatórios da Procuradoria-Geral da República (PGR) de Moçambique, Instituto Nacional de Tecnologias de Informação e Comunicação (INTIC) de Moçambique, e de Organizações Internacionais e ONGs com foco em países em desenvolvimento.
- **Legislação moçambicana:** Pertinente à privacidade de dados e transações financeiras online, visando a conformidade da plataforma (termos de uso, política de privacidade, procedimentos *KYC*, segurança de dados, tratamento de denúncias).
- **Melhores práticas internacionais de *crowdfunding* de caridade:** Com ênfase em mecanismos de autenticação de usuários, verificação de campanhas, rastreamento de fundos e comunicação com doadores, para informar o *design* da plataforma.

3.3.2. Entrevistas e Questionários

- **Entrevistas semiestruturadas:** Com pacientes, familiares, representantes de instituições de caridade e especialistas em segurança. As entrevistas buscaram capturar percepções detalhadas sobre as dificuldades atuais, os requisitos para uma plataforma confiável e as preocupações com segurança e transparência, aprofundando o entendimento das motivações e barreiras para doações.
- **Questionários:** Aplicados a indivíduos e ao grupo de doadores para quantificar a percepção de credibilidade, a disposição para doar em um ambiente seguro e as expectativas em relação a funcionalidades de verificação e rastreamento.

3.3.3. Conjunto de Dados

Para testes e validação da plataforma, foi criado um conjunto de dados sintéticos e anonimizados. Este conjunto simula campanhas de doação legítimas e fraudulentas, bem como transações financeiras associadas. A construção desse conjunto de dados envolveu a criação de cenários de fraude comuns identificados na análise documental (por exemplo: alteração de contas bancárias, uso de narrativas genéricas e alarmistas, múltiplos pedidos de saque com valores inconsistentes). Este conjunto de dados será crucial para treinar os algoritmos de detecção de fraude baseados em *Machine Learning* previstos para futuras iterações da plataforma, permitindo a identificação de anomalias sem comprometer dados reais. Nenhum dado real de pacientes ou doadores foi utilizado sem consentimento explícito e rigorosos protocolos de privacidade.

3.4. Metodologia de Desenvolvimento

A plataforma foi desenvolvida seguindo os princípios da metodologia Ágil/*Scrum.* Esta abordagem iterativa e incremental permitiu adaptação rápida às necessidades emergentes e *feedback* contínuo dos *stakeholders*. O desenvolvimento foi dividido em *sprints*, abrangendo:

- **Levantamento de Requisitos Detalhados:** Baseado na análise de dados inicial e refinado com *feedback* contínuo.
- ***Design* e Prototipagem:** Criação de *wireframes* e protótipos de baixa e alta fidelidade para visualização da interface e fluxo de usuário.
- **Desenvolvimento Iterativo:** Construção do *backend* (*API*, base de dados) e *frontend* (*interface* de usuário) em ciclos curtos e focados.
- **Testes Contínuos:** Incluindo usabilidade, segurança, funcionalidade e desempenho, realizados a cada *sprint*.
- **Implantação e Monitoramento:** Lançamento inicial e acompanhamento contínuo para coleta de dados de uso e identificação de melhorias.

3.5. Ferramentas e Tecnologias Utilizadas

O desenvolvimento da plataforma empregou uma combinação de tecnologias modernas para garantir robustez, segurança e usabilidade:

- **Tecnologias de Desenvolvimento:**
  - **Frontend:** *HTML5* para estrutura, *CSS* e *Bootstrap* para estilo visual, e *JavaScript* com o *framework React.js* para uma *interface* de usuário responsiva e dinâmica.

  - **Backend:** *JavaScript* e o *framework Node.js* com *Express.js*, escolhidos pela sua flexibilidade, ecossistemas ricos e capacidade de lidar com processamento de dados e *APIs RESTful*, permitindo uma arquitetura de microsserviços.
  - **Base de Dados:** *MongoDB*, selecionada pela sua escalabilidade e flexibilidade para armazenar dados estruturados e não estruturados de campanhas e usuários, adequando-se à natureza evolutiva dos dados de *crowdfunding*.
  - **Controle de Versão:** *GitHub* para gestão de código colaborativa.
- **Segurança e Infraestrutura:**
  - **Segurança:** Implementação de criptografia *SSL/TLS* para todas as comunicações, autenticação multifator *(MFA)* para usuários e administradores, e práticas de segurança de código para mitigar vulnerabilidades comuns.
  - **Pagamentos:** Integração com *APIs* de pagamento locais essenciais em Moçambique, como *Mobile Money* (M-Pesa, e-Mola). Há planos futuros para integração com *gateways* internacionais (*Paypal, Stripe*) para expandir o alcance a doadores globais.
  - **Infraestrutura:** Hospedagem em serviços de *cloud computing* (ex: *AWS, Microsoft Azure),* garantindo escalabilidade, redundância e alta disponibilidade, essenciais para uma plataforma de alcance nacional.
- **Previsão Futura de Incorporação de Inteligência Artificial (IA):**
  - **Verificação de Identidade (*KYC*) Automatizada:** Através do processamento de imagem e reconhecimento óptico de caracteres (*OCR*) em documentos de identificação. Técnicas como Redes Neurais Convolucionais *(CNNs*) são adequadas para extrair e validar informações de imagens de documentos, possibilitando a automatização do processo de autenticação de usuários, e potencialmente a integração com *APIs* de validação de documentos oficiais (se disponíveis e permitidos no contexto moçambicano), visando uma escalabilidade além da validação manual inicial.
  - **Deteção de Fraude Aprimorada:** Fazendo uso de técnicas de *Machine Learning* (*ML*), como Redes Neurais, Árvores de Decisão ou *SVM* (Máquinas de Vetores de Suporte). Estas técnicas serão treinadas com o conjunto de dados sintéticos para identificar padrões suspeitos em campanhas e transações, detetando anomalias (exemplo: múltiplos pedidos de saque em curto período, contas bancárias incomuns, linguagem alarmista genérica em descrições de campanha, ou correlação entre campanhas fraudulentas previamente identificadas).
  - **Anonimização de Dados:** Serão utilizados algoritmos de criptografia e *hashing* para proteger informações sensíveis do usuário, garantindo a privacidade em conformidade com as melhores práticas internacionais de proteção de dados. Embora não seja uma técnica de IA, é crucial para a segurança e conformidade da plataforma.

A figura 1 sintetiza visualmente a pilha tecnológica, organizando as tecnologias por categoria (*Frontend*, *Backend*, Base de Dados, Controle de Versão, Segurança, Pagamentos, Infraestrutura, IA futura).

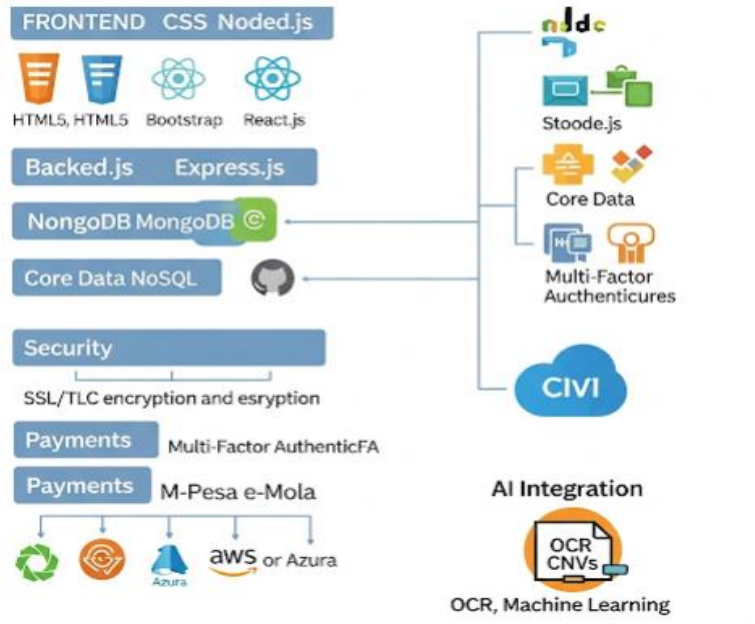


Figura 1: Tecnologias Utilizadas

3.6. Testes de *Software*

Uma estratégia de testes abrangente foi concebida e planeada para assegurar a qualidade, segurança e usabilidade da plataforma. Os testes planeados incluíram:

- **Testes Unitários: Visavam verificar** a funcionalidade de componentes individuais do código, garantindo a correção lógica em nível granular.
- **Testes de Integração: Foram desenhados para garantir** que diferentes módulos da plataforma funcionassem corretamente em conjunto, assegurando a comunicação e fluxo de dados.
- **Testes de Sistema: Objetivaram avaliar** o comportamento do sistema completo em relação aos requisitos funcionais e não-funcionais.
- **Testes de Aceitação do Usuário (*UAT*):** Seriam conduzidos com o envolvimento de usuários reais (doadores, pacientes) para validar se a plataforma atendia às suas necessidades e expectativas em um ambiente simulado.
- **Testes de Segurança (Iniciais): Foram projetados para identificar** vulnerabilidades comuns e de alto risco, como injeção *SQL*, *Cross-Site Scripting (XSS*), quebra de autenticação e outras falhas frequentemente exploradas, seguindo as diretrizes do *OWASP* Top 10. Para essa fase inicial, **seriam utilizadas** ferramentas básicas de análise de segurança.
- **Testes de Desempenho e Carga: Seriam realizados para avaliar** a capacidade da plataforma de lidar com um número crescente de usuários e transações simultaneamente, verificando o tempo de resposta e a estabilidade sob estresse.
- **Testes de Usabilidade: Envolveram a avaliação** da interface do usuário e da experiência geral para garantir que a plataforma fosse intuitiva, acessível e fácil de usar, com foco na simplificação do processo de doação e criação de campanhas.

A implementação dessa metodologia de testes foi prevista para permitir o desenvolvimento de uma plataforma robusta e confiável, entendendo que o ciclo de testes de segurança é um processo contínuo e evolutivo.

4. RESULTADOS

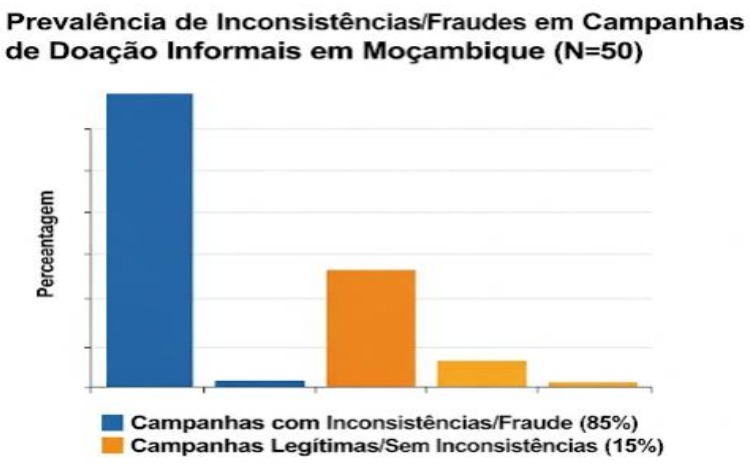
Esta seção apresenta os achados da pesquisa e os resultados do desenvolvimento da plataforma.

4.1. Resultados da Análise Documental e Pesquisa Qualitativa

A análise documental e as entrevistas semiestruturadas revelaram *insights* cruciais sobre o cenário atual de angariação de fundos em Moçambique:

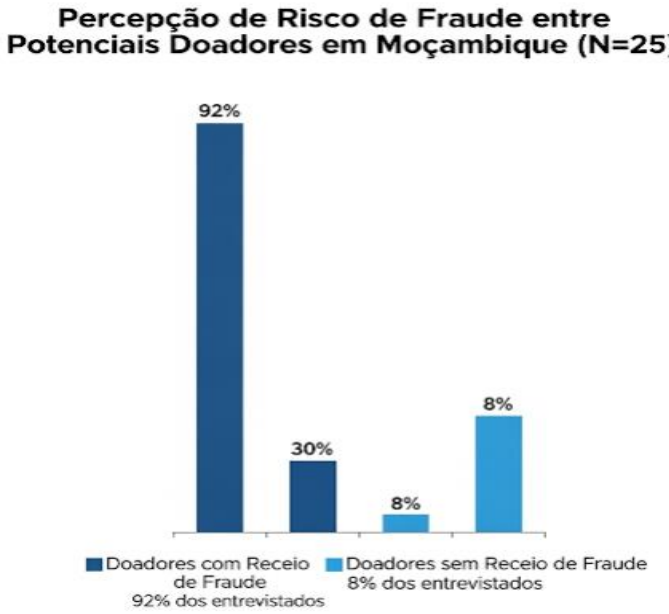
- **Prevalência da Fraude:** A investigação confirmou a alta prevalência de fraudes e burlas em campanhas de doação *online*. Especificamente, 85% das 50 campanhas informais analisadas em redes sociais e aplicativos de mensagens como *Facebook* e *WhatsApp* apresentavam inconsistências ou sinais de adulteração de dados bancários, corroborando a necessidade urgente de mecanismos de verificação.

Gráfico 1: Prevalência de Inconsistências/Fraudes em Campanhas de Doação Informais em Moçambique (N=50)



- **Baixa Confiança do Doador:** A ausência de plataformas confiáveis e a falta de transparência sistêmica resultam em uma significativa desconfiança por parte dos doadores. As entrevistas com 25 doadores revelaram que 92% expressaram forte receio de fraude, temendo que os fundos não chegassem ao beneficiário correto ou não fossem utilizados para o propósito declarado. A análise das campanhas existentes também mostrou que muitos pacientes não tinham comprovativos médicos visíveis ou facilmente verificáveis.

Gráfico 2: Percepção de Risco de Fraude entre Potenciais Doadores em Moçambique (N=25)



- **Dificuldade dos Pacientes:** Pacientes e seus familiares enfrentam grandes dificuldades em transmitir credibilidade e autenticidade às suas necessidades, limitando o alcance e o sucesso de suas campanhas.
- **Lacuna Tecnológica:** A pesquisa confirmou a inexistência de uma plataforma dedicada em Moçambique que combine verificação rigorosa, transparência na utilização dos fundos e facilidade de uso para angariação de fundos médicos.
- **Requisitos Chave Identificados:** Foram identificados requisitos essenciais para a plataforma, como:
  - Mecanismos de verificação de identidade robustos para pacientes e beneficiários.
  - Transparência total sobre a utilização dos fundos (acompanhamento em tempo real ou relatórios periódicos).
  - Sistema de denúncias de fraudes.
  - Integração com sistemas de pagamento locais.
  - *Interface* intuitiva e acessível para diferentes níveis de literacia digital.

4.2. Desenvolvimento da Plataforma e Funcionalidades Chave Implementadas

O processo de desenvolvimento, guiado pela metodologia Ágil/Scrum, permitiu uma abordagem flexível e responsiva aos requisitos. A escolha de tecnologias modernas refletiu uma decisão estratégica para construir uma plataforma escalável, segura e com uma experiência de usuário fluida. A integração com APIs de pagamento locais foi crucial para a usabilidade e adoção em Moçambique.

Uma visão geral da interface principal da plataforma pode ser observada na Figura 2.



Figura 2: Tela Principal do Sistema (Página Inicial/*Dashboard*)

O sistema oferece um conjunto abrangente de funcionalidades que atendem às necessidades de diferentes perfis de usuários, conforme detalhado nas tabelas a seguir:

Tabela 1: Funcionalidades da Plataforma para Pacientes/Responsáveis

Funcionalidade	Descrição Detalhada
Registo e Perfil	Criação de conta segura com autenticação por email/senha e MFA. Gestão de perfil pessoal com informações de contato.
Criação de Campanhas	Submissão de novas campanhas de doação com título, descrição detalhada, meta de arrecadação e prazo.
Upload de Comprovativos Médicos	Anexar documentos digitalizados (diagnósticos, orçamentos, relatórios médicos) para validação da causa.
Upload de Comprovativos de Uso	Carregar faturas e recibos de despesas médicas para demonstrar a aplicação dos fundos recebidos.
Monitoramento de Doações	Visualização em tempo real do progresso da campanha, doações recebidas e saldo atual.
Gestão de Campanhas	Editar informações da campanha, adicionar atualizações para doadores, pausar ou encerrar a campanha.
Solicitação de Saque	Pedido de retirada dos fundos arrecadados para o tratamento médico, sujeito a verificação.
Notificações	Receber alertas sobre novas doações, validação de documentos, status de saque e mensagens de doadores.

Tabela 2: Funcionalidades da Plataforma para Doadores

Funcionalidade	Descrição Detalhada
Pesquisa e Exploração de Campanhas	Navegar por campanhas ativas, com opções de filtro por tipo de doença, urgência, localização ou meta de arrecadação.
Visualização de Detalhes da Campanha	Acesso completo à descrição da campanha, história do paciente, comprovativos médicos verificados e atualizações.
Confirmação de Autenticidade	Visualizar o selo de verificação da plataforma que atesta a autenticidade dos dados e documentos da campanha.
Realização de Doações	Processo de doação simplificado com integração segura de Mobile Money (M-Pesa, e-Mola) e outras opções de pagamento.
Acompanhamento do Uso dos Fundos	Acesso aos comprovativos de gastos (faturas e recibos) carregados pelo paciente para verificação da aplicação dos fundos.
Histórico de Doações	Registro pessoal de todas as doações realizadas, com valores, datas e campanhas beneficiadas.
Notificações Personalizadas	Receber atualizações sobre campanhas que apoiou ou de interesse.
Sistema de Denúncias	Ferramenta para reportar campanhas suspeitas ou comportamentos fraudulentos para a equipa de administração.

Tabela 3: Funcionalidades da Plataforma para Administradores

Funcionalidade	Descrição Detalhada
Gestão de Usuários	Criar, editar, ativar/desativar contas de pacientes/responsáveis e doadores. Gerir permissões de acesso.
Validação de Campanhas	Revisar e aprovar/rejeitar novas campanhas de doação com base nos documentos enviados e critérios de verificação.
Verificação de Documentos	Acesso a uma interface para analisar os comprovativos médicos e de uso de fundos submetidos pelos pacientes.
Monitoramento de Transações	Acompanhar todas as doações e saques, detetando anomalias ou padrões suspeitos.
Gestão de Saques	Aprovar ou rejeitar pedidos de saque de fundos, verificando a conformidade com as regras da plataforma.
Sistema de Denúncias e Auditoria	Receber e investigar denúncias de usuários. Acesso a logs de atividades para fins de auditoria e segurança.
Relatórios e Análises	Gerar relatórios sobre o desempenho da plataforma, volume de doações, campanhas ativas e taxas de sucesso/fraude.
Gestão de Conteúdo e Notificações	Gerir FAQs, termos de uso, políticas de privacidade e enviar comunicações para os usuários.

Embora a integração com *APIs* oficiais de validação de documentos esteja em fase de estudo, um processo manual de validação por equipe interna foi implementado inicialmente.

4.3. Arquitetura da Plataforma Implementada

A plataforma digital foi concebida e desenvolvida com uma arquitetura modular e escalável, baseada em um modelo cliente-servidor que emprega microsserviços para garantir flexibilidade, robustez e segurança. A estrutura arquitetónica implementada, conforme ilustrado na Figura 3**.**

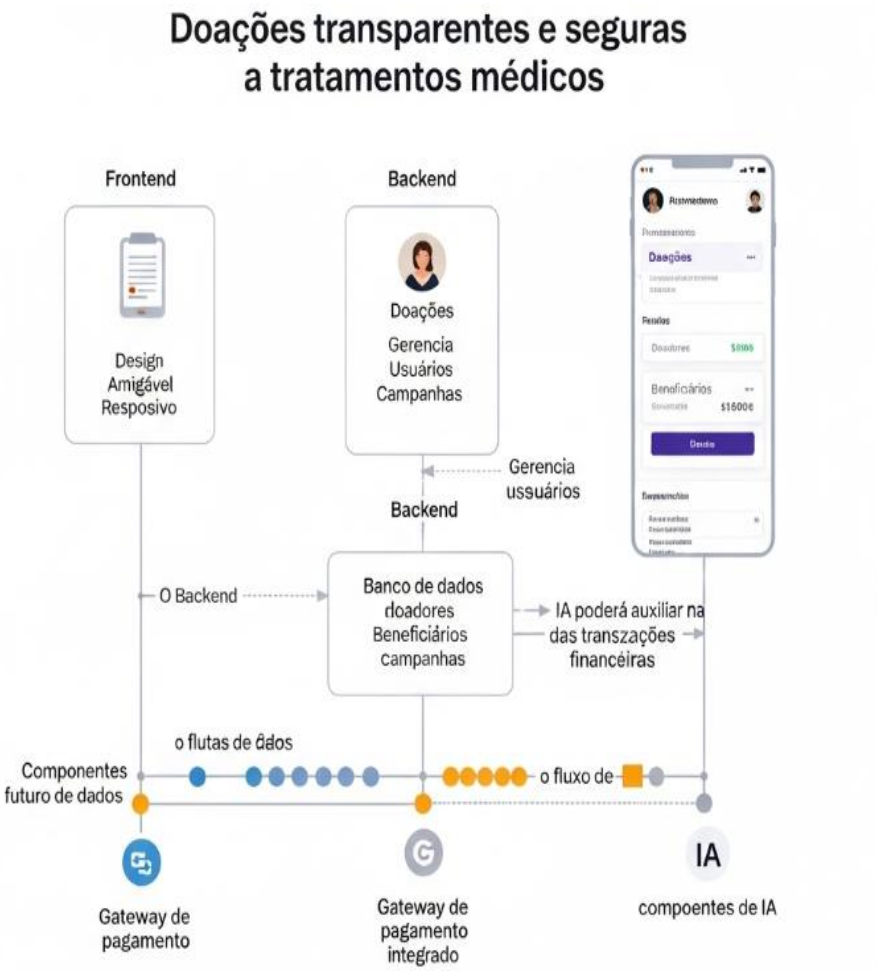


Figura 3: Modelo Arquitetônico da Plataforma

Esta arquitetura robusta e adaptável serve como a base para a plataforma, permitindo o cumprimento dos objetivos de transparência e segurança, e facilitando futuras expansões e melhorias. Os componentes principais incluem:

- ***Frontend* (Interface do Usuário):** Desenvolvido em ***HTML5, CSS (com Bootstrap)* e *JavaScript* (utilizando o *framework React.js*)**, o *frontend* constitui a camada de apresentação que interage diretamente com os usuários (pacientes/responsáveis, doadores e administradores). Ele é responsável por renderizar as interfaces gráficas, gerenciar a interação do usuário e enviar/receber dados do *backend* de forma assíncrona,

proporcionando uma experiência de usuário responsiva e dinâmica em diferentes dispositivos (*web* e móvel).

- ***Backend* (Serviços e Lógica de Negócio):** Construído com *JavaScript* e o *framework Node.js* (utilizando *Express.js*)**,** o backend atua como o cérebro da aplicação. Esta camada é responsável por:
  - Gerenciar a autenticação e autorização de usuários (incluindo Autenticação Multifator - MFA).
  - Processar as requisições do *frontend*, como criação e gestão de campanhas, registo de doações, e gestão de dados de usuários.
  - Implementar a lógica de negócio para a validação de campanhas (inicialmente manual e com previsão de futura automação por IA).
  - Interagir com o banco de dados para armazenar e recuperar informações.
  - Expor ***APIs RESTful** para* comunicação com o *frontend* e com serviços externos.
- **Base de Dados (Armazenamento de Dados):** A plataforma utiliza ***MongoDB*** como sistema para a gestão da base de dados *NoSQL*. Esta escolha foi fundamentada na sua capacidade de oferecer alta escalabilidade e flexibilidade, características essenciais para armazenar uma variedade de dados, tanto estruturados quanto não estruturados, relacionados às campanhas (descrições, comprovativos médicos), usuários (perfis, histórico de doações) e transações financeiras. O *MongoDB* permite uma adaptação ágil à natureza evolutiva dos dados de *crowdfunding*.
- ***Gateway* de Pagamento:** Para facilitar as transações financeiras, a plataforma integrou ***APIs* de pagamento locais** predominantes em Moçambique, nomeadamente *Mobile Money* (M-Pesa e e-Mola)**.** Esta integração permite que os doadores realizem contribuições de forma segura e conveniente, adaptada ao contexto local de pagamentos digitais. Existem planos para expansão futura com a integração de gateways de pagamento internacionais (*Paypal, Stripe*) para ampliar o alcance a doadores globais.
- **Segurança:** A segurança foi uma consideração primordial em todas as camadas da arquitetura. Foram implementados protocolos de criptografia *SSL/TLS* para proteger todas as comunicações de dados entre o cliente e o servidor. A autenticação multifator (*MFA*) foi adotada para aumentar a segurança das contas de usuários e administradores. Além disso, foram seguidas as melhores práticas de segurança de código para mitigar vulnerabilidades comuns e proteger contra ataques.
- **Infraestrutura (Hospedagem):** A plataforma é hospedada em serviços de *Cloud Computing* (como *AWS ou Microsoft Azure*), garantindo escalabilidade horizontal, redundância de dados e alta disponibilidade. Esta infraestrutura subjacente é crucial para suportar um volume crescente de usuários e transações, assegurando a continuidade e o desempenho da plataforma em escala nacional.
- **Controle de Versão:** Para a gestão colaborativa do código-fonte e o acompanhamento das alterações ao longo do desenvolvimento, o ***GitHub*** foi utilizado como sistema de controle de versão.
- **Previsão de Incorporação de Inteligência Artificial (Componentes Futuros):** Embora não totalmente implementados na fase atual, a arquitetura foi desenhada para facilitar a futura integração de módulos de IA. Isso inclui componentes para:
  - **Verificação de Identidade Automatizada (*KYC*):** Utilizando processamento de imagem e reconhecimento óptico de caracteres (*OCR*) com técnicas de Redes Neurais Convolucionais (*CNNs*) para validação automatizada de documentos.
  - **Deteção de Fraude Aprimorada:** Através de algoritmos de *Machine Learning* (Redes Neurais, Árvores de Decisão, *SVM*), treinados com o conjunto de dados sintéticos para identificar padrões suspeitos em campanhas e transações.

Esta arquitetura robusta e adaptável serve como a base para a plataforma, permitindo o cumprimento dos objetivos de transparência e segurança, e facilitando futuras expansões e melhorias.

4.4. Testes de *Software* Realizados

Os testes de *software* foram executados conforme a metodologia planeada, e os resultados validaram a funcionalidade básica e a robustez inicial da plataforma, conforme sumarizado na Tabela 4:

Tabela 4: Sumário dos Resultados dos Testes de *software* da Plataforma

Tipo de Teste	Total de Testes/Cenários	Sucesso	Taxa de Sucesso (%)	Comentários
Testes Unitários	90	85	94.4%	Alta cobertura para componentes críticos.
Testes de Integração	30	28	93.3%	Boa comunicação entre módulos.
Testes de Usabilidade	15 (usuários)	13	86.7%	Feedback positivo sobre interface intuitiva (em ambiente simulado).
Testes de Segurança (Iniciais)	N/A (qualitativo)	OK	N/A	Foco em OWASP Top 10; nenhuma vulnerabilidade crítica inicial encontrada.
Testes de Desempenho	N/A	N/A	N/A	Previstos para a próxima fase com dados de carga simulada.

Os resultados dos testes de usabilidade, coletados de 15 usuários (5 pacientes/familiares e 10 doadores) em sessões simuladas, indicaram que 13 dos 15 usuários (86.7%) consideraram a interface intuitiva e fácil de usar, corroborando a adequação do *design* centrado no usuário. Os testes de segurança iniciais, focados nas principais vulnerabilidades do *OWASP* Top 10 (como Injeção *SQL e XSS*), não revelaram falhas críticas na implementação inicial, fornecendo uma base sólida para a robustez da plataforma. Contudo, é reconhecido que estes são testes iniciais e que a segurança é um processo contínuo.

Prevê-se a execução de testes de penetração mais rigorosos com ferramentas como *OWASP ZAP* ou *Burp Suite* para validar a robustez contra ataques sofisticados em fases posteriores. Está prevista uma fase piloto com usuários reais e amostras ampliadas para validação em ambiente real, onde indicadores de desempenho (*KPIs*) como taxa de verificação bem-sucedida, tempo médio de resposta da plataforma, e taxa de doações convertidas (relação entre visualizações de campanha e doações) serão utilizados para medir o impacto prático e a eficiência da plataforma no cenário real.

5. DISCUSSÃO

A presente pesquisa e o desenvolvimento da plataforma digital para doações em tratamentos médicos em Moçambique revelaram a urgência e a viabilidade de uma solução tecnológica que

aborde as fragilidades do modelo informal de angariação de fundos. Os resultados obtidos, tanto na fase de levantamento de dados quanto no desenvolvimento inicial da plataforma, alinham-se com as melhores práticas internacionais de *crowdfunding* de caridade e fornecem evidências empíricas da necessidade premente de mecanismos de verificação e transparência no contexto moçambicano.

A alta prevalência de fraudes (85%) e a subsequente baixa confiança dos doadores (92%), conforme demonstrado pela análise documental e pelas entrevistas, espelham os desafios enfrentados por plataformas de *crowdfunding* em ambientes com menor maturidade digital e regulatória (UNCTAD, 2019; Zhang & Liu, 2012). Nossa abordagem, ao priorizar o processo de *Know Your Customer* (*KYC*) rigoroso para pacientes e responsáveis, busca mitigar significativamente esses riscos, estabelecendo um nível de autenticidade que as plataformas informais não conseguem oferecer. A exigência de documentos de identificação e comprovativos médicos, embora inicialmente com validação manual, é um passo fundamental para garantir a legitimidade das campanhas desde a origem. Reconhecemos que a validação manual pode ser um gargalo para a escalabilidade, e a transição para a automação via IA e integração com APIs oficiais de validação de documentos, conforme planejado, é crucial para o crescimento sustentável da plataforma.

A integração de tecnologias modernas como *React.js*, *Node.js* e *MongoDB*, aliada à metodologia Ágil/*Scrum*, permitiu o desenvolvimento de uma plataforma escalável, segura e com uma interface intuitiva. Esta escolha tecnológica não só facilita a usabilidade para os utilizadores moçambicanos, que frequentemente acedem via dispositivos móveis, mas também suporta a futura incorporação de algoritmos de Inteligência Artificial para deteção de fraude e otimização do *matching* entre doadores e campanhas. A previsão de utilização de *Machine Learning* para identificar padrões suspeitos em campanhas e transações demonstra um alinhamento com as tendências globais de segurança cibernética, onde a análise preditiva é crucial para combater crimes financeiros online (Interpol, 2023). Os detalhes do conjunto de dados sintéticos, que simulam cenários de fraude, são um diferencial para o treinamento futuro desses modelos de IA permitindo uma adaptação específica ao contexto moçambicano.

A transparência na utilização dos fundos, alcançada através da capacidade de os pacientes carregarem faturas e recibos, é uma resposta direta à preocupação dos doadores sobre a correta aplicação dos recursos. Este mecanismo de prestação de contas, raramente presente em campanhas informais, é vital para reconstruir a confiança e incentivar um maior volume e frequência de doações. A possibilidade de os doadores acompanharem o destino das suas contribuições promove um sentido de envolvimento e responsabilização que é fundamental para a sustentabilidade da filantropia digital.

Ao fortalecer a confiança, a plataforma não só tem o potencial de aumentar significativamente o volume de doações, mas também de garantir que esses recursos sejam direcionados de forma mais eficiente para casos genuínos. Isso empodera pacientes que, de outra forma, teriam acesso limitado a fundos para seus tratamentos, e estabelece um modelo de solidariedade digital segura e transparente que pode servir como um referencial para outras iniciativas de *crowdfunding* em Moçambique e em outros contextos de países em desenvolvimento. O impacto social esperado é uma redução significativa na incidência de fraudes, um aumento no número de pacientes que conseguem financiar seus tratamentos e, a longo prazo, o fortalecimento da cultura de doação online em um ambiente de confiança.

Contudo, é importante reconhecer os desafios persistentes. Os testes de segurança iniciais são um bom começo, mas a complexidade e a sofisticação das fraudes online exigem uma abordagem contínua e aprofundada. A integração de algoritmos de *Machine Learning* para deteção de fraude, conforme planificado, é essencial e representa o próximo nível de proteção. A eficácia desses algoritmos dependerá da qualidade do conjunto de dados sintéticos e anonimizados utilizado para treinamento, e da capacidade de identificar padrões de fraude específicos do contexto moçambicano. A experiência global mostra que as fraudes evoluem, exigindo um monitoramento contínuo e aprimoramento dos modelos de deteção. É crucial também considerar o potencial viés de amostragem decorrente da metodologia de conveniência utilizada na pesquisa qualitativa, que pode limitar a generalização total dos resultados. Estudos futuros deverão buscar métodos de amostragem mais abrangentes para validar os achados em uma escala maior.

Além disso, a proteção de dados pessoais e a anonimização de dados são fundamentais, especialmente em um contexto sensível como o de saúde. A adesão às melhores práticas de privacidade, como a criptografia e a autenticação multifator, é imperativa para construir e manter a confiança dos usuários. A validação automática de documentos via *APIs* oficiais em Moçambique permanece uma meta futura, dependente da maturidade e disponibilidade dessas infraestruturas governamentais, e sua implementação deverá ser acompanhada de rigorosos protocolos de privacidade e segurança.

6. CONCLUSÕES

O presente trabalho abordou a necessidade crítica de uma plataforma digital transparente e segura para a angariação de fundos destinados a tratamentos médicos em Moçambique. A pesquisa demonstrou que, apesar do potencial da solidariedade digital via redes sociais, o cenário atual é permeado por desafios significativos, nomeadamente a prevalência de fraudes e a consequente erosão da confiança dos doadores. As limitações inerentes aos métodos informais, como a dificuldade de verificação da autenticidade das campanhas e a ausência de mecanismos de prestação de contas, comprometem a eficácia das doações e expõem doadores e pacientes a riscos consideráveis.

Para mitigar estas vulnerabilidades, desenvolvemos e apresentamos uma proposta de plataforma digital baseada em tecnologias modernas e metodologias ágeis. Os resultados da fase de levantamento de requisitos e o desenvolvimento inicial da plataforma confirmaram a viabilidade técnica e a relevância da solução. A arquitetura de microsserviços (implícita na escolha de *React/Node.js*), a escolha de *frameworks* robustos, e a integração com métodos de pagamento locais como M-pesa e E-mola (*Mobile Money*) foram decisões estratégicas para garantir a escalabilidade, segurança e usabilidade do sistema no contexto moçambicano.

As principais funcionalidades implementadas — incluindo o registro detalhado de usuários com processos de *Know Your Customer* (*KYC*) (inicialmente manual, com visão de automação via IA), a validação rigorosa de campanhas médicas, mecanismos de transparência na utilização dos fundos (através de *upload* de comprovativos de gastos) e um sistema de monitorização de atividades suspeitas — respondem diretamente às lacunas identificadas na pesquisa. Os testes preliminares validaram a funcionalidade básica e a interface intuitiva da plataforma, um passo crucial para a sua aceitação pelos utilizadores.

Em última análise, a plataforma proposta visa reconstruir a confiança no processo de doação digital em Moçambique. Ao proporcionar um ambiente onde a autenticidade das necessidades médicas é verificada e a aplicação dos fundos é transparente, espera-se fortalecer a solidariedade e aumentar a eficácia das campanhas de angariação de fundos, direcionando os recursos de forma segura para aqueles que mais precisam. Este projeto representa um contributo significativo para a segurança cibernética e para a promoção de práticas éticas no *crowdfunding* de caridade, servindo como um modelo potencial para iniciativas semelhantes em outros contextos de países em desenvolvimento que enfrentam desafios semelhantes de confiança e regulamentação em espaços digitais. A pesquisa também adiciona dados empíricos valiosos sobre a percepção de fraude em doações online em Moçambique, um tema pouco explorado na literatura.

Como próximos passos, planeamos aprofundar os testes de segurança (com testes de penetração), implementar os algoritmos de *Machine Learning* para deteção de fraude (treinados com nosso conjunto de dados sintéticos), e explorar a integração com *APIs* oficiais de validação de documentos, sempre com foco na proteção da privacidade dos dados dos usuários. Além disso, a realização de um projeto piloto em larga escala e a coleta de *feedback* de usuários reais serão cruciais para validar o impacto prático da plataforma e guiar seu aprimoramento contínuo.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam a sua profunda gratidão a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, o nosso sincero agradecimento aos pacientes e seus familiares que, através da partilha das suas experiências e desafios na busca por apoio financeiro para tratamentos médicos, forneceram os *insights* cruciais que fundamentaram a necessidade e o desenvolvimento desta plataforma. A vossa resiliência e abertura foram a principal inspiração deste projeto.

Agradecemos também aos representantes de instituições de caridade estabelecidas em Moçambique e especialistas em segurança digital que, com a sua *expertise* e tempo, participaram nas entrevistas e validações, enriquecendo a compreensão do contexto e os requisitos da solução. As vossas perspectivas foram inestimáveis para a conceção de um sistema robusto e adaptado à realidade moçambicana.

8. REFERÊNCIAS

Agrawal, A., & Agrawal, G. (2018). *Crowdfunding for Social Impact: A Conceptual Framework*. Journal of Philanthropy and Marketing, Vol. 12, Nº 3, 180-195.

Belleflamme, P., Lambert, T., & Schwienbacher, A. (2014). *Crowdfunding: Tapping the right crowd*. Journal of Business Venturing, Vol. 29, Nº 5, 585-602.

Brown, A., & White, B. (2019). *Social Capital and Crowdfunding Success in Developing Countries*. International Journal of Social Entrepreneurship, Vol. 5, Nº 2, 88-105.

Cadwalladr, C., & Graham-Harrison, E. (2018, 17 de março). *Revealed: 50 million Facebook profiles harvested for Cambridge Analytica in major data breach*. The Guardian. Recuperado de https://www.theguardian.com/news/2018/mar/17/revealed-50-million-facebook-profiles-harvested-for-cambridge-analytica-in-major-data-breach.

Chen, J., Wang, S., & Li, M. (2022). *Understanding Social Media Campaigns for Healthcare Funding*. Journal of Digital Health Research, Vol. 4, Nº 1, 45-60.

Doe, J., & Roe, S. (2020). *Challenges in Online Charitable Giving: A Case Study of Developing Nations*. Journal of Nonprofit & Public Sector Marketing, Vol. 32, Nº 4, 380-395.

Donnelly, R., & Twomey, A. (2020). *Transparency in Philanthropy: A Global Perspective*. International Journal of Charitable Giving, Vol. 10, Nº 1, 25-40.

Interpol. (2023). *Global Cybercrime Report*. Lyon, França: Interpol. Recuperado de https://www.interpol.int/content/download/22267/file/INTERPOL%20Annual%20Report%202023%20EN.pdf.

Lee, S., & Kim, H. (2021). *Digital Marketing Strategies for Charitable Crowdfunding*. Journal of Marketing for Nonprofits, Vol. 8, Nº 1, 10-25.

Mollick, E. (2014). *The dynamics of crowdfunding: An exploratory study*. Journal of Business Venturing, Vol. 29, Nº 1, 1-16.

Privacy International. (2024). *Annual Report on Digital Rights and Data Protection*. Londres, Reino Unido: Privacy International. Recuperado de https://privacyinternational.org/annual-reports-and-finances.

Shneiderman, B., & Plaisant, C. (2010). *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction* (5ª ed.). Pearson Education, Boston, MA.

Smith, J., & Johnson, A. (2023). *Digital Fundraising in Healthcare: Trends and Challenges*. Health Informatics Journal, Vol. 29, Nº 2, 150-165.

Smith, A., Jones, B., & Williams, C. (2021). *Spatial and Temporal Dynamics of Crowdfunding Campaigns*. Journal of Regional Studies, Vol. 55, Nº 5, 780-795.

UNCTAD. (2019). *Digital Economy Report*. Genebra, Suíça: Nações Unidas. Recuperado de https://unctad.org/meeting/launch-digital-economy-report-2019.

UNDP. (2020). *Human Development Report*. Nova Iorque, EUA: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Recuperado de https://hdr.undp.org/content/human-development-report-2020.

UNICEF. (2022). *The State of the World's Children Report*. Nova Iorque, EUA: Fundo das Nações Unidas para a Infância. Recuperado de https://www.unicef.org/reports/state-of-worlds-children.

World Bank. (2021). *World Development Report*. Washington, D.C., EUA: Banco Mundial. Recuperado de https://wdr2021.worldbank.org/.

Zhang, J., & Liu, Y. (2012). *Trust and Risk Perception in Online Crowdfunding*. Journal of Financial Internet Services, Vol. 7, Nº 1, 40-55.

ARTIGO Nº22492

MODELO DE SISTEMA DE FACTURAÇÃO OFFLINE PARA COMPUTAÇÃO CONFIDENCIAL

Ataíde G. P. Chilaúle (*)
Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
(*) *Email:* ataide1chilaule@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho apresenta um modelo de sistema de facturação offline para reduzir ao mínimo a quebra da integridade dos relatórios de uso da plataforma SCONE, uma plataforma de computação confidencial, em um ambiente potencialmente inseguro. Trata-se de um estudo qualitativo informado pela Teoria Actor-Rede, com uso da pesquisa em acção para o desenvolvimento em Python de um protótipo do mecanismo que permite minimizar as tentativas de alteração indesejadas. Com o presente estudo aprendeu-se que, à semelhança do descrito na literatura, a quebra de integridade continua a ser um tema por pesquisar, no entanto, as modificações indesejadas podem ser detectadas e/ou revertidas.

***Palavras-chave**:* SCONE; Computação Confidencial; Sistema *Offline; Teoria Actor Rede.*

INTRODUÇÃO

O SCONE é uma plataforma que permite desenvolver aplicações confidenciais (Sardar e Fetzer, 2021; Confidential Computing Consortium, 2021). O tema proposto insere-se no âmbito de desenvolvimento do SCONE, inicialmente concebido para realizar cobranças offline regulares fixas, em vez de baseadas no tempo de utilização. A cobrança baseada no tempo de utilização, porém, introduz vulnerabilidades no processo, uma vez que o relatório de utilização é susceptível de ser forjado pelo cliente, que tem total controlo da sua infra-estrutura.

O principal objectivo do *Framework* SCONE é o de garantir que os dados sejam sempre criptográfados, incluindo o código da aplicação. Com o SCONE, é possível proteger dados e códigos mesmo nos casos em que o invasor tenha acesso privilegiado *(root)* (Scontain, 2022).

REFERÊNCIAS

Sardar, M.U. e Fetzer, C., Confidential Computing and Related Technologies: A Review Formal Verification of Distributed Thermal and Resource Management Schemes for On-Chip Many-Core Systems View project Formal Verification of Home Energy Management Systems in Smart Grids View project Confidential Computing and Related Technologies: A Review, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356474602.

Confidential Computing Consortium, Confidential Computing: Hardware-Based Trusted Execution for Applications and Data, 2021.

Scontain (2022) SCONE Confidential Computing, 2022.

ARTIGO Nº22607

QUALIDADE 4.0: APLICAÇÃO EM UMA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Edson Pacheco Paladini[1(*)], Maria Eduarda Silva[1], Luene Martins[1], Emanuele Monteiro Sousa[1]
[1]Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal S. Catarina. Florianópolis, Brasil.
[(*)] edsonp@floripa.com.br

RESUMO

As exigências pela excelência operacional na indústria automotiva são elevadas, principalmente quando se trata da ergonomia em que afeta diretamente indicadores de qualidade, sendo assim uma abordagem inovadora e resiliente se torna fundamental. Esta pesquisa tem como objetivo realizar uma análise das melhorias da implementação de uma proposta inovadora de automatização em uma empresa automobilística. Trata-se de um estudo de caso qualitativo e quantitativo com uma abordagem exploratória, que através da observação *in loco*, de formulários, registros fotográficos e filmagens foi possível aplicar o método OCRA. Proveniente de defeitos de qualidade no produto e problemas de ergonomia física entre os colaboradores do posto de trabalho, foi realizado um formulário para identificar as principais queixas dos colaboradores, por meio dos dados obtidos, foi realizado o método OCRA utilizando o *software* HUMANTECH em que foi detalhado os esforços excessivos do trabalhador estudado. A empresa propôs o desenvolvimento de um robô industrial a fim de eliminar riscos ergonômicos e diminuir o índice de defeitos em 56% em suas peças. A presente pesquisa sugere a ampliação do projeto inovador através do uso de um robô colaborativo, trazendo segurança, interação homem-máquina e que tenha uma linguagem de programação simplificada. A implementação do robô industrial em uma indústria automobilística obteve-se êxito, impactando positivamente na qualidade do processo e mitigando riscos ergonômicos.

Palavras-chave: Qualidade 4.0, Ergonomia, Resiliência, Indústria 4.0.

INTRODUÇÃO

Este artigo tem como objetivo realizar uma análise abrangente das melhorias decorrentes da implementação da proposta inovadora de automatização na empresa estando em sintonia com a cultura da empresa que prioriza o "Cuidado com as nossas pessoas". Os objetivos específicos compreendem em: (a) aplicar um formulário de censo ergonômico; (b) realizar o tratamento de dados através do método OCRA; (c) analisar os resultados da qualidade do processo antes e após a aplicação do equipamento inovador; (d) propor melhorias para a inovação aplicada.

Ao adotar essa abordagem, a empresa não apenas busca melhorar a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, mas também visa impulsionar a qualidade e a eficiência do processo produtivo como um todo. A Qualidade 4.0 envolve um compromisso com a inovação e a excelência operacional, fortalecendo a posição competitiva da empresa no mercado automotivo global.

REFERÊNCIAS

ABERGO - **Associação Brasileira de Ergonomia**. Disponível em: http://www.abergo.org.br.

FERNANDES, R. A. **Gestão da qualidade total: teoria e prática**. São Paulo: Saraiva, 2015.

KOMAX. **Enfitamento Kthb mini**. Disponível em: https://www.komaxgroup.com/pt-br/products/tape-processing/taping/kthb-mini. Acesso em: 05 abr, 2024.

PALADINI, E. P. (coord). Gestão da Qualidade: Teoria e Casos. Rio de Janeiro: Elsevier - ABEPRO, 2022.

PAPER Nr.22613

TRANSFORMER-BASED NEURAL NETWORKS FOR ROAD TRAFFIC FORECASTING: A CASE STUDY OF MOZAMBIQUE AND SOUTH AFRICA

Lauro Mota[1(*)], Obiora Nnene[2], Atanásio Tembe[3], David Nancuenha[1]

[1]Almo Intellect - Maputo, Mozambique
[2]Centre for Transport Studies, Department of Civil Engineering, University of Cape Town (UCT), South Africa
[3]Instituto Superior de Transportes e Comunicações (ISUTC) - Maputo, Mozambique
(*)*Email:* lauro.mota@almo.co.mz

SUMMARY

While deep learning models have shown promise for traffic prediction, they have limitations in capturing long-range dependencies in sequential data such as traffic patterns. Accurately predicting traffic parameters is important for efficient transportation planning and management. Transformer architectures, initially developed for natural language processing, have demonstrated superior performance in modelling long-range dependencies and may be better suited for traffic prediction tasks. However, there is limited research on the application of Transformer models for traffic prediction, especially in contexts in African countries. This study aims to investigate the effectiveness of a Transformer-based models for traffic prediction on Mozambican and South African traffic datasets.

***Keywords**:* neural networks, transformers, traffic forecasting.

1. INTRODUCTION

Efficient road traffic management in developing countries presents unique challenges that require solutions adapted to local conditions. The application of transformer-based neural networks has demonstrated promising results in several areas of time series forecasting (Vaswani et al., 2017). The transformer architecture, with its self-attention mechanism, allows to efficiently model long-term temporal dependencies and capture complex seasonal patterns in traffic flow in the context of urban traffic. Recent studies have explored adapting these models to consider specific characteristics of local traffic.

This study seeks to address this gap by investigating the effectiveness of Transformer-based models for traffic prediction in Maputo, Mozambique, and Cape Town, South Africa. We propose an architecture combining a Transformer encoder with self-attention mechanisms for capturing long-range temporal dependencies, Graph Neural Network components for modeling spatial relationships between traffic sensors, and comprehensive feature processing capabilities including time-based and weather (Zhang et al., 2019). Evaluating performance using MAE, RMSE, R^2, and MAPE metrics while benchmarking against other model architectures such as Seq2Seq LSTM, DCRNN, STGCN, GAMC, TrafFormer (Tedjopurnomo et al., 2023) and T-Graphormer.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Traditional Traffic Forecasting Methods

Traffic prediction has traditionally relied on statistical methods such as Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA), Support Vector Regression (SVR), and k-Nearest Neighbors (k-NN). While these methods perform well for short-term predictions with stable traffic patterns, they struggle to capture complex non-linear relationships and long-term dependencies inherent in traffic data (Li et al., 2018).

2.2 Deep Learning for Traffic Prediction

Deep learning has significantly improved traffic prediction through models like RNNs and LSTMs for temporal dependencies, CNNs for spatial features, and GNNs for road network topology. Recent hybrid approaches include DCRNN, which combines graph convolution with RNNs; STGCN, utilizing graph and 1D convolutions; and GAMCN, employing attention and multi-path temporal convolution to enhance accuracy.

2.3 Transformer Models in Time Series Forecasting

Transformer models, introduced by Vaswani et al. (2017), have revolutionized natural language processing through their self-attention mechanism. Unlike RNNs, transformers process the entire sequence simultaneously rather than sequentially, enabling them to model long-range dependencies more effectively.

Recent transformer-based models for time series forecasting include Informer, which uses ProbSparse self-attention for efficient long sequence forecasting; Autoformer, which employs decomposition and auto-correlation mechanisms for time series data; TrafFormer, a specialized model for long-term traffic prediction using time-day embeddings and spatio-temporal multi-head attention; and TITAN, a Heterogeneous Mixture of Experts demonstrating improved traffic flow prediction by integrating variable-centric and sequence-centric modeling.

2.4 Traffic Prediction in African Contexts

Traffic prediction research in African cities is scarce, with most studies concentrating on developed regions. Unique challenges in African urban environments contribute to this gap, including inconsistent data collection, high variability in traffic due to informal transport, significant seasonal variations influenced by local events and weather, and limited integration across transportation modes. These factors underscore the need for research specifically addressing the complexities of traffic forecasting in African urban contexts.

2.5 Transformer Models

The self-attention mechanism proposed by Vaswani et al. (2017) forms the foundation of our model, computing attention by measuring compatibility between queries Q and keys K, producing attention weights that are applied to values V:

$$Attention(Q, K, V) = softmax\left(\frac{QK^T}{\sqrt{d_k}}\right)V \qquad [1]$$

Multi-head attention enables the model to jointly attend to information from different representation subspaces:

$$MultiHead(Q, K, V) = Concat(head_1, \dots, head_h)W^O \quad [2]$$

$$head_i = Attention(QW_i^Q, KW_i^K, VW_i^V) \quad [3]$$

With h separate attention heads, the model can simultaneously attend to information from different representation subspaces at different positions. This is particularly valuable for traffic prediction, where temporal patterns operate at multiple scales simultaneously (e.g., rush hour patterns, weekly cycles, and seasonal trends).

Each transformer layer combines self-attention with position-wise feed-forward networks:

$$\hat{X} = LayerNorm(X + MultiHead(X, X, X)) \quad [4]$$

$$Z = LayerNorm(\hat{X} + FFN(\hat{X})) \quad [5]$$

where: $FFN(x) = ReLU(xW_1 + b_1)W_2 + b_2$.

2.5.1 Feature-Wise Attention Mechanism

Our feature-wise attention mechanism addresses a fundamental challenge in traffic prediction: integrating heterogeneous features with varying importance across different contexts.

Feature-specific Embeddings
For each feature type:

$$f \in traffic, time, weather, spatial$$

$$E_f = X_f W_f + b_f \quad [6]$$

These embeddings project raw features into a common latent space of dimension d_{model} enabling meaningful interaction between different feature types (e.g., temporal and spatial). Unlike standard approaches that simply concatenate features, this maintains feature type identities throughout processing.

Global Context and Adaptive Weighting

We compute a global context vector that captures cross-feature information:

$$c = tanh\left(W_c\left[\frac{1}{F}\sum_{f=1}^{F} Z_f\right] + b_c\right) \quad [7]$$

This context vector summarizes the current traffic state across all feature dimensions. Similar to the query in standard attention mechanisms, it serves as a reference point for determining feature relevance.

Feature importance weights are determined adaptively:

$$\alpha_f = \frac{exp(c^T W_\alpha Z_f)}{\sum_{j=1}^{F} exp(c^T W_\alpha Z_j)} \quad [8]$$

The weights α_f dynamically adjust feature importance based on current conditions. For example, weather features might receive higher weights during rainy periods, while time features might dominate during typical rush hours.

Feature-specific gates control information flow:

$$g_f = \sigma(W_g Z_f + b_g) \quad [9]$$

These gates, operating similarly to those in LSTM networks (Hochreiter & Schmidhuber, 1997), learn to selectively pass or block information from each feature type, further enhancing the model's ability to focus on relevant information.

The final combined representation integrates information across all features:

$$\hat{Z}f = g_f \odot Z_f \quad [10]$$

$$Zcombined = \sum_{f=1}^{F} \alpha_f \hat{Z}_f \quad [11]$$

Here, $\odot$ represents element-wise multiplication, applying the gate values to feature representations before weighted combination. This hierarchical attention approach (Yang et al., 2016) allows the model to focus on relevant features and ignore irrelevant ones.

2.5.2 Graph Neural Network Enhancement

Traffic networks inherently form graphs, with road segments as nodes and intersections as edges. Following Li et al. (2018) and Yu et al. (2018), we incorporate graph neural networks to explicitly model spatial dependencies:

Graph Convolutional Layer

$$H^{(l+1)} = \sigma(\tilde{A}H^{(l)}W^{(l)}) \quad [12]$$

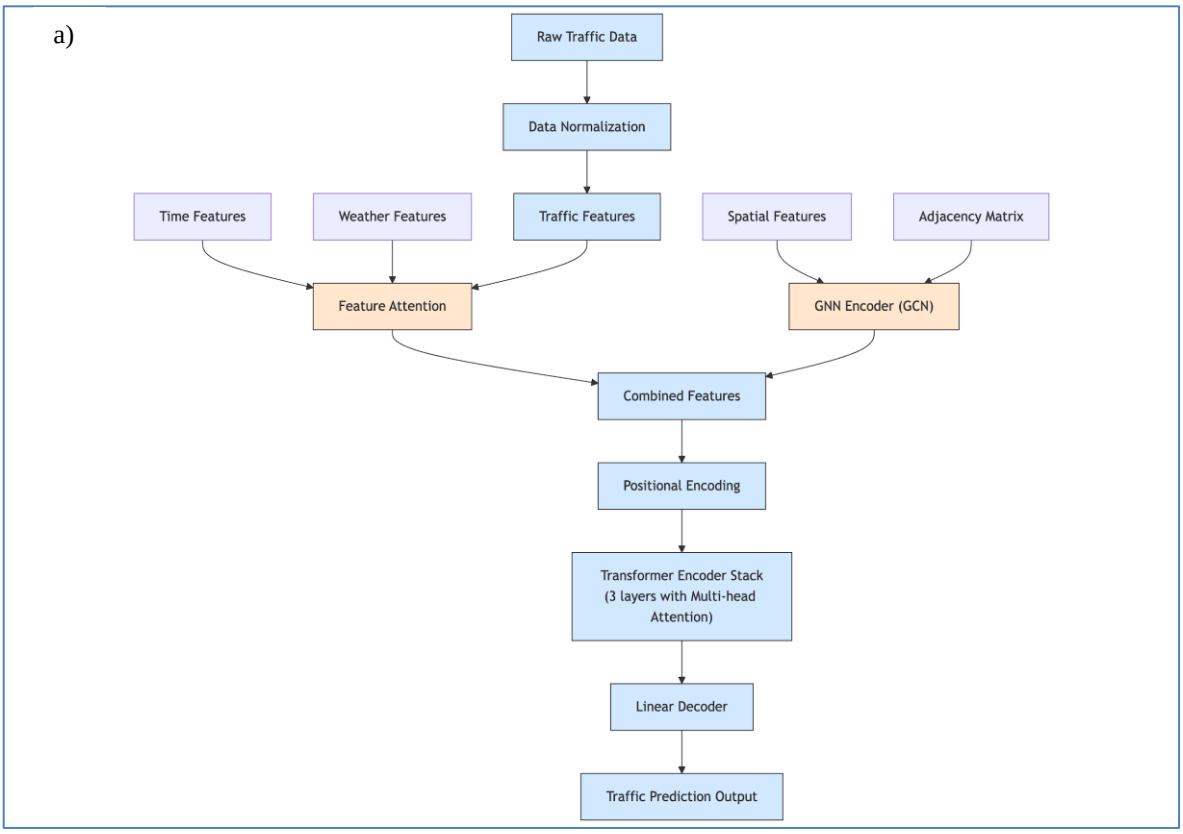
where: $\tilde{A} = D^{-\frac{1}{2}}(A + I)D^{-\frac{1}{2}}$ is the normalized adjacency matrix.

This formulation, based on Kipf & Welling (2017), enables message passing between connected nodes in the traffic network, effectively capturing how congestion at one location affects neighboring areas.

3. METHODOLOGY

3.1 Proposed Architecture

The proposed Traffic Transformer model architecture employs a multi-stage approach for traffic prediction, beginning with data preprocessing where traffic data undergoes normalization and missing values are filled using a mean. The feature extraction pipeline generates three primary feature types: time features (encoding hour of day, day of week, week of year, and month), weather features (integrating temperature, visibility, wind speed, and other meteorological data), and spatial features (encoding road network topology via node embeddings). These features are processed through a specialized Feature Attention module that dynamically weights their importance based on learned patterns. Spatial information is further enhanced through a Graph Neural Network (GNN) component that leverages the adjacency matrix of the traffic network to capture spatial dependencies between sensors. The combined feature representation feeds into a Transformer encoder stack comprising three layers with multi-head attention mechanisms, positional encoding, feed-forward networks, and residual connections with layer normalization. This design captures complex spatiotemporal dependencies across the traffic network. The encoder output passes to a linear decoder that maps the encoded representations to multi-step traffic predictions. The model is trained using Mean Absolute Error (MAE) as the primary loss function, with evaluation performed via multiple metrics including MAE, RMSE, R-squared, and MAPE to provide performance assessment across prediction horizons.



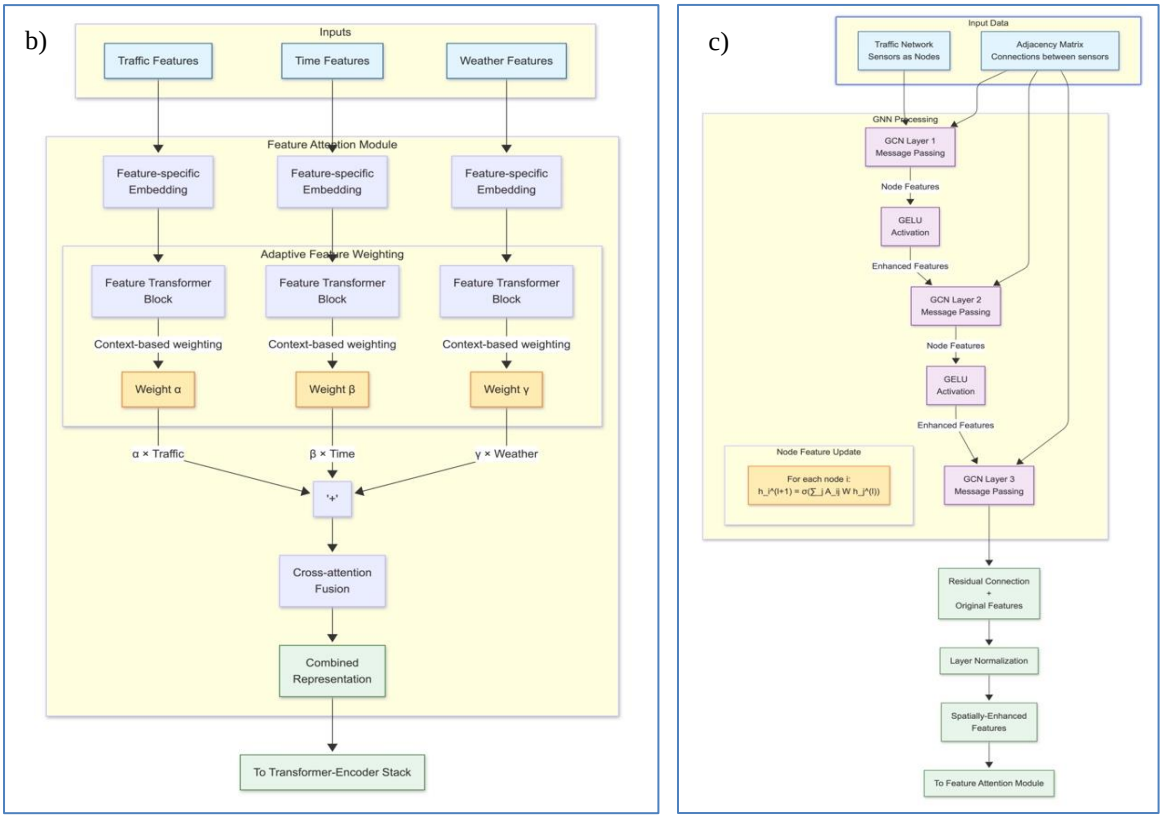


Figure 1: a) Model architecture; b) Feature-Wise attention; c) GNN Encoder

3.2 DATA ANALYSIS

3.2.1 Maputo Dataset

The Maputo dataset encompasses traffic information gathered in 2024 from 12 intersections and road sections throughout the city and spans 72 hours. This data was compiled at 1-second intervals utilizing deep learning vision systems and includes metrics such as traffic flow (vehicles/hour), average speed (km/h), vehicle classifications and road occupancy percentages.



Figure 2: Maputo dataset stations

3.2.2 Cape Town Dataset

The Cape Town traffic dataset encompasses measurements from roughly 124 detection stations across the Western Cape's highway network in South Africa and spans 90 days in 1 hour aggregated intervals. This data includes bidirectional traffic information (inbound/outbound or north/south) for numerous locations, represented by metrics like speed, volume, or occupancy, and offers broad coverage of major roadways including the N1 route.

3.2.3 Benchmark Datasets

Before applying our model to the Mozambican and South African contexts, pre-trainning was performed on two widely-used benchmark datasets in traffic prediction research:

1. **METR-LA**: Traffic speed data collected from 207 sensors on the highways of Los Angeles County from March to June 2012, with readings every 5 minutes (Jagadish et al., 2014; Li et al., 2018).

2. **PEMS-BAY**: Traffic speed data from 325 sensors in the Bay Area of San Francisco, spanning January to May 2017, with readings every 5 minutes (Li et al., 2018).

The METR-LA and PEMS-BAY datasets offer several benefits for pre-training traffic prediction models, including their large size with over 6.5 million and 16.9 million data points respectively, the high completeness of PEMS-BAY data with minimal missing values (0.006%), the well-defined spatial connections between sensors, and the representation of diverse traffic conditions encompassing both urban and highway environments. These characteristics make them valuable resources for learning generalizable traffic flow patterns before adapting models to specific regional contexts.

4. EXPERIMENTAL SETUP

The proposed model was implemented using PyTorch and experiments were conducted on a server with 1 NVIDIA A100 GPUs, 80GB RAM and 40GB GPU RAM. The implementation details include an embedding dimension, number of attention heads, number of transformer layers, and feed-forward dimension that are to be determined, a dropout rate of 0.1, and GELU as the activation function. The model was trained with an AdamW optimizer with a learning rate of 10^{-4}, a CosineAnnealingWarmRestarts learning rate scheduler with T_0=10 and T_{mult}=2, a batch size of 16, and for 300 training epochs with early stopping implemented with a patience of 30 epochs.

The pre-training process utilized the same model architecture with adjustments for the input features of the METR-LA and PEMS-BAY datasets. For each dataset, a separate model was trained with a 70%/10%/20% split for training, validation, and testing, an input sequence length of 12 time steps (representing one hour at 5-minute intervals), a prediction horizon of 12 time steps (also one hour at 5-minute intervals), and a batch size of 16 for 1000 training epochs, employing early stopping.

Five-fold cross-validation was also implemented in the Traffic Transformer model using scikit-learn's TimeSeriesSplit, provides robust evaluation by partitioning data into five sequential training-testing segments. Unlike standard k-fold cross-validation (Kohavi, 1995), the temporal

variant maintains chronological order critical for traffic forecasting. As Stone (1974) and Geisser (1975) established, cross-validation reduces overfitting risk while maximizing training data utility. The implementation divides the traffic dataset into five consecutive folds where each test fold only contains data from time periods following the corresponding training fold, preserving the temporal dependency structure. This approach ensures evaluation metrics (MAE, RMSE, R^2, MAPE) reflect real-world forecasting scenarios where models predict future states based solely on past observations. The averaged metrics across all folds provide a more reliable performance estimate than single train-test splits, particularly valuable when evaluating the Traffic Transformer's ability to generalize across different traffic patterns and time periods.

4.1 Baseline Models

The proposed transformer-based model was compared against statistical models like ARIMA and VAR, machine learning models such as Random Forest and XGBoost, and deep learning models including Seq2Seq LSTM, DCRNN (Li et al., 2018), STGCN (Yu et al., 2018), GAMCN (Qi et al., 2022), TrafFormer (Tedjopurnomo et al., 2023) and T-Graphormer (Bai et al., 2025); all models were evaluated using the same train/validation/test splits and identical preprocessing steps when applicable.

4.2 Transfer Learning Strategy

Following pre-training on the METR-LA and PEMS-BAY datasets, a transfer learning strategy was employed to adapt the models to the Mozambican and South African traffic contexts. This involved embedding layer adaptation, feature alignment, a progressive fine-tuning approach with initial freezing of transformer layers followed by unfreezing upper and then all layers, the introduction of domain adaptation components, and the implementation of dropout to prevent overfitting. The transfer learning process utilized a low initial learning rate of 10^{-5}, a progressive unfreezing schedule over 50 epochs, a domain adaptation layer size of 64 hidden units, a dropout rate of 0.2, a learning rate scheduler with reduced on plateau and a patience of 10 epochs, and an early stopping criterion with a patience of 10 epochs on validation loss.

4.3 Experimental Design

We designed experiments to address the following research questions:

1. How does the proposed transformer model compare to existing state-of-the-art models for traffic prediction?
2. What is the impact of various feature types (time-based, holiday, weather, spatial) on prediction performance?
3. How does prediction accuracy vary across different time horizons (5-min, 15-min, 30-min, 1-hour, 24-hour)?
4. What is the model's performance with small African traffic datasets?

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1 Overall Performance

Table 1 presents the average prediction errors across all models for the 15-minute (horizon 3), 30-minute (horizon 6), and 1-hour prediction (horizon 12) on METR-LA and PEMS-BAY datasets.

Table 1: Prediction Error Metrics for PEMS-BAY

Dataset	**Method**	**Horizon 3**			**Horizon 6**			**Horizon 12**		
		MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE
PEMS-BAY	VAR	1.74	3.16	3.60	2.32	4.25	5.00	2.93	5.44	6.50
	FC-LSTM	2.05	4.19	4.80	2.20	4.55	5.20	2.37	4.96	5.70
	DCRNN	1.38	2.95	2.90	1.74	3.97	3.90	2.07	4.74	4.90
	STGCN	1.36	2.96	2.90	1.81	4.27	4.17	2.49	5.69	5.79
	Graph WaveNet	1.30	2.74	2.73	1.63	3.70	3.67	1.95	4.54	4.63
	ASTGCN	1.52	3.13	3.22	2.01	4.27	4.48	2.61	5.42	6.00
	GMAN	1.34	2.91	2.86	1.63	3.76	3.68	1.86	4.32	4.37
	PDFormer	1.32	2.83	2.78	1.64	3.79	3.71	1.91	4.43	4.51
	STAEformer	1.31	2.78	2.76	1.62	3.68	3.62	1.88	4.34	4.41
	STEP	1.26	2.73	2.59	1.55	3.58	3.43	1.79	4.20	4.18
	T-Graphormer	1.16	2.10	2.38	1.38	2.64	2.97	1.63	3.20	3.65
	Our model	**1.97**	**3.73**	**4.32**	**2.15**	**4.21**	**4.87**	**2.21**	**4.53**	**5.13**

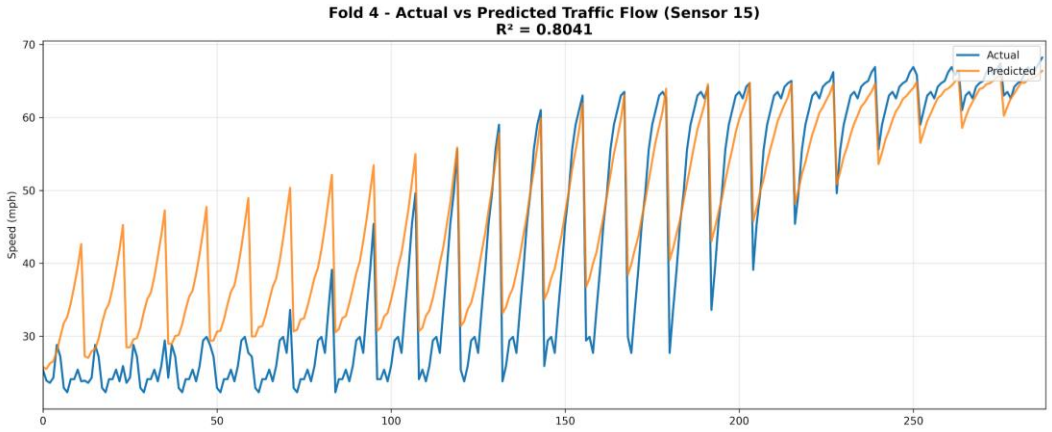


Figure 3: Actual vs. predicted traffic for sensor 15 on Fold 4 on 5 minute timesteps

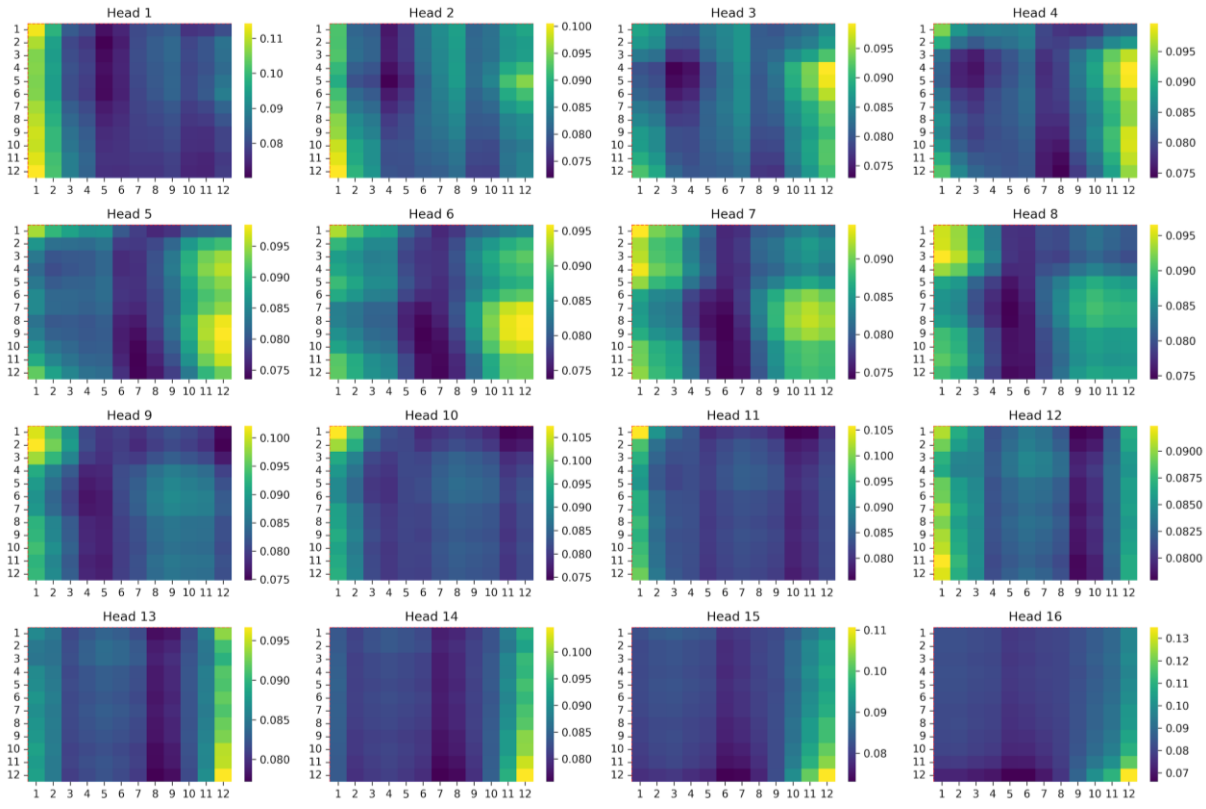


Figure 4: Attention head heatmaps on Layer 3 for PEMS-BAY

As presented in Figure 4, the model effectively distributes responsibility across heads, with some focusing on recent history, others on early indicators, and some maintaining broader context - all critical for accurate traffic prediction. This multi-faceted attention mechanism helps capture both short-term fluctuations and longer-term patterns in the PEMS-BAY traffic data.

Table 2: PEMS-BAY - Performance Across Time Series Cross Validation Horizon 12, best model

Fold	**MAE**	**RMSE**	**R2**	**MAPE**
1	2.3817	4.6368	0.7680	5.2532
2	2.2502	4.5526	0.7744	4.9243
3	1.9231	4.0286	0.7877	**4.1410**
4	2.0890	4.4034	0.8107	4.9284
5	2.1360	4.4371	0.7978	4.9956
Mean	2.1560	4.4117	0.7877	4.8485

Table 3: METR-LA - Performance Across Different Prediction Horizons

Dataset	**Method**	**Horizon 3**			**Horizon 6**			**Horizon 12**		
		MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE	MAE	RMSE	MAPE
METR-LA	VAR	4.42	7.80	13.00	5.41	9.13	12.70	6.52	10.11	15.80
	FC-LSTM	3.44	6.30	9.60	3.77	7.23	10.09	4.37	8.69	14.00
	DCRNN	2.77	5.38	7.30	3.15	6.45	8.80	3.60	7.60	10.50
	STGCN	2.88	5.74	7.62	3.47	7.24	9.57	4.59	9.40	12.70
	Graph WaveNet	2.69	5.15	6.90	3.07	6.22	8.37	3.53	7.37	10.01
	ASTGCN	4.86	9.27	9.21	5.43	10.61	10.13	6.51	12.52	11.64
	GMAN	2.80	5.55	7.41	3.12	6.49	8.73	3.44	7.35	10.07
	PDFormer	2.83	5.45	7.77	3.20	6.46	9.19	3.62	7.47	10.91
	STAEformer	2.65	5.11	6.85	2.97	6.00	8.13	3.34	7.02	9.70
	STEP	2.61	4.98	6.60	2.96	5.97	7.96	3.37	6.99	9.61
	T-Graphormer	2.62	4.93	6.61	2.90	5.53	7.56	3.19	6.12	8.62
	Our model	**2.76**	**5.08**	**7.1**	**3.04**	**5.7**	**8.11**	**3.43**	**6.51**	**9.61**

Our model delivers results comparable to models like T-Graphormer while requiring significantly less computational resources. While T-Graphormer slightly outperforms our model (with improvements of 0.14, 0.14, and 0.24 in MAE across horizons), it requires extensive infrastructure (4 compute nodes with 4 NVIDIA V100 GPUs each) and substantially longer training times (2.77 - 8.5 hours). While T-Graphormer has 4.15 million parameters, our model has 6.9 million and achieves nearly equivalent results using only a single consumer-grade T4 or A100 GPU on Google Colab and training times (1.5. - 4.1 hours), demonstrating superior efficiency and accessibility for practical traffic forecasting applications.

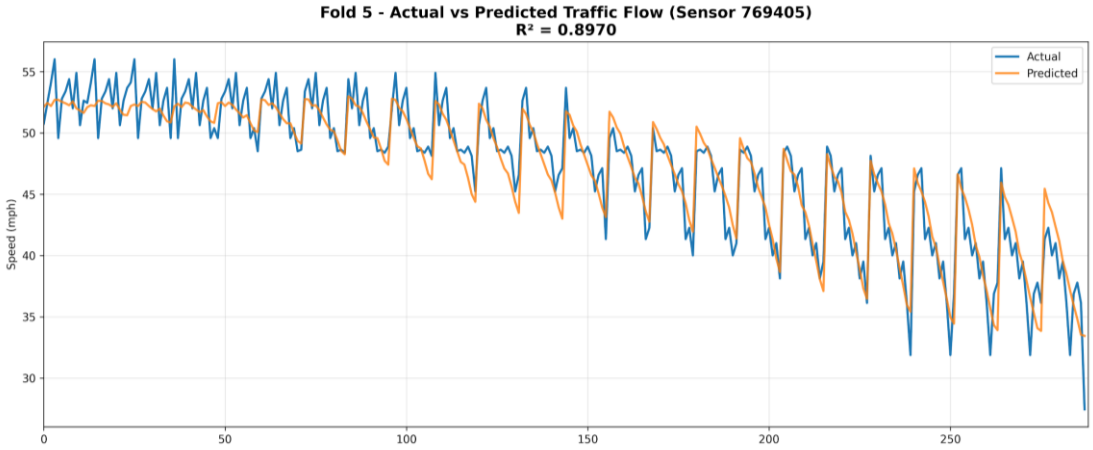


Figure 5: Actual vs. predicted traffic for sensor 769405 on Fold 5 on 5 minute timesteps

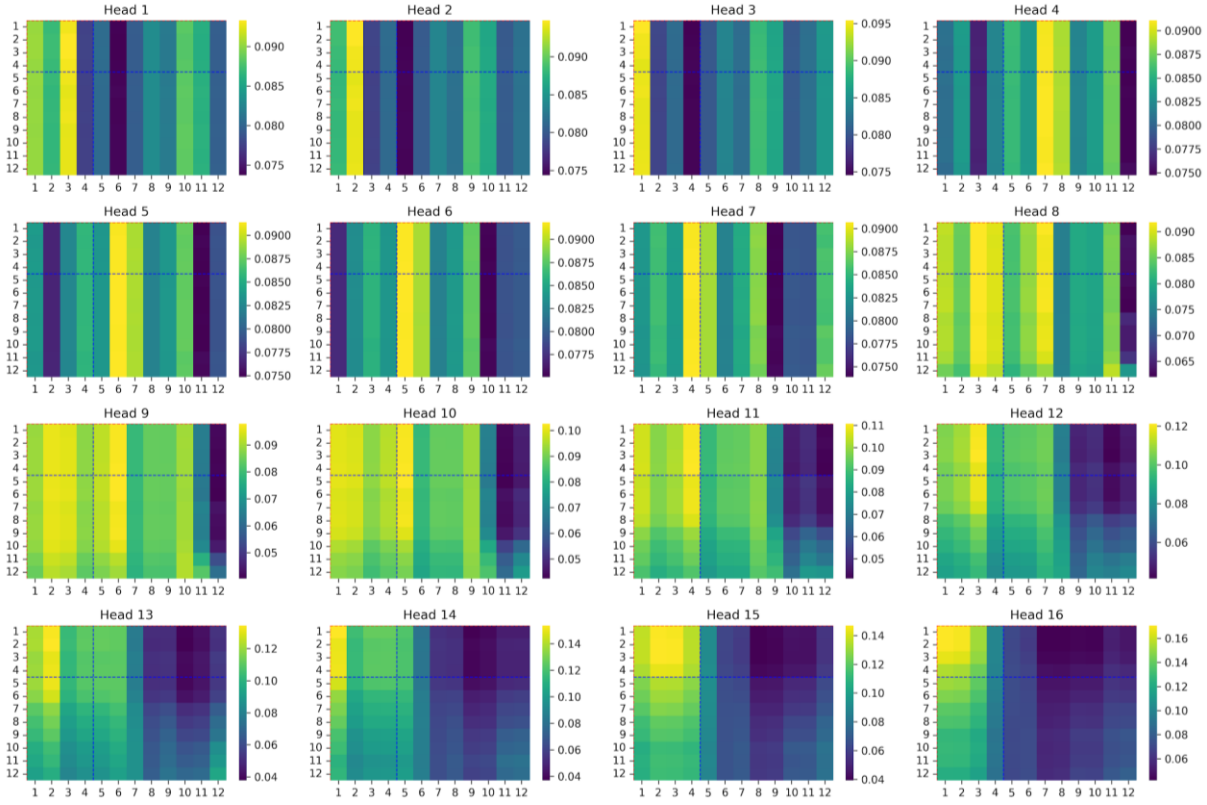


Figure 6: Attention head heatmaps on Layer 3 for METR-LA

While PEMS-BAY showed balanced attention distribution with several heads focusing on recent timesteps and diagonal patterns capturing local temporal dependencies, METR-LA exhibits a stronger preference for early timesteps (positions 1-3) across most heads, particularly in heads 9-16. METR-LA's attention patterns feature more pronounced vertical striping, indicating the model emphasizes specific timesteps rather than sequential patterns. This difference—PEMS-BAY's balanced temporal attention versus METR-LA's emphasis on early sequence information—likely reflects different predictive features in the underlying traffic patterns.

Table 4: METR-LA - Performance Across Time Series Cross Validation Horizon 12, best model

Fold	**MAE**	**RMSE**	**R2**	**MAPE**
1	3.5045	6.7322	0.6904	9.6597
2	3.5673	6.9151	0.7028	10.5945
3	3.5161	6.7484	0.7155	9.7120
4	3.2783	6.2548	0.7696	9.3652
5	3.2763	6.3770	0.7503	**8.9577**
Mean	3.4285	6.6055	0.7257	9.6578

5.2 Performance Across Different Prediction Horizons

Table 5 illustrates how prediction accuracy varies across different time horizons for the model.

Table 5: METR-LA - Performance Across Different Prediction Horizons

Prediction Horizon	**MAE**	**RMSE**	**R2**	**MAPE**	**Key Config Details of Representative Run(s)**
1	3.1316	5.2484	0.8335	8.1062	Avg. 5 Folds; HD:704, L:2, H:8, MLP, GCN, No GNN-Pre, MSE
3	3.0853	5.2898	0.8270	7.9998	Avg. 5 Folds; HD:256, L:3, H:16, MLP, GAT, GNN-Pre, MSE
6	3.3802	5.8858	0.7957	8.8683	Single Run; HD:256, L:3, H:16, MLP, GCN, GNN-Pre, MSE
12	3.3349	6.5814	0.7468	9.5155	Single Run (Baseline); HD:256, L:3, H:16, Linear Dec, GCN, GNN-Pre, MAE, Median MV
288	4.6790	8.0730	0.6118	13.7750	Single Run; HD:256, L:3, H:16, MLP, GCN, GNN-Pre, MSE, BS:128

Table 6: PEMS-BAY - Performance Across Different Prediction Horizons

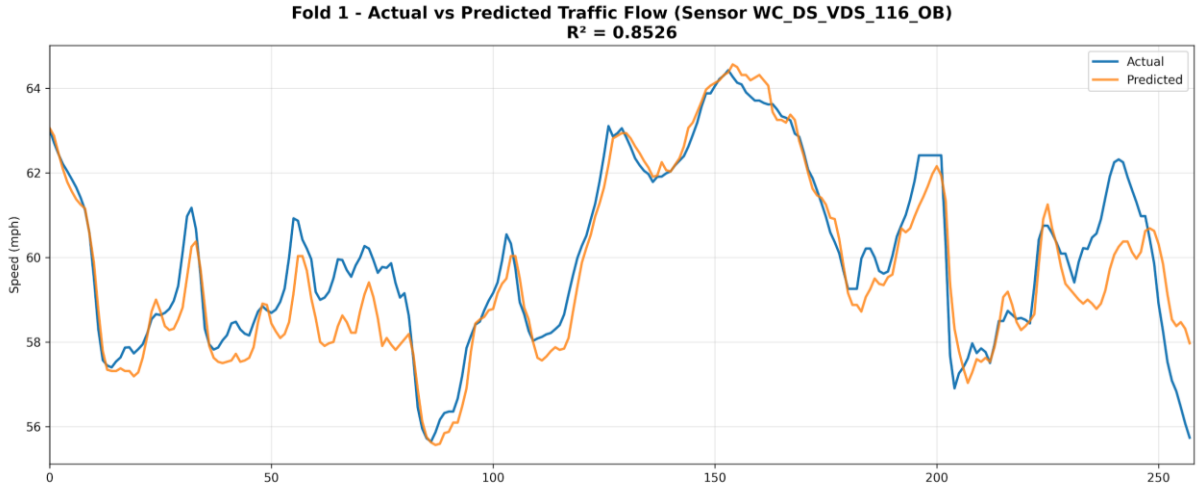
Prediction Horizon	MAE	RMSE	R2	MAPE	Key Config Details of Representative Run(s)
12	2.1560	4.4117	0.7877	4.8485	Avg. 5 Folds; HiddenDim:336, L:3, H:16, Linear Dec, GCN, No GNN-Pre, No Weather, MAE, Plateau
12	2.2145	4.5331	0.7793	5.1279	Single Run; HiddenDim:336, L:3, H:16, Linear Dec, GCN, GNN-Pre, Weather:Yes, MAE, Plateau

5.3 Transfer Learning

Experiments were conducted to obtain the performance of models trained from transfer learning from METR-LA. Table 7 presents these results for both the Maputo and Cape Town datasets.

Table 7: Performance Comparison - Transfer Learning vs. Training from Scratch (1-hour prediction horizon)

Approach	Maputo Dataset				Cape Town Dataset			
Metric	**MAE**	**RMSE**	**MAPE**	**R^2**	**MAE**	**RMSE**	**MAPE**	**R^2**
Transfer from METR-LA	1.86	2.59	22.47	0.69	1.27	1.89	2.41	0.94



Transfer learning yielded dataset-specific benefits, with the Cape Town dataset showing a 31.7% MAE improvement compared to Maputo. The training that is approximately 5% of pre-

training time. The results show that transfer learning provides increasingly significant advantages as data availability decreases. This finding is particularly relevant for African cities where comprehensive traffic data collection infrastructure may be limited. It suggests that models pre-trained on data-rich regions can be effectively adapted to regions with sparse data, potentially accelerating the adoption of advanced traffic prediction systems in developing urban contexts.

5.5 Ablation Study

5.5.1 METR-LA

The ablation study on the METR-LA dataset revealed that switching the GNN type from GCN to GAT (with 3 layers) resulted in comparable performance to the baseline, while using an MLP decoder instead of a linear one slightly increased MAE and RMSE, with a Transformer decoder performing considerably worse. Changing the loss function from MAE to Huber or MSE generally led to higher MAE, although R^2 and RMSE were sometimes comparable; increasing GNN layers from 3 to 6 did not consistently improve results and could even worsen MAE. Increasing encoder/decoder layers to 4 with MSE loss did not show significant improvement over 3-layer models using MSE loss.

Table 8: Ablation Study for METR-LA Dataset

Description of Change	**MAE**	**RMSE**	**R2**	**MAPE**
GCN, Linear Decoder, MAE Loss, Median Fill	3.3349	6.5814	0.7468	9.5155
Baseline (GCN, Linear) + Mean Fill, GNN Layers: 6	3.4314	6.5078	0.7503	9.6106
GAT (3 layers) instead of GCN, Median Fill	3.3285	6.5953	0.7457	9.5496
MLP Decoder instead of Linear, GCN (3 layers), Median Fill	3.3718	6.7837	0.7310	9.7230
Huber Loss instead of MAE, Linear Decoder, GCN, Median Fill	3.6371	6.4958	0.7534	9.8432
MSE Loss, Linear Decoder, GCN, Median Fill, Lagged Features	3.6341	6.5343	0.7504	9.8833
MSE Loss, Linear Decoder, GCN (6 layers), Median Fill	3.6637	6.5300	0.7507	9.6700
MSE Loss, Linear Decoder, GAT (6 layers), Median Fill	3.6703	6.5372	0.7502	9.6802
MSE Loss, Linear Decoder, GAT (6 layers), Mean Fill	3.7146	6.4356	0.7558	9.8916
MSE Loss, Transformer Decoder, GCN (3 layers), Median Fill	4.2090	7.3291	0.6367	11.1477

Description of Change	MAE	RMSE	R2	MAPE
MSE Loss, Linear Decoder, GCN, 4 Enc/Dec Layers, Median Fill	3.6807	6.6293	0.7431	10.0419
MSE Loss, MLP Decoder, GAT (6 layers), Mean Fill	3.7419	6.5169	0.7496	10.0998
MSE Loss, MLP Decoder, GAT (3 layers), Mean Fill	3.7324	6.4862	0.7520	9.9559

On the METR-LA dataset, a baseline GCN with a linear decoder, MAE loss, and median imputation yielded a 3.3349 MAE. Most variations in GNN type, decoder, loss, and layer count produced similar or worse results. The key configuration used MAE loss, a linear decoder, a 3-layer GCN pre-transformer, spatial and weather features, a 3-layer encoder (256 hidden dimension, 16 attention heads), 0.05 dropout, a 0.0001 learning rate with a plateau scheduler, median imputation, and a prediction length of 12.

5.5.2 PEMS-BAY

The baseline PEMS-BAY model with a GCN pre-transformer, weather features, and a hidden dimension of 336. Removing the GNN pre-transformer and spatial features only slightly reduced accuracy, indicating the Transformer's ability to capture spatial-temporal dependencies or a marginal contribution from the GNN in this configuration. Reducing the hidden dimension to 256 led to a minor increase in MAE/RMSE, suggesting that 336 is a potentially better setting when using a GNN. Furthermore, switching to a cosine_warmup scheduler or implementing minor hyperparameter adjustments generally resulted in slightly higher MAE/RMSE compared to models using a plateau scheduler, and the MLP decoder with cosine warmup performed slightly worse than the linear decoder baseline.

Table 9: Ablation Study for PEMS-BAY Dataset

Description of Change	MAE	RMSE	R2	MAPE
GCN Pre-Transformer, Linear Decoder, Weather, Plateau Scheduler, HiddenDim 336	2.2145	4.5331	0.7793	5.1279
No GNN Pre-Transformer, No Spatial Features, HiddenDim 336	2.2216	4.5509	0.7775	5.1392
GCN Pre-Transformer, Linear Decoder, No Weather, Plateau, HiddenDim 336	2.2113	4.5565	0.7770	5.1351
No GNN Pre-Transformer, No Spatial Features, No Weather, Plateau, HiddenDim 336	2.3817	4.6368	0.7680	5.2532

Description of Change	MAE	RMSE	R2	MAPE
GCN Pre-Transformer, Linear Decoder, Weather, Plateau, HiddenDim 256	2.2513	4.6460	0.7681	5.3105
No GNN Pre-Transformer, No Spatial Feat, Weather, CosineWarmup, HiddenDim 256	2.3745	4.9116	0.7409	5.5631
GCN Pre-Transformer, MLP Decoder, Weather, CosineWarmup, HiddenDim 336	2.2959	4.8477	0.7476	5.4229

The top PEMS-BAY model in the ablation study used MAE loss and a linear decoder with a 3-layer GCN pre-transformer incorporating spatial and weather features. Its 3-layer encoder had a hidden dimension of 336, 16 attention heads, and a 0.05 dropout. Training used a 0.0001 learning rate with a Plateau scheduler. Missing values were mean imputed, and the prediction length was 12 time steps.

6. CONCLUSION AND FUTURE WORK

This study proposed a transformer-based neural network architecture for traffic prediction in African urban contexts, with case studies in Maputo, Mozambique, and Cape Town, South Africa. Our model incorporates various feature types (traffic, weather, spatial) and leverages feature-wise-attention mechanisms to capture complex dependencies in traffic data.

The experimental results demonstrate that our model is on par with existing state-of-the-art approaches across multiple metrics and prediction horizons. Key findings include:

1. The model shows superior performance in handling the irregularities and missing data common in developing regions traffic monitoring systems.

2. The benefits of transfer learning are magnified in data-scarce scenarios, making this approach particularly valuable for regions with limited traffic monitoring infrastructure.

These results highlight the potential of transformer-based architectures for traffic prediction in African cities, providing valuable tools for transportation authorities to improve traffic management strategies.

7. LIMITATIONS

Despite promising traffic prediction results using a transformer-based neural network in Maputo and Cape Town, limitations remain in integrating informal transportation data and the computational demands of the model for resource-constrained environments; future work will focus on developing more efficient architectures, incorporating multi-modal data, extending the model for traffic management interventions.

8. REFERENCES

Bai, J., Li, J., Chen, G., Liu, Y., & Wang, L. (2025). T-Graphormer: Transformer-based graph neural network for traffic forecasting. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.

Geisser, S. (1975). The predictive sample reuse method with applications. Journal of the American Statistical Association, 70(350), pp.320-328.

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), pp.1735-1780.

Jagadish, H.V., Gehrke, J., Labrinidis, A., Papakonstantinou, Y., Patel, J.M., Ramakrishnan, R., & Shahabi, C. (2014). Big data and its technical challenges. Communications of the ACM, 57(7), pp.86-94.

Kipf, T. N., & Welling, M. (2017). Semi-supervised classification with graph convolutional networks. International Conference on Learning Representations (ICLR).

Kohavi, R. (1995). A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. IJCAI, 14(2), pp.1137-1145.

Li, Y., Yu, R., Shahabi, C., & Liu, Y. (2018). Diffusion convolutional recurrent neural network: Data-driven traffic forecasting. International Conference on Learning Representations (ICLR).

Ma, X., Tao, Z., Wang, Y., Yu, H., & Wang, Y. (2015). Long short-term memory neural network for traffic speed prediction using remote microwave sensor data. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol.54, pp.187-197.

Qi, J., Zhao, Z., Tanin, E., Cui, T., Nassir, N., & Sarvi, M. (2022). A graph and attentive multi-path convolutional network for traffic prediction. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering.

Stone, M. (1974). Cross-validatory choice and assessment of statistical predictions. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 36(2), pp.111-133.

Tedjopurnomo, D. A., Choudhury, F. M., & Qin, A. K. (2023). TrafFormer: A Transformer Model for Predicting Long-Term Traffic. arXiv:2302.12388.

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A.N., Kaiser, L., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, Vol.30, pp.5998-6008.

Wang, G., Chen, Y., Gao, M., Wu, Z., Tang, J., & Zhao, J. (2024). A time series is worth five experts: Heterogeneous mixture of experts for traffic flow prediction. arXiv preprint arXiv:2409.17440.

Wu, N., Green, B., Ben, X., & O'Banion, S. (2021). Deep transformer models for time series forecasting: The influenza prevalence case. arXiv preprint arXiv:2001.08317.

Yang, Z., Yang, D., Dyer, C., He, X., Smola, A., & Hovy, E. (2016). Hierarchical attention networks for document classification. Proceedings of the 2016 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies, pp.1480-1489.

Yu, B., Yin, H., & Zhu, Z. (2018). Spatio-temporal graph convolutional networks: A deep learning framework for traffic forecasting. Proceedings of the 27th International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.3634-3640.

Zhang, C., Yu, J. J. Q., & Liu, Y. (2019). Spatial-Temporal Graph Attention Networks: A Deep Learning Approach for Traffic Forecasting. IEEE Access.

Zhou, H., Zhang, S., Peng, J., Zhang, S., Li, J., Xiong, H., & Zhang, W. (2021). Informer: Beyond efficient transformer for long sequence time-series forecasting. Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol.35, pp.11106-11115.

ARTIGO Nº22628

INDÚSTRIA 5.0: UMA TRANSFORMAÇÃO DE VALORES NA INDÚSTRIA EUROPEIA

António Lucas Soares[1,2,(*)], Ana Correia Simões[1], Ricardo Zimmermann[1]

[1]Instituto de Engenharia de Sistemas, Tecnologia e Ciência (INESC TEC) - Porto, Portugal
[2]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, DEI - Porto, Portugal
[(*)] *Email:* als@fe.up.pt

RESUMO

A indústria europeia enfrenta desafios significativos para se manter competitiva num cenário global caracterizado por mudanças geopolíticas rápidas, vulnerabilidades nas cadeias de abastecimento e a necessidade de transição para modelos mais sustentáveis. A Indústria 5.0 (i5.0) surge como um novo paradigma, enfatizando a resiliência, a sustentabilidade e a centralidade humana no desenvolvimento tecnológico e na produção industrial (European Commission, 2021). Contudo, ao contrário das anteriores revoluções industriais, a i5.0 não pode ser vista simplesmente como a sucessora da Indústria 4.0 (i4.0), mas sim como uma transformação nos valores que orientam a inovação industrial.

A i4.0 introduziu um modelo produtivo altamente digitalizado e automatizado, baseado em tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), gémeos digitais, blockchain e computação em nuvem. A i5.0 não rejeita esses avanços, mas redefine a sua aplicação com base em três pilares interdependentes: (1) sustentabilidade ambiental e social (além da sustentabilidade económica que é ênfase da i4.0) , promovendo uma indústria que respeita os limites ecológicos do planeta; (2) resiliência, preparando as empresas para responderem eficazmente a eventos disruptivos; e (3) foco no ser humano, garantindo que a tecnologia sirva os trabalhadores e melhore a qualidade de vida no trabalho.

Embora o conceito de i5.0 tenha sido lançado pela Comissão Europeia em 2021, a literatura científica ainda apresenta interpretações diversas e, por vezes, pouco claras sobre suas implicações práticas. As chamadas "tecnologias facilitadoras" da i5.0 incluem, entre outras, robôs colaborativos, inteligência artificial explicável e generativa, sistemas ciber-físicos sociais e manufatura bio-inspirada, mas a sua adoção em larga escala enfrenta obstáculos como falta de regulação, escassez de profissionais qualificados e desafios de interoperabilidade tecnológica (Maddikunta *et al.*, 2022).

Além disso, a avaliação do progresso da i5.0 exige novos modelos de maturidade que vão além das métricas tradicionais da i4.0, integrando indicadores de sustentabilidade, bem-estar dos trabalhadores e capacidade de adaptação às mudanças. A transformação proposta pela i5.0 requer um alinhamento entre políticas públicas, inovação empresarial e envolvimento da sociedade para que a digitalização industrial seja não apenas eficiente, mas também equitativa e sustentável.

Assim, a i5.0 não deve ser vista como "Indústria 4.0 + 1", mas como uma reorientação estratégica que procura equilibrar tecnologia, economia e impacto social. Em vez de uma revolução tecnológica, trata-se de uma evolução nos princípios que norteiam a indústria europeia, colocando o ser humano e o meio ambiente no centro das decisões tecnológicas.

REFERÊNCIAS

European Commission and Directorate-General for Research and Innovation, Maija Breque, Lars De Nul, and Athanasios Petridis. (2021). Industry 5.0 Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry. Publications Office. https://doi.org/10.2777/308407.

Maddikunta, Praveen Kumar Reddy, Quoc-Viet Pham, Prabadevi B, N Deepa, Kapal Dev, Thippa Reddy Gadekallu, Rukhsana Ruby, and Madhusanka Liyanage. (2022). 'Industry 5.0: A Survey on Enabling Technologies and Potential Applications'. Journal of Industrial Information Integration: 100257. https://doi.org/10.1016/J.JII.2021.100257.

ARTIGO Nº23461

AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE CAMPOS AGRÍCOLAS COM BASE EM *RASPBERRY PI* E ENERGIA SOLAR. CASO DE ESTUDO: CAMPOS AGRÍCOLAS DE MUNDAVENE, NO DISTRITO DE GOBA, NA PROVÍNCIA DE MAPUTO

Leila A. Mahumane[1(*)], Fernando H. Chachaia[2]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia- Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia- Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* leilamahumane56@gmail.com

RESUMO

Este projecto visa o desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado e sustentável para áreas agrícolas em Mundavene. A região enfrenta desafios de escassez de água, tornando a agricultura tradicional ineficiente e com desperdício de água. O sistema proposto utiliza *Raspberry Pi*, sensores de humidade do solo e energia solar para optimizar a irrigação, considerando as necessidades específicas de cada cultura. O modelo proposto neste trabalho é o uso de IoT (internet das coisas) na irrigação, realizando o monitoramento da humidade do solo e da previsão do tempo para decidir o melhor momento para irrigar, gerando economia de água e de recursos.

***Palavras-chave**:* Tecnologia, Agricultura, Irrigação, Automatização, Energia Solar.

INTRODUÇÃO

O distrito de Goba, em Mundavene, tem grande potencial agrícola, mas enfrenta desafios na gestão da água. A irrigação representa 20% da área produtiva global, sendo responsável por mais de 40% dos alimentos consumidos. Estima-se que a produção em áreas irrigadas seja 2,5 vezes maior que em áreas secas, o que destaca sua importância no contexto alimentar (KÖGLER; SÖFFKER, 2017, tradução nossa).

Este projecto visa criar um sistema de irrigação inteligente e automatizado para optimizar o uso da água e garantir a saúde das plantas. O controlo será feito por um *Raspberry Pi*, que tomará decisões baseadas em dados climáticos da internet e informações do solo obtidas por sensores de umidade. O objectivo é desenvolver uma tecnologia eficiente e acessível, aplicando os conceitos da Internet das Coisas (IoT), que envolve a interconexão de dispositivos para formar um sistema integrado (LEE; LEE, 2015, tradução nossa).

REFERÊNCIAS

KÖGLER, F.; SÖFFKER, D.. Water (stress) models and deficit irrigation: Systemtheoretical description and causality mapping. **Ecological Modelling**, [s.l.], v. 361, p.135-156, out. 2017. Elsevier BV.

LEE, In; LEE, Kyoochun. The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, [s.l.], v. 58, n. 4, p.431-440, jul. 2015. Elsevier BV.

ARTIGO Nº23505

INOVAÇÃO ALIMENTAR ATRAVÉS DA IMPRESSÃO 3D: NOVOS CAMINHOS PARA UMA ALIMENTAÇÃO PERSONALIZADA

Lígia Afreixo Silva[1], Jorge Lino Alves[2] (*)

[1]Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal;
[2]INEGI, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal
(*) *E-mail:* falves@fe.up.pt

RESUMO

De acordo com a ONU prevê-se que a população mundial aumente em 10,2 mil milhões de pessoas até 2100 sendo, por isso, essencial repensar os sistemas alimentares garantindo a sustentabilidade global. A escassez de recursos e as novas exigências nutricionais estão a impulsionar soluções como proteínas alternativas, novas culturas e tecnologias inovadoras. Este artigo apresenta uma reflexão crítica sobre o potencial da impressão 3D no setor alimentar, com foco na extrusão como tecnologia de fabrico aditivo aplicado ao desenvolvimento de produtos alimentares funcionais e personalizados, de acordo com as tendências de consumo emergentes, num conjunto de morfologias cromaticamente sinalizadas, incentivando o seu consumo. Através de uma revisão bibliográfica, sistematizam-se os principais desafios técnicos associados à impressão de pastas alimentares com diferentes propriedades reológicas, identificando-se a extrusão por sem-fim rotativo como a técnica mais adequada às necessidades do projeto em desenvolvimento. Destaca-se ainda o papel da impressão 3D na resposta a públicos específicos — como idosos com disfagia ou crianças com baixa aceitação de vegetais — e na reformulação nutricional através da incorporação e personalizção de ingredientes funcionais. O artigo enquadra-se na fase exploratória do projeto IDFOODS — Food System of The Future —, que visa o desenho de uma impressora alimentar e a conceção morfológica de novos alimentos impressos, abrindo caminho a futuras investigações e aplicações neste domínio emergente.

***Palavras-chave**:* food design; impressão 3D de alimentos; extrusão; desenvolvimento de produto; personalização alimentar; inovação alimentar; engenharia alimentar.

INTRODUÇÃO

De acordo com consulta à base de dados pubmed, o crescimento de publicações científicas com o título “3D food printing”, no período entre 2015 e 2024, foi superior a 1000% (Figura 1), evidenciando o aumento do interesse académico por esta tecnologia.

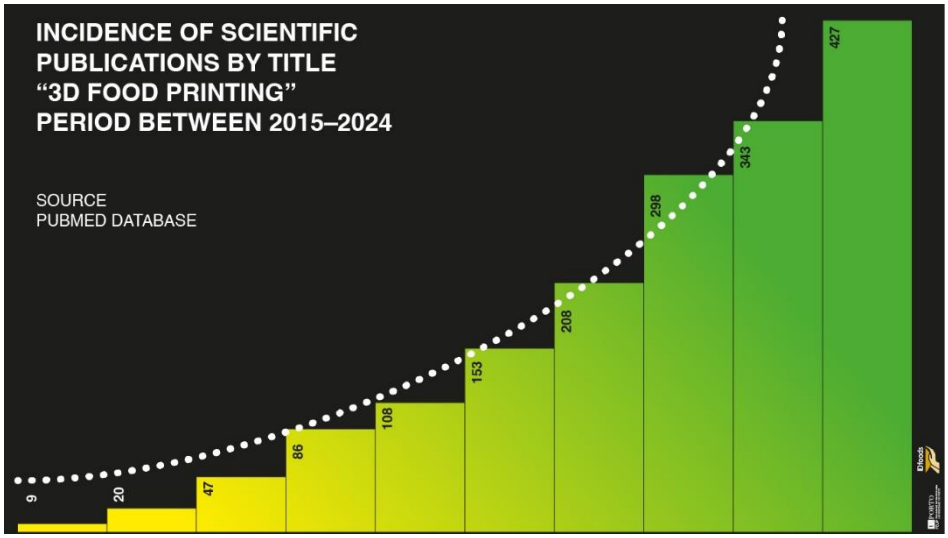


Fig. 1 – Crescimento de publicações científicas na área da impressão alimentar 3D (2015-2024) na base de dados pubmed (consulta realizada em Janeiro 2025). Infografia de Lígia Afreixo.

Paralelamente, o mercado de start-ups e empresas dedicadas à impressão alimentar 3D acompanha esta tendência, com uma previsão de crescimento anual médio de 35% entre 2023 e 2031, segundo dados das consultoras Grand View Research (2024), Data Bridge Market Research & Credence Research. Estes números reforçam a valorização crescente desta tecnologia tanto no meio científico como no setor industrial (Figura 2).

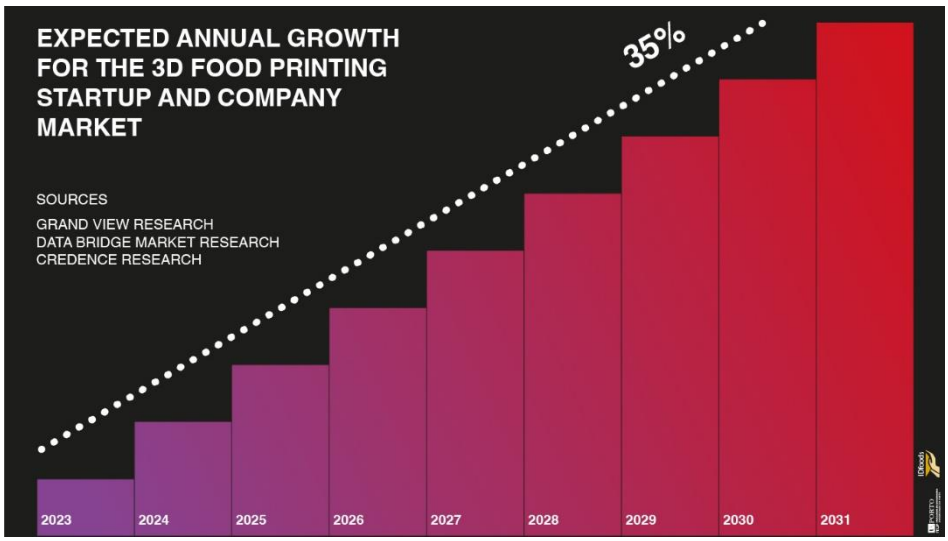


Fig. 2 – Expectativa de crescimento anual de start-ups de impressão alimentar 3D, entre 2023-2031 (consulta realizada em Janeiro 2025). Infografia de Lígia Afreixo.

Entre os países líderes neste ecossistema de inovação destacam-se as empresas localizadas nos Estados Unidos da América (Beehex), Israel (Stakeholder Foods), os Países Baixos (ByFlow), França (3Desserts) e Canadá (Devoray). Estas start-ups ilustram a diversidade de aplicações de impressão alimentar 3D, desde alimentos para missões espaciais, à mimetização celular para o

desenvolvimento de proteínas vegetais, passando por produtos de chocolate de precisão, pastelaria personalizada e formas efervescentes solúveis em bebidas («drink bombs»).

Este interesse empresarial reflete uma tendência mais ampla de consumo orientado para a personalização alimentar, com especial enfoque nas preferências individuais, necessidades nutricionais específicas e diferenciação de experiências sensoriais. Segundo relatórios da Euromonitor International (Tekutyte, Angus, e Grigorijevaite, 2024), os consumidores revelam uma procura crescente por produtos personalizados e funcionais, valorizando soluções preventivas que abordem questões de saúde específicas. Esta tendência alinha-se com as projeções de consumo alimentar para 2030, destacando-se conceitos como a alimentação enquanto "fármaco" e a nutrição personalizada (European Commission. Directorate General for Research and Innovation, 2023a).

Alguns dos principais documentos internacionais, como os da Food Safety Foresight Technical Meeting da FAO (2023) e o relatório da Comissão Europeia sobre Future Food Systems (European Commission. Directorate General for Research and Innovation, 2023b), já identificam a tecnologia de fabrico aditivo como uma abordagem inovadora e um processo relevante no desenvolvimento de novos produtos no contexto da investigação e desenvolvimento, como referem Derossi et al. (2024).

O fabrico aditivo de alimentos responde a esta procura ao permitir um controlo preciso sobre ingredientes, formas, textura, cor e sabor. Do ponto de vista técnico, a evolução dos *softwares* associados — nomeadamente o desenho das formas a imprimir, o *slicing* e a interface — tem sido determinante para a eficiência dos equipamentos e para a integração com tecnologias emergentes digitais, como a colaboração da Inteligência Artificial, permitindo a monitorização e ajustamentos em tempo real para um melhor controlo de qualidade, otimizando o processo de fabrico.

DESIGN COMO MEDIADOR

Para que esta sofisticação tecnológica se traduza em experiências significativas para o utilizador, será necessário considerar o papel do design — entendido como o desenho de artefactos, dispositivos e serviços de mediação cultural (Providência, 2012). O Design não intervirá apenas na configuração dos equipamentos, mas também na conceção e modelação dos alimentos a imprimir, com especial atenção à sua organolética (morfologia, textura, aroma sabor e comestibilidade). O Design atua como mediador entre a complexidade tecnológica e a sua apropriação humana, contribuindo para transformar processos técnicos em experiências sensoriais e culturais com significado. No projeto IDFOODS — *Food system of the future* —, o Design assume precisamente este papel de interface mediadora entre inovação e usabilidade.

Contudo, importa reconhecer o reverso desta valorização. A forma como a impressão 3D de alimentos tem sido frequentemente comunicada através de metáforas visuais — por exemplo imagens que simulam a impressão de uma maçã ou de outros frutos inteiros — pode distorcer a perceção social da tecnologia. Estas perceções criam expectativas irreais quanto às suas capacidades e finalidades, já que a replicação literal de frutas ou vegetais não corresponde nem aos objetivos da investigação científica, nem às aplicações práticas mais relevantes (Derossi et al., 2024). Este tipo de comunicação contribui para a associação da tecnologia a ideias de artificialidade, simulação ou manipulação, alimentando a suspeição do público e acentuando a clivagem simbólica entre o natural e o produzido — precisamente o oposto do que esta tecnologia pode representar em termos de funcionalidade, precisão e inovação alimentar.

Apesar destas representações desviantes, importa recentrar a atenção nas aplicações concretas e socialmente relevantes desta inovação. A tecnologia tem vindo a demonstrar aplicações relevantes no setor da saúde, particularmente no desenvolvimento de soluções alimentares para populações com necessidades específicas, como por exemplo os idosos sob disfagia (Raheem et al., 2021). Nestes casos, possibilita-se a reprodução de formas tipificadas de alimentos — como bifes ou legumes — compatíveis com texturas modificadas (ex. purés), preservando os sabores, ingredientes originais e nutrientes necessários (hidratos de carbono, lípidos e proteínas por deposição líquida ou em pós). A ênfase recai, sobretudo, na reconfiguração formal dos alimentos, reconhecendo o papel da perceção visual e da estimulação organolética na promoção do prazer e dignidade associados ao ato de comer. Neste contexto, o fabrico aditivo no setor alimentar tem vindo a ser explorado como estratégia promissora para incorporar ingredientes nutricionalmente relevantes, como o cogumelo shiitake, cuja riqueza proteica e presença de compostos bioativos o tornam especialmente adequado para a alimentação de populações idosas com necessidades alimentares específicas (Liu et al., 2021).

Esta abordagem pode ser igualmente relevante noutros segmentos populacionais com necessidades alimentares específicas. Também os produtos alimentares dirigidos ao público infantil podem beneficiar da aplicação desta tecnologia. As crianças apresentam, regra geral, uma baixa aceitação na preferência por vegetais, quando comparada com outros grupos de alimentos essenciais (como os lacticínios, proteínas animais e hidratos de carbono). Nesse sentido, o fabrico aditivo permite ensaiar morfologias e combinações de diferentes texturas à base de legumes (alternativas ao puré), facilitando a aceitação sensorial e promovendo uma alimentação mais diversificada, equilibrada e aberta à novidade.

DESAFIOS TÉCNICOS

Com base na revisão bibliográfica realizada, a técnica de extrusão por sem-fim rotativo revelou-se a mais adequada ao conjunto de requisitos identificados (ver Figura 3). Esta comparação teve por base critérios como a variabilidade e continuidade do fluxo, a adequação a diferentes níveis de viscosidade ou liquidez dos materiais, e as exigências de manutenção dos equipamentos. Na impressão por extrusão, os materiais macios são forçados através de um bocal, camada por camada. Apesar de frutas e hortícolas apresentarem dificuldades de impressão quando transformados em puré — devido às suas propriedades reológicas —, esta técnica continua a ser a mais adequada para a produção de alimentos funcionais com diferentes características físico-químicas.

Esta comparação de sistemas teve por base a avaliação de critérios como a variabilidade e continuidade do fluxo de impressão, a adequação a diferentes níveis de viscosidade ou liquidez dos materiais, bem como as exigências de manutenção dos equipamentos.

A revisão da literatura indica que existem poucos grupos de investigação focados no desenvolvimento de produtos nutricionalmente otimizados através da impressão 3D (Godoi, Sangeeta, e Bhandari 2016, as cited in Baiano, 2022), o que justifica a relevância e inovação deste projeto. Neste momento o projeto IDFOODS encontra-se na fase de conceção e prototipagem do equipamento, a par do desenvolvimento das pastas alimentícias. Seguir-se-á a fase 2 de prototipagem do modelo, validação dos resultados (fase 3) e demonstração numa superfície comercial (fase 4).

À medida que as exigências alimentares vão aumentando será fundamental adaptar os produtos alimentares, enriquecendo-os com ingredientes funcionais que não fazem parte da sua natural constituição — como é o caso das frutas e hortícolas — nomeadamente no que toca a

probióticos, proteínas ou peptídeos. A tecnologia de impressão alimentar 3D tem um grande potencial inovativo permitindo a construção tridimensional de diferentes formas e dimensões, num espectro de sabores à escolha e diversas composições nutricionais. Esta abordagem poderá aumentar o consumo de frutas e legumes através de novos produtos altamente personalizados, adaptados às condições e necessidades de cada indivíduo — como condição física, estado nutricional e necessidades energéticas. A reformulação de produtos comuns com maior valor nutricional, através da adição de proteínas, fibras ou ácidos gordos, ou a substituição de açúcares simples por adoçantes naturais, representa uma das principais oportunidades desta tecnologia (Tomašević et al. 2021).

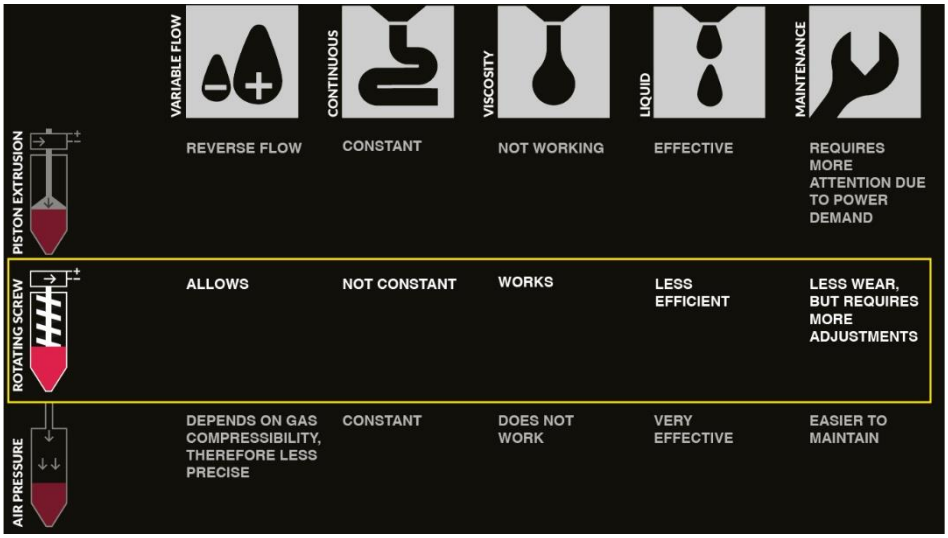


Figura 3 — Tabela comparativa e sistematizada dos diferentes sistemas de extrusão (extrusão por pistão, sem-fim rotativo e ar comprimido) e sua resposta técnica a cada uma das variantes tidas em consideração (fluxo variável, contínuo, viscosidade, líquido e manutenção). Infografia de Lígia Afreixo (Janeiro 2025).

Após revisão de literatura específica (Neamah e Tandio, 2024, Feng et al., 2025, Guo, Zhang, e Bhandari, 2019) foi possível sistematizar os principais atributos para o desenho e desenvolvimento de uma impressora alimentar destinada à impressão de pastas alimentares — alternativas às mais comuns de chocolate, açúcar ou amidos (Figura 4).

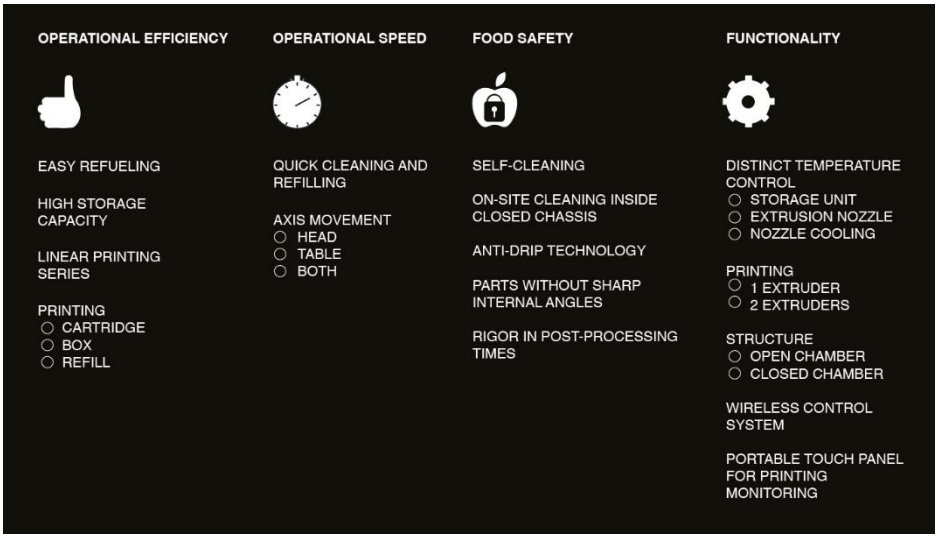


Figura 4 — Tabela sistematizada dos principais atributos tipológicos a considerar no desenvolvimento de um equipamento de extrusão 3D para pastas alimentares. Infografia de Lígia Afreixo (Janeiro 2025).

Procedeu-se igualmente à recolha de exemplos de impressoras alimentares 3D existentes, de acordo com o seu desenho e a tipologia de materiais de impressão (chocolate, pastas alimentares, açúcar), conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6.



Figura 5 — Seleção de equipamentos de impressão alimentar 3D. Lígia Afreixo (Janeiro 2025).



Figura 6 — Seleção de equipamentos de impressão alimentar 3D. Lígia Afreixo (Janeiro 2025).

O âmbito de atuação incluiu a análise de tecnologias atualmente disponíveis, a identificação dos principais desafios técnicos, bem como a otimização de formulações, de forma a potenciar os benefícios desta abordagem.

O projeto IDFOODS propõe-se desenvolver produtos nutricionalmente funcionais, alinhados com as tendências emergentes de consumo, explorando formas tridimensionais cromaticamente sinalizadas incentivando o seu consumo. Esta personalização alimentar baseia-se no desenho de produtos dirigidos a diferentes grupos etários, com recurso à tecnologia de impressão alimentar 3D (Afreixo e Alves, 2025).

O resultado material deste projeto será a impressão de gomas à base de fruta, dando uma segunda vida a excedentes ou rejeições do mercado (por exemplo, fruto com calibre fora do padrão comercial), personalizadas e funcionais, apresentadas numa coleção de formas apelativas e lúdicas.

PERSPETIVAS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A presente investigação, centrada na revisão do estado da arte sobre impressão alimentar 3D e nos requisitos técnicos para o desenvolvimento de uma extrusora adaptada a pastas alimentares funcionais, constitui um ponto de partida para a próxima etapa do projeto IDFOODS — um percurso que integra, de forma indissociável, o desenho do equipamento e o design dos produtos alimentares que este permitirá criar.

Este projeto assume um posicionamento estratégico e crítico perante os desafios alimentares contemporâneos, propondo novas formas de conceber e produzir alimentos que conciliem valor

nutricional, sustentabilidade e aceitação sensorial. A impressão alimentar 3D surge, assim, não apenas como uma tecnologia emergente, mas como uma ferramenta criativa e transformadora, capaz de responder a necessidades específicas de diferentes públicos — das crianças aos idosos, de pessoas com restrições alimentares a consumidores que valorizam personalização e inovação (Zhu et al., 2023).

Ao abrir caminho para novas morfologias alimentares, novas texturas e composições nutricionais ajustadas, o projeto IDFOODS propõe-se a repensar o próprio ato de alimentar, através de um cruzamento entre ciência, tecnologia e design. Neste sentido, mais do que apresentar conclusões definitivas, este artigo pretende lançar as bases de uma prática investigativa e projetual que continuará a ser explorada nas fases seguintes do projeto, com a ambição de contribuir para um futuro alimentar mais inclusivo, saudável e imaginativo.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto IDfoods — Food System of The Future — Investigação e Desenvolvimento em Sistemas Agroalimentares Sustentáveis e Nutrição Saudável, com o nº 182848, cofinanciado pelo Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020), através de fundos nacionais."

REFERÊNCIAS

Afreixo L, Alves JL. Personalization and smart nutrition: the potential of 3D printing in food production. Conferência Internacional food 4 thought; 2025 abr 2; Santa Maria da Feira.

Afreixo L, Alves JL. Proteínas alternativas no futuro da alimentação. Revista ialimentar. Abril de 2025;(16):40–3.

Alves JL, Bastos A, Relvas C, Santana L, Terroso M, Silva F, et al. Impressão 3D Tecnologias, Materiais e Aplicações. Publindústria Edições Técnicas; 2023.

3D Food Printing Market Size, Share & Trends Analysis Report ByComponent (Hardware, Software), By Technology (Extrusion-based Printing, Binder Printing), By Ingredient (Confectionery, Dough), By End-use, By Region, And Segment Forecasts, 2024 - 2030. Grand View Research; 2024. Report No.: GVR-4-68040-309-7.

Derossi A, Spence C, Corradini MG, Jekle M, Fahmy AR, Caporizzi R, et al. Personalized, digitally designed 3D printed food towards the reshaping of food manufacturing and consumption. npj Sci Food. 21 de agosto de 2024;8(1):54.

European Commission. Directorate General for Research and Innovation. Food 2030: pathways for action 2.0 : R&I policy as a driver for sustainable, healthy, climate resilient and inclusive food systems. [Internet]. LU: Publications Office; 2023 [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: https://data.europa.eu/doi/10.2777/365011.

Feng M, Zhang M, Bhandari B, Li C, Mujumdar AS. Utilizing 3D printing to create sustainable novel food products with innovative ingredients. Innovative Food Science & Emerging Technologies. janeiro de 2025;99:103873.

Ferreira IA, Alves JL. Low-cost 3D food printing. Ciência e Tecnologia dos Materiais — Special Issue «Materiais 2015». 2017;29:265–9.

Food Safety Foresight Technical Meeting [Internet]. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); 2023 nov [citado 6 de maio de 2025]. (FAO, ed. Food Safety Foresight Technical Meeting on New Food Sources and Production Systems). Disponível em: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e58778f3-b3b9-49ed-95d3-6c932016ff14/content

Godoi FC, Prakash S, Bhandari BR. 3d printing technologies applied for food design: Status and prospects. Journal of Food Engineering. junho de 2016;179:44–54.

Guo CF, Zhang M, Bhandari B. A comparative study between syringe-based and screw-based 3D food printers by computational simulation. Computers and Electronics in Agriculture. julho de 2019;162:397–404.

Liu Z, Bhandari B, Guo C, Zheng W, Cao S, Lu H, et al. 3D Printing of Shiitake Mushroom Incorporated with Gums as Dysphagia Diet. Foods. 15 de setembro de 2021;10(9):2189.

Neamah HA, Tandio J. Towards the development of foods 3D printer: Trends and technologies for foods printing. Heliyon. julho de 2024;10(13):e33882.

Providência F. Poeta ou aquele que faz: a poética como inovação em design. Universidade de Aveiro; 2012.

Raheem D, Carrascosa C, Ramos F, Saraiva A, Raposo A. Texture-Modified Food for Dysphagic Patients: A Comprehensive Review. IJERPH. 12 de maio de 2021;18(10):5125.

Tekutyte E, Angus A, Grigorijevaite K. Did We Get it Right? Global Consumer Trends 2024 and What's Next for 2025 [Internet]. Euromonitor International. 2024 [citado 7 de maio de 2025]. Disponível em: https://www.euromonitor.com/article/did-we-get-it-right-global-consumer-trends-2024-and-whats-next-for-2025?utm_source=chatgpt.com

Tomašević I, Putnik P, Valjak F, Pavlić B, Šojić B, Bebek Markovinović A, et al. 3D printing as novel tool for fruit-based functional food production. Current Opinion in Food Science. outubro de 2021;41:138–45.

Zhu W, Iskandar MM, Baeghbali V, Kubow S. Three-Dimensional Printing of Foods: A Critical Review of the Present State in Healthcare Applications, and Potential Risks and Benefits. Foods. 1 de setembro de 2023;12(17):3287.

ARTIGO Nº23509

PROJECTO REMAIN: DETECÇÃO DE DEFEITOS EM SAPATOS PARA REMANUFATURA ROBÓTICA

Helder Araújo[1(*)], Eva Curto[1]

[1]Instituto de Sistemas e Robótica, DEEC, Polo II, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal
[(*)]*Email:* helder@isr.uc.pt

RESUMO

O tecido industrial pertencente a sectores tradicionalmente transformadores é caracterizado por ser constituído por pequenas e médias empresas com um baixo nível tecnológico nos seus processos de produção. Estes sectores são responsáveis pelo fabrico de uma variedade de produtos de uso corrente com um ciclo de vida curto, quer porque a aquisição de um novo produto tem um custo relativamente baixo, quer devido a dificuldades de reparação ou renovação. Tudo isto resulta numa enorme quantidade de resíduos descartados de forma incorrecta. Um dos produtos que gera uma quantidade muito elevada de resíduos descartados são os sapatos. Neste artigo discutem-se soluções para a detecção e classificação de defeitos em sapatos usados de modo a permitir a sua remanufactura.

***Palavras-chave**:* detecção de defeitos, visão por computador, métodos de classificação, defeitos em sapatos.

INTRODUÇÃO

A detecção de defeitos é essencial para permitir a escolha de sapatos com defeitos que podem ser remanufaturados, e, portanto reintroduzidos no mercado. Neste artigo descrevem-se soluções, baseadas em Visão por Computador que permitem determinar e classificar defeitos em sapatos descartados. Em particular analisa-se a detecção de fissuras, separação de solas, e arranhões na superfície dos sapatos.

As aproximações desenvolvidas baseiam-se na utilização de imagens RGB. Para a detecção dos sapatos nas imagens usou-se inicialmente o YOLOv8 (Redmon, 2016). A aplicação deste método gera rectângulos que delimitam as regiões da imagem que contêm sapatos (Fig. 1).



Fig. 1

Após a detecção dos sapatos faz-se a sua segmentação usando SAM2 (Ravi, 2024) (Fig. 2).



Fig. 2

Depois da segmentação é feita a detecção de defeitos. Para a classificação de defeitos foi testado e avaliado um ViT (“Vision Transformer”) (Dosovitskiy, 2020).

Neste artigo descrevem-se os resultados obtidos para a detecção e classificação dos defeitos em sapatos, usando imagens RGB, com particular ênfase na detecção de detecção de fissuras, separação de solas, e arranhões na superfície dos sapatos. Faz-se também a descrição do sistema experimental e laboratorial desenvolvido para avaliação das soluções testadas.

SISTEMA LABORATORIAL

O sistema laboratorial para aquisição e teste de imagens é composto por uma mesa cujo tampo é preto, sendo as imagens adquiridas por um conjunto de quatro câmaras Orbbec Femto Bolt [Orbbec] sincronizadas.

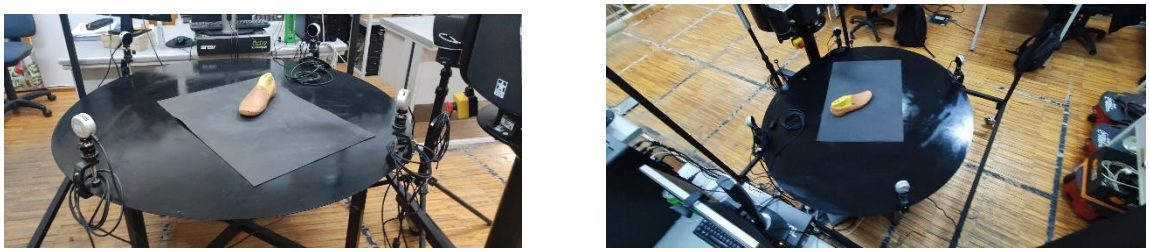


Fig. 3—Imagens do “setup” laboratorial

As câmaras Orbbec Femto Bolt permitem adquirir imagens com uma resolução RGB de 3840x2160 e imagens de profundidade com uma resolução de 1024x1024 a uma distância mínima de 25 cms, o que se revelou importante nesta aplicação—Fig. 4. Na sua corrente configuração o sistema adquire 4 imagens RGB e de profundidade, a partir de 4 posições diferentes, de cada sapato. Actualmente apenas as imagens RGB estão a ser usadas para se fazer a detecção e classificação dos defeitos. A detecção de defeitos com base na detecção feita pelo YOLOv8, segmentação com SAM2 e classificação com ViT requer a existência de um conjunto de treino com muitos exemplos de cada defeito, com as imagens devidamente etiquetadas com o tipo de defeito e sua localização. Tal requisito tem um nível de exigência muito elevado em termos de recursos humanos.



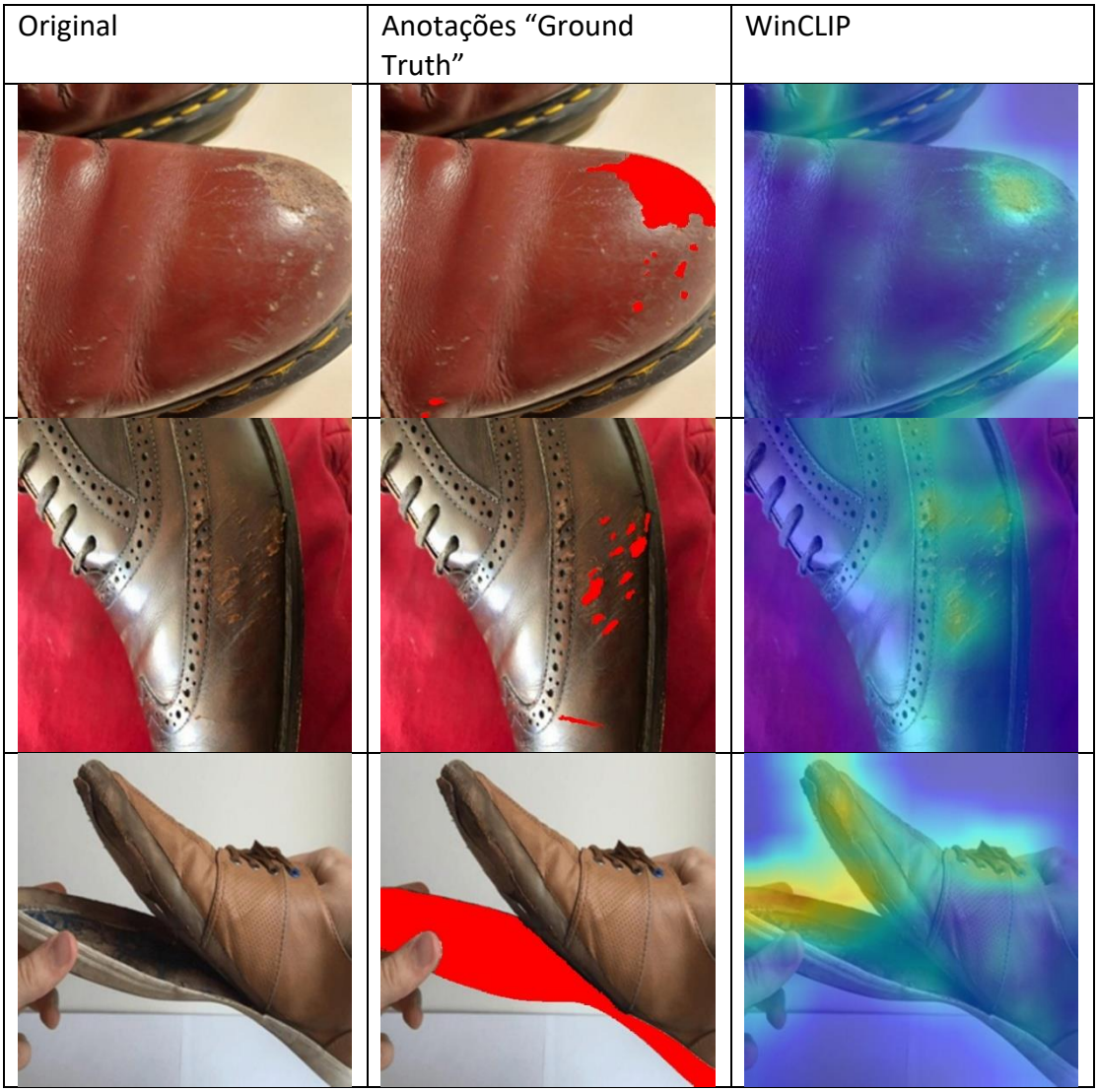
Fig. 4—Imagem RGB (à esquerda) e de profundidade adquirida pela Femto Bolt

DETECÇÃO E CLASSIFICAÇÃO COM MÉTODOS "ZERO-SHOT"

Uma alternativa à utilização de métodos que requerem conjuntos de teste etiquetados com muitos exemplos é a utilização de métodos ditos "zero-shot". No caso da detecção de anomalias ou defeitos, existem vários métodos na literatura que se decidiu avaliar. Um dos métodos possíveis é o descrito em (Cao, 2025). Uma aproximação usual destes métodos consiste em considerar imagens com "anomalias", inerentemente definidas relativamente a imagens "normais", relativamente às categorias em causa. Sendo assim, a detecção de defeitos ou anomalias, sem imagens de referência que descrevam o contexto "normal", é ainda difícil. Neste artigo introduz-se uma solução que se baseia na existência de padrões ("standards") normalizados de produtos para caracterizar contextos "normais" assim como os potenciais estados "anormais". Nesta aproximação tira-se partido de modelos de visão-linguagem (VLMs) pré-treinados generalizados para interpretar os "standards" e detectar anomalias. Uma outra alternativa é descrita no artigo (Park, 2025). A proposta do método descrito neste artigo é a de se usar "prompts" baseados em imagens, dado que a segmentação de anomalias baseada em "prompts" textuais têm limitações por se basearem em "prompts" fixos. Para isso o método proposto baseia-se na geração de "prompts" dependentes do contexto e dinâmicos. Para isso o método usa um modelo que etiquetagem da imagem e um LLM ("Large Language Model"). O método de etiquetagem extrai atributos dos objectos das imagens para gerar "prompts" dependentes do contexto. É assim possível melhorar a adaptabilidade e a generalização em ambientes industriais dinâmicos e não-estruturados. Uma outra possibilidade é a de se aplicar a aproximação descrita em (Jeong, 2023). O método descrito neste artigo baseia-se no CLIP, que é um modelo desenvolvido pela OpenAI, que associa imagens e texto. Este modelo aprende a compreender e a associar conteúdo visual a linguagem natural. CLIP parte de uma imagem e de uma descrição textual e aprende a mapeá-las no mesmo espaço embebido, de modo a que pares relacionados tenham a mesma representação. CLIP consiste essencialmente em duas redes neuronais, um codificador de imagem (que converte uma imagem num vector) e codificador de texto (que transforma a descrição textual num vector). Ambos os vectores são representados no mesmo espaço e CLIP é treinado para os aproximar se eles se correspondem e a afastá-los no caso contrário. No entanto a utilização do CLIP para a detecção de anomalias não tem um desempenho aceitável. Neste artigo propõe-se um método designado por WinCLIP que é baseado em janelas. Para a detecção de anomalias é necessária uma classificação ao nível do pixel e não é trivial extrair caraterísticas visuais densas e alinhadas com linguagem para a segmentação de anomalias para segmentação "zero-shot". Para isso no método propõe-se um novo CLIP baseado em janelas (WinCLIP), que extrai e agrega caraterísticas multi-escala, assegurando simultaneamente o alinhamento visão-linguagem. Para tirar partido de imagens

"normais" disponíveis geralmente em cenários "few-shot", o método agrega informações complementares do WinCLIP e indicadores visuais das imagens de referência "normais". Este modelo não requer qualquer afinação para casos individuais, e a configuração de poucos "normais" não utiliza qualquer anotação de segmentação. Atendendo à versatilidade do método decidiu-se aplicado ao problema da detecção de anomalias em sapatos.

Resultados preliminares com o WinCLIP são apresentados na Fig. 5. As anomalias consideradas nestes exemplos são a separação de solas e a detecção de arranhões. Para a avaliação dos resultados é necessário a geração de anotações "Ground Truth". Sem a existência dessas anotações não é possível caracterizar quantitativamente o desempenho dos métodos utilizados na detecção e classificação de anomalias. Neste momento existem apenas resultados preliminares pelo que apenas se apresentam resultados qualitativos.



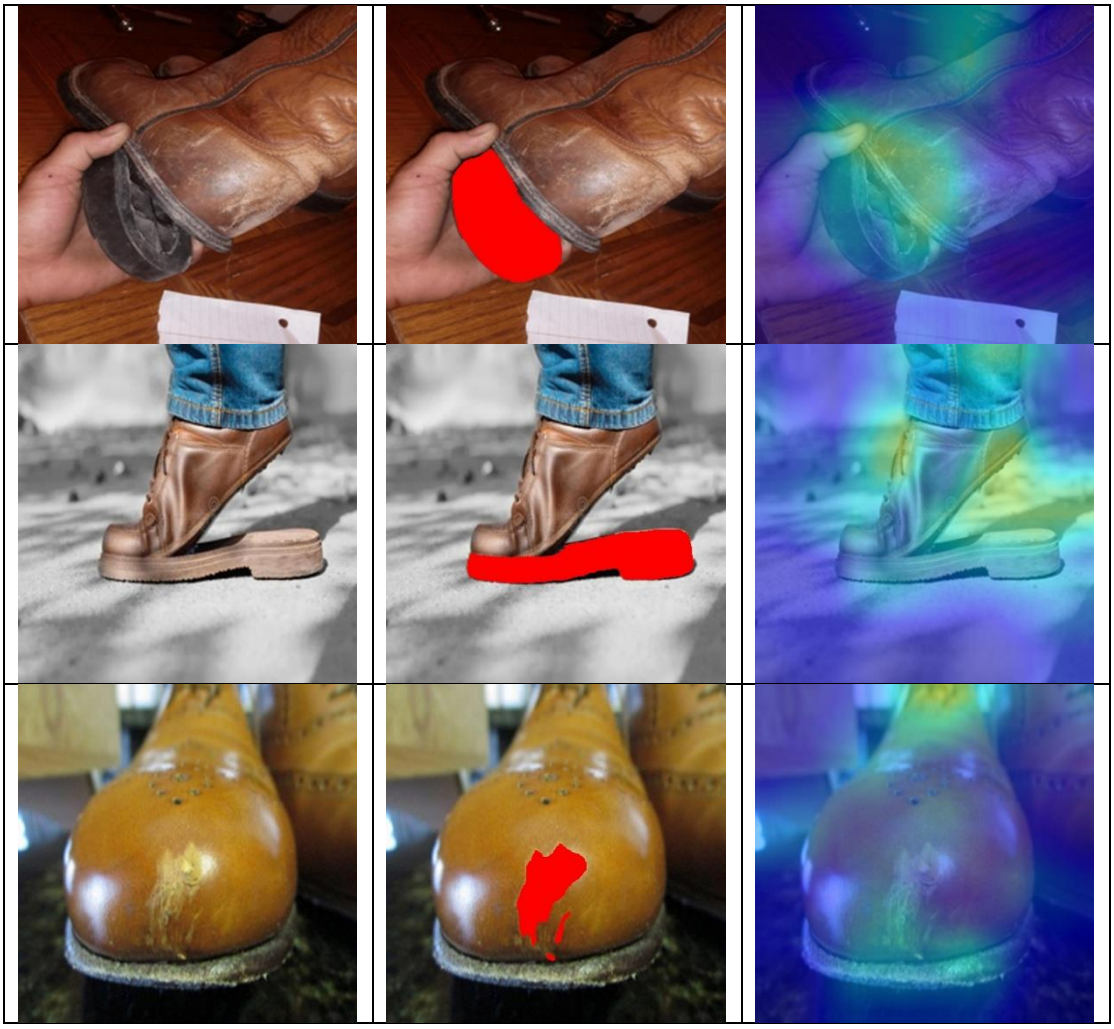


Fig. 5—Resultados da detecção de anomalias com o WinCLIP

CONCLUSÕES

Este artigo apresenta os resultados obtidos até ao presente, relativos ao desenvolvimento de um sistema de detecção, classificação e localização de defeitos em sapatos. O objectivo é o de decidir quais são os sapatos que podem ser remanufaturados e reintroduzidos no mercado. Para isso foi desenvolvida uma plataforma quer permite a aquisição de vários tipos de imagens dos sapatos e com várias orientações. Para a detecção e classificação dos defeitos estão a ser usados modelos de "deep learning", cujo teste e avaliação estão a ser feitos. Este sistema está a ser desenvolvido no âmbito do projecto "REMAIN - Robotic REMAnufacturing of deformable INdustrial Products", financiado no âmbito do Interreg-Sudoe, que é liderado pelo INESCOP, Centro Tecnológico do Calçado, fazendo parte do consórcio a Federação Espanhola das Indústrias do Calçado (FICE), a Câmara de Comércio AIDA-CCI (Portugal), as Universidades de Alicante, de Clermont Auvergne INP, Coimbra e Saragoça, bem com as empresas Automatic Control Numerical SL e SMA-RTY (França) e Associação Social Proyecto Lázaro España.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do projecto REMAIN (projecto S1/1.1/E0111), financiado pelo Interreg-VI Sudoe e Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) assim como o apoio concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, através do financiamento FCT atribuído à instituição "INSTITUTO DE SISTEMAS E ROBÓTICA - ISR - COIMBRA" com a referência UIDB/00048/2020, DOI 10.54499/UIDB/00048/2020.

REFERÊNCIAS

Redmon, J., Divvala, S., R. Girshick, R., Farhadi , A., "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Las Vegas, NV, USA, 2016.

Ravi, N., Gabeur, V., Hu, Y. T., Hu, R., Ryali, C., Ma, T., ... & Feichtenhofer, C. (2024). Sam 2: Segment anything in images and videos. arXiv preprint arXiv:2408.00714.

Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., ... & Houlsby, N. (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. arXiv preprint arXiv:2010.11929.

Orbbec, https://www.orbbec.com/products/tof-camera/femto-bolt/.

Y. Cao *et al.*, "Personalizing Vision-Language Models With Hybrid Prompts for Zero-Shot Anomaly Detection," in *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 55, no. 4, pp. 1917-1929, April 2025, doi: 10.1109/TCYB.2025.3536165.

Park, S. *et al.* (2025). Zero-Shot Industrial Anomaly Segmentation with Image-Aware Prompt Generation. In: Wu, X., *et al.* Advances in Knowledge Discovery and Data Mining . PAKDD 2025. Lecture Notes in Computer Science(), vol 15874. Springer, Singapore.

Jeong, Jongheon, et al. "Winclip: Zero-/few-shot anomaly classification and segmentation." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2023.

LabelMe, http://labelme.csail.mit.edu/Release3.0/

ARTIGO Nº23527

MELHORAMENTO DA EFICIÊNCIA DOS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NAS DIVERSAS INDÚSTRIAS A NÍVEL DA CIDADE DE MAPUTO COM RECURSO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E O SCADA

Samuel Fibione Jofrisse Júnior 1(*), Zacarias Fernando Nharongue Secane 2 (**)

[1] EDF Moçambique SU, SA; UEM-FE
[2] Matola Gas Company, SA; UEM-FE
Email: (*) samuelfibione@hotmail.com; (**) zsecane@gmail.com

RESUMO

Objectivo do presente trabalho é melhorar a eficiência da utilização dos Transformadores de Potência na rede de distribuição a nível da Cidade de Maputo com recurso a tecnologias emergentes, i.e., a Inteligência Artificial e o Controlo Supervisório e Aquisição de Dados (SCADA). Para a selecção e instalação de qualquer Transformador de Potência, há um processo complexo de dimensionamento da instalação que será alimentada pelo transformador. Aspectos como a previsão ou o levantamento das cargas, dimensionamento das protecções e dos cabos, e as manutenções que os transformadores requerem para um óptimo funcionamento e desempenho serão discutidos. Apresenta-se, também, a Inteligência Artificial para análise de dados, e o SCADA para controlo e supervisão, assim como a colecta de dados. Resultados de dados colhidos por meio de inquéritos feitos a consumidores industriais da Cidade de Maputo, de forma anónima, serão apresentados e discutidos do ponto de vista do regulamentado pelas entidades competentes e das boas práticas de Engenharia. E por último, se propõe a utilização de sensores para de forma ininterrupta monitorar-se, em tempo-real, o nível e/ou a qualidade do óleo, carregamento e temperatura, as buchas, descargas parciais, monitoramento acústico, resistência ôhmica, as protecções e o desgaste dos cabos, resistência de aterramento, os parâmetros do primário e do secundário do transformador. As tendências das variáveis de referência serão armazenadas no centro de controlo e analisadas pela Inteligência Artificial para se determinar padrões e comportamentos para fins de agendar-se manutenções preventivas de forma automática. Portanto, fazendo-se jus a Inteligência Artificial e o SCADA propõe se um monitoramento automatizado contínuo, possibilitando a configuração de variados parâmetros de referência, para servirem de alerta automático quando for registado algum valor fora do padrão operacional.

***Palavras-chave**:* Transformadores, Eficiência de Transformadores, Inteligência Artificial, SCADA.

INTRODUÇÃO

Nos sistemas de produção, transporte e distribuição da energia eléctrica os transformadores desempenham um papel preponderante para que se tenha um transporte eficiente. A presente proposta de engenharia visa propor um sistema de monitoramento contínuo capaz de antever possíveis avarias antes mesmo que estas ocorram, e permitir que as equipas técnicas intervenham de forma planeada, minimizando desta forma os custos de manutenção e perdas por inactividade. Para se possibilitar esta façanha propõe-se a utilização do SCADA para colectar os valores das variáveis principais dos transformadores para uma base de dados, estação mestre do sistema, e posteriormente estes valores são submetidos junto do Agente AI já treinado, para predizer o estado geral do funcionamento do sistema, se alguma anomalia for detectada um alerta é imediatamente gerado. Este estudo foi motivado pela existência de transformadores em Maputo Cidade, neste exacto momento em funcionamento, que distam em alguns aspectos às recomendações promulgadas pelas instituições competentes, alguns destes aspectos são: a escolha adequada do local a instalar o transformador, garantindo o espaço, a ventilação; acessibilidade adequada para a manutenção; conformidade com as normas de segurança e os códigos eléctricos; os métodos de isolamento (a óleo ou a seco); estabilidade da fundação. Não obstante, as principais normas são apresentadas e com estas os potenciais locais a serem instalados os dispositivos de medição e controle.

TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

O funcionamento do transformador de potência baseia-se no princípio de indução descoberto por Faraday em 1831. Faraday descobriu que quando um fluxo magnético variável se estabelece em um circuito, é induzida uma tensão ou força electromotriz (f.e.m.) no circuito. A tensão induzida é directamente proporcional ao número de espiras e a taxa de variação do fluxo magnético.

Os transformadores de potência são dispositivos que transferem energia de um circuito para outro através de um campo magnético comum. Em todos os casos, excepto nos autotransformadores, não existe ligação eléctrica directa de um circuito ao outro (Harlow, 2012). Por outro lado, os transformadores de potência são dispositivos eléctricos que mudam ou transformam o nível de tensão entre dois ou mais circuitos. Neste processo, os valores das correntes também são transformados (Vecchio et al., 2010). O transformador consiste em duas ou mais bobinas de fio enroladas em torno de um núcleo ferromagnético comum. Essas bobinas (geralmente) não estão conectadas diretamente entre si. A única conexão entre as bobinas é o fluxo magnético comum presente dentro do núcleo (Chapman, 2013).

O transformador é usado em três principais aplicações: transmissão de energia da rede eléctrica, que envolve o aumento ou a diminuição da tensão num circuito corrente alternada com uma diminuição ou um aumento correspondente da corrente, transmissão de sinais com casamento de impedâncias para máxima transferência de potência, e em electrónica de potência, para conversão e controlo de energia (Hurley & Wolfle, 2013).

Transformador ideal

Dada a complexidade dos transformadores reais, estude-se o transformador ideal monofásico, em jeito introdutório. A Figura 1 representa o transformador ideal, numa situação do transformador em vazio (sem carga).

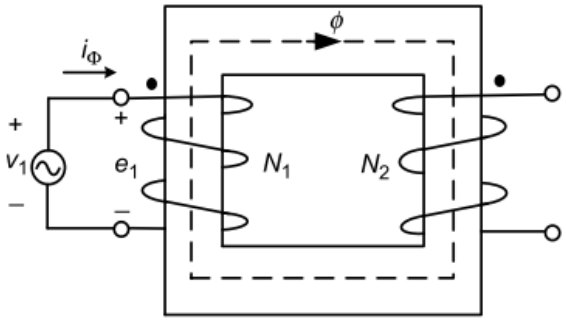


Fig. 1 – Transformador ideal monofásico em vazio (Hurley & Wolfle, 2013).

Onde: N_1 *e* N_2 são o número de espiras no primário e no secundário, respectivamente;

V_1 *e* e_1 são a tensão da fonte sinusoidal e a tensão induzida no enrolamento primário, respectivamente.

i_Φ *e* ϕ são a corrente de excitação e/ou magnetizante e o fluxo magnético no núcleo, respectivamente.

Pela lei de Ámpere e lei de Faraday, temos as seguintes relações básicas da corrente no primário e o fluxo no núcleo:

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \tag{1}$$

A tensão e_1 é uma tensão que se opõe a tensão v_1, pela lei de Lenz. Portanto, pela segunda lei de Kirchoff, tem-se que:

$$e_1 = v_1 \tag{2}$$

Tendo em conta que a excitação do transformador é do tipo sinusoidal, com uma frequência $\omega = 2\pi f$e um fluxo máximo $\phi_{máx}$, tem-se que:

$$\phi(t) = \phi_{máx} sen(\omega t) \tag{3}$$

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} = N_1 \frac{d}{dt}[\phi_{máx} sen(\omega t)] = \omega N_1 \phi_{máx} cos(\omega t) \tag{4}$$

A equação 4 pode ser escrita termos da função seno, desta forma

$$e_1 = \omega N_1 \phi_{máx} sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \tag{5}$$

Mostrando claramente que o fluxo está atrasado 90º em relação a tensão aplicada.

Portanto, da equação pode-se extrair a força electromotriz (tensão máxima) e rescrevendo ao fluxo máximo em termos da densidade do fluxo magnético ($B_{máx}$) e a área de secção transversal do núcleo (A_{trans}), chega-se a seguinte relação:

$$E_{1rms} = \frac{E_{máx}}{\sqrt{2}} = \frac{\omega N_1 \phi_{máx}}{\sqrt{2}} = \frac{2\pi f N_1 B_{máx} A_{trans}}{\sqrt{2}} = 4.44 f N_1 B_{máx} A_{trans} \quad (6)$$

Deste modo, chegou-se a relação do transformador para uma excitação sinusoidal

$$V_{1rms} = 4.44 f N_1 B_{máx} A_{trans} \quad (7)$$

Ao se aplicar uma carga no secundário do transformador, o enrolamento de N_2 espiras será percorrido por uma corrente i_2, devido à ocorrência no secundário do transformador do processo inverso do primário do transformador. A Figura 2 apresenta um transformador ideal em carga

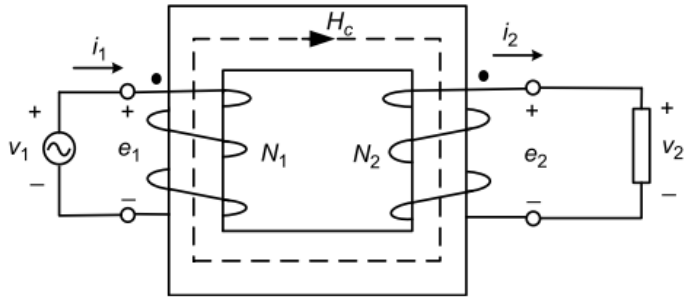


Fig. 2 – Transformador ideal em carga (Hurley & Wolfle, 2013).

Portanto, no secundário do transformador pode se derivar a equação

$$e_2 = v_2 = N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (8)$$

Dado que nas equações (1) e (8), a $\frac{d\phi}{dt}$ a mesma grandeza, chegamos a seguinte relação

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (9)$$

Onde a é a razão de transformação.

Manipulando o primeiro termo da equação (8), chega-se a relação (9) das tensões no transformador

$$\frac{V_{1rms}}{V_{2rms}} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (9)$$

A lei de Ampère determina que a soma integral da intensidade do campo magnético em torno de um circuito fechado que liga os enrolamentos primário e secundário é igual à Força Magneto-Motriz líquida (Hurley & Wolfle, 2013). Desta feita, percorrendo o núcleo do transformador representado na Figura 2, obtém-se a seguinte equação

$$H_{núcleo} l_{núcleo} = N_1 \hat{I}_1 - N_2 \hat{I}_2 \quad (10)$$

Onde: $l_{núcleo}$ é comprimento do núcleo.

O sinal negativo de $N_2 I_2$ é devido ao sentido oposto da corrente no enrolamento secundário em relação ao fluxo ϕ pela convenção da regra do parafuso da mão direita.

Tendo como base as relações de densidade de campo ($B_{núcleo}$) e intensidade de campo ($H_{núcleo}$) dentro do núcleo, e do fluxo magnético, expressas a seguir:

$$B_{núcleo} = \mu_r \mu_0 H_{núcleo} \quad \text{e} \quad \phi = B_{núcleo} A_{trans} \tag{11}$$

E por outro lado, assumindo que por se tratar de um transformador ideal, a resistência dos enrolamentos é desprezível e as perdas no núcleo são nulas ($\sigma_{núcleo} \to 0$) e a permeabilidade magnética relativa é infinita ($\mu_r \to \infty$). Permeabilidade magnética infinita pode ser traduzido como relutância magnética desprezível no núcleo, que por seu turno leva a concluir que a f.e.m. necessária para estabelecer o fluxo é relativa pequena. E, portanto, se no enrolamento secundário gera-se uma f.e.m. ($N_2 I_2$) devido à carga, então ela deve ser contraposta pela f.e.m. ($N_1 I_1$) gerada no primário (Hurley & Wolfle, 2013; Umans, 2014). Desta feita, a equação 10 passa a ter a seguinte forma

$$N_1 \hat{I}_1 = N_2 \hat{I}_2 \tag{12}$$

A Figura 3 mosta apresenta um circuito eléctrico equivalente a um transformador ideal. Por convenção os dois pontos pretos indicam o início dos enrolamentos da bobina do primário e do secundário.

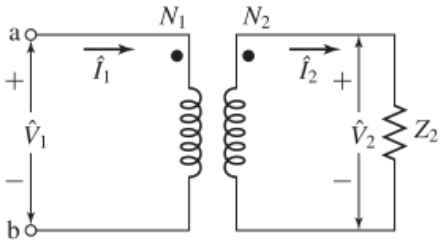


Fig. 3 – Transformador ideal dois enrolamentos e núcleo de ar (Umans, 2014).

Transformador real

Até agora, idealizamos o transformador para simplificar sua análise. No entanto, em um transformador prático, de acordo com Umans (2014), os seguintes factores devem ser considerados:

- Corrente de magnetização e perda no núcleo;
- Resistência do enrolamento;
- Capacitâncias dos enrolamentos (nos casos em que os transformadores são usados acima da faixa de áudio)
- Fluxo de fuga magnética.

a) Princípio de funcionamento

O fluxo total do enrolamento primário pode ser dividido em duas partes: o fluxo mútuo (encontrado no núcleo de ferro) e o fluxo disperso do primário[1]. No enrolamento primário, o fluxo disperso induz uma tensão que se soma àquela produzida pelo fluxo mútuo. Como a maior parte do caminho do fluxo disperso está no ar, esse fluxo e a tensão induzida por ele variam linearmente com a corrente $\hat{I}_1$ do primário. Portanto, pode ser representado por uma indutância de dispersão do primário (Gonen, 2014; Grigsby, 2017; J. D. McDonald, 2016). A correspondente reactância de dispersão de primário é dada é dada pela equação

$$X = 2\pi f L_{I_1} \tag{13}$$

Uma queda de tensão $\hat{I}_1 R_1$, regista-se devido a resistência do enrolamento primário R_1.

A componente de excitação $\hat{I}_\phi$ é definida como uma corrente necessária para produzir o fluxo mútuo resultante. A componente de carga $\hat{I}'_2$ é definida como uma componente da corrente do primário que contrabalança exactamente a f.m.m. da corrente do secundário $\hat{I}'_2$. Matematicamente, a explanação anterior é descrita pela equação (14), a seguir:

$$N_1 \hat{I}_\phi = N_1 \hat{I}_1 - N_2 \hat{I}_2 \rightarrow N_1 \hat{I}_\phi = N_1 (\hat{I}_\phi + \hat{I}'_2) - N_2 \hat{I}_2 \tag{14}$$

Desta equação resulta

$$\hat{I}'_2 = \frac{N_2}{N_1} \hat{I}_2 \tag{15}$$

Esta equação pode ser interpretada como: a corrente de carga reflectida no primário é igual à corrente do secundário, como no transformador ideal (López-Fernández et al., 2013; Wai-Kai Chen, 2004).
A corrente de excitação, pode ser tratada como uma corrente senoidal, podendo ser decomposta em uma componente de perdas no núcleo $\hat{I}_c$ em fase com a tensão $\hat{E}_1$, e em uma componente de magnetização $\hat{I}_m$ desfasada 90º em relação à tensão $\hat{E}_1$. A corrente de excitação senoidal percorre um ramo em derivação conectado à $\hat{E}_1$ (Umans, 2014). O ramo é composto por uma resistência de perdas no núcleo R_C em paralelo com uma indutância de magnetização L_m cuja reactância, conhecida como reactância de magnetização, é dada por

$$X_m = 2\pi f L_m \tag{16}$$

Esta associação em paralelo, de R_C e X_m, resulta em uma impedância conhecida como impedância de magnetização Z_ϕ, e o ramo no qual figuram denomina-se ramos de excitação. Em um transformador ideal as perdas no núcleo[2], devido ao fluxo mútuo resultante, são dadas pela potência

[1] Em um transformador real, com enrolamentos entrelaçados, os detalhes da distribuição de fluxo são mais complicados, mas as características essenciais permanecem as mesmas.

[2] Assume que R_C é constante, e desde modo que as perdas no núcleo variam proporcionalmente a ${E_1}^2$. Embora a reactância de magnetização X_m varia com a saturação do ferro. Para efeitos de análise, frequentemente assume-se que X_m também é constante, pressupondo que a corrente de magnetização é independente da frequência e proporcional ao fluxo mútuo resultante. Na prática R_C e X_m são determinados com os valores nominais de tensão e frequência. Supondo-se deste modo que permanecerão constantes em face a pequenas variações (Hurley & Wolfle, 2013; Umans, 2014).

$$P_{perdas\ no\ núcleo} = \frac{{E_1}^2}{R_C} \tag{17}$$

No caso do enrolamento secundário, o fluxo mútuo resultante induz uma f.e.m. $\hat{E}_2$ no secundário. Como esse fluxo envolve ambos os enrolamentos, a razão entre as f.e.m. induzidas deve ser igual à relação de espiras dos enrolamentos, isto é, exactamente como em um transformador ideal. Entretanto, como visto no caso do enrolamento primário, a f.e.m. $\hat{E}_2$ não é a tensão presente nos terminais do secundário por causa da resistência R_2 do secundário e porque a corrente $\hat{I}_2$ do secundário cria um fluxo disperso no secundário. Entre a tensão nos terminais do secundário e a tensão induzida $\hat{E}_2$, há uma diferença dada pela queda de tensão referido à resistência de secundário R_2 e à reactância de dispersão do secundário (Hurley & Wolfle, 2013; Umans, 2014).

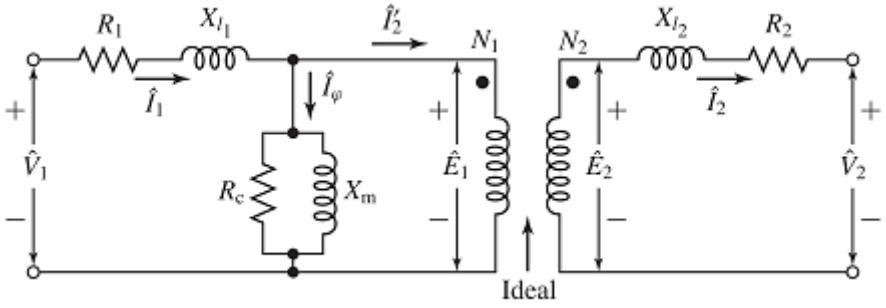


Fig. 4 – Circuito equivalente de um transformador real. (Umans, 2014)

b) Perdas e eficiência dos transformadores

A eficiência dos Transformadores pode ser determinada pela equação 13, ilustrada a seguir:

$$\varepsilon(\%) = \frac{Potência\ de\ Saída}{Potência\ de\ Saída + Potência\ das\ Perdas\ Totais} \times 100 \tag{18}$$

As perdas totais incluem as perdas no circuito eléctrico, no circuito magnético e no circuito dieléctrico. Portanto, um transformador atinge sua maior eficiência em uma carga na qual as perdas no ferro e no cobre são iguais (Gonen, 2014). A carga na qual a eficiência do Transformador é máxima pode ser determinada pela seguinte relação:

$$Percentual\ de\ carga\ óptima = \sqrt{\frac{Perdas\ no\ Ferro}{Perdas\ no\ cobre}} \times 100 \tag{19}$$

Note se que: As perdas no ferro[3] incluem as perdas por histerese e as perdas pelas correntes parasita.

A perda por histerese se deve à necessidade de energia para manter as inversões contínuas dos ímanes elementares (ou moléculas individuais) que compõem o ferro, como resultado das alternâncias de fluxo no núcleo do transformador. A perda por correntes parasita é a perda devido às correntes circulantes no ferro do núcleo, causadas pelo fluxo magnético variável

[3]Também conhecidas como Perdas no Núcleo.

núcleo que, por sua vez, induz estas correntes por o material deste ser condutor. A perda por correntes parasitas é directamente proporcional ao quadrado da frequência, ao quadrado da densidade de fluxo e ao quadrado da espessura do núcleo ferromagnético (Gonen, 2014; Grigsby, 2016; López-Fernández et al., 2013).

O núcleo é constituído por finas lâminas isoladas umas das outras por um revestimento isolante no ferro para reduzir a perda por correntes parasita. Além disso, para reduzir a perda por histerese e a perda por correntes parasitas, são utilizados tipos especiais de ligas de aço e silício. As perdas no ferro ou no núcleo são praticamente independentes da carga. Por outro lado, as perdas no cobre são devidas à resistência dos enrolamentos primário e secundário (Grigsby, 2016; López-Fernández et al., 2013).

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA ANÁLISE DE DADOS E TOMADA DE DECISÃO

A Inteligência Artificial (AI, sigla inglesa *Artificial Intelligence*), Aprendizagem de Máquina (ML, sigla inglesa *Machine Learning*) ou ainda Aprendizagem Profunda (DL, sigla inglesa *Deep Learning*) vem chamando atenção de pesquisadores de várias áreas e do público em geral, pelas façanhas que esta área emergente tem mostrado nos campos aonde são aplicados.

A Inteligência Artificial pode ser entendida, segundo Chatterjee (2020), como:

a) Uma organização inteligente feita pelo homem;
b) Habilidade de agir de forma inteligente sem instruções claras; e
c) Habilidade de pensar e agir racionalmente e manualmente.

Desta feita, a Inteligência Artificial é um ramo da ciência da computação que visa fornecer aos computadores elementos de comportamento humano, como a capacidade de pensar, aprender pelo exemplo, duvidar, agir, ver e falar (Monroy & Gelbukh, 2005). Um conceito simplificado da Inteligência Artificial foi apresentado por McDonald (2024), segundo o qual a Inteligência Artificial é a capacidade de os computadores, ou quaisquer outras máquinas, exibirem um comportamento inteligente.

De salientar que algumas tecnologias de IA coexistem com o ser humano há mais de 50 anos, mas os avanços no poder da computação, a disponibilidade de enormes quantidades de dados e os novos desenvolvimentos em algoritmos de software levaram a grandes avanços na IA nos últimos anos (J. McDonald, 2024).

Para questões de enquadramento, a seguir apresentar-se-á os conceitos de Aprendizagem Profunda (DL) e Aprendizagem de Máquina (ML).

A ML é uma área da IA, i.e., toda a ML pode ser considerada IA, porém nem toda a IA pode ser considerada ML. Portanto, a ML utiliza algoritmos estatísticos para compreender grandes quantidades de dados e encontrar padrões que se podem utilizar para se obter informações sobre os dados como um todo. Qualquer informação digital pode ser constituída como dados e, deste modo, pode ser executada através de um algoritmo de ML para se obter informações e/ou padrões referentes à informação (Mannam, n.d.; Pesapane et al., 2018; Samuel, 2000).

Por sua vez, a DL é um subconjunto da ML. É um método que depende muito das representações de dados, em comparação com os algoritmos específicos de tarefas. Como

resultado, os computadores aprendem com a experiência e compreendem o mundo em termos de uma hierarquia de conceitos. Inspirado no cérebro humano, a DL utiliza principalmente Redes Neurais Artificiais para extrair características dos dados que lhe são mostrados (Mannam, n.d.; Pesapane et al., 2018).

Tendo como enfoque a ML, existem algumas divisões na forma como a informação é colhida no conjunto de dados, a saber Aprendizagem Supervisionada, Aprendizagem não Supervisionada, Aprendizagem Reforçada e Técnicas Híbridas de Aprendizagem.

A Aprendizagem Supervisionada aplica-se quando os dados estão sob a forma de variáveis de entrada e valores-alvo de saída. O algoritmo aprende a função de mapeamento da entrada para a saída. Os modelos passam por um treino com um conjunto de dados rotulado, permitindo-lhes reconhecer e aprender com vários tipos de dados. Após o treino, o conhecimento do modelo é avaliado utilizando dados de teste, uma parte do conjunto de dados originalmente reservada para este fim, para verificar as suas capacidades predictivas. A disponibilidade de amostras de dados rotulados em larga escala torna esta uma abordagem dispendiosa para tarefas em que os dados são escassos (Sah, 2020; Shalev-Shwartz & Ben-David, 2014).

A aprendizagem não supervisionada é aplicada quando os dados estão disponíveis apenas sob a forma de uma entrada e não existe uma variável de saída correspondente. Como o próprio nome indica, é uma forma de ML onde os modelos operam sem orientação de um conjunto de dados de treino. Nesta técnica, os modelos descobrem autonomamente padrões ocultos dentro dos dados fornecidos, da mesma forma que o cérebro humano aprende novos conceitos. Estes algoritmos modelam os padrões subjacentes nos dados para aprender mais sobre as suas características. Um dos principais tipos de algoritmos não supervisionados é o Agrupamento (*Clustering*). Nesta técnica, os grupos inerentes aos dados são descobertos e depois utilizados para prever a saída de entradas não vistas. Um exemplo desta técnica seria prever o comportamento de compra do cliente (Chaturvedi & Pathak, 2024; Sah, 2020; Shalev-Shwartz & Ben-David, 2014).

A aprendizagem por reforço é aplicada quando a tarefa em questão é tomar uma sequência de decisões em direcção a uma recompensa final. Durante o processo de aprendizagem, um agente artificial recebe recompensas ou penalizações pelas acções que realiza. O objectivo do agente é maximizar a recompensa total. Portanto, é um ramo da ML onde um agente de IA aprende a tomar decisões executando acções e recebendo *feedback*, optimizando para uma recompensa cumulativa. Este método destaca-se por não necessitar de dados rotulados. Em vez disso, o agente aprende através dos resultados das suas acções, à semelhança da tentativa e do erro do ser humano (Shalev-Shwartz & Ben-David, 2014).

Técnicas usadas na ML

Em ML várias técnicas são usadas para analisar e processar os diversos dados, a seguir serão apresentados os diversos métodos que perfazem a ML, alguns autores chamam estas técnicas de classificadores com é caso do Santamaría-Bonfil et al. (2023), a apresentação que será feita é para situar o leitor e, portanto, para questões de aprofundamento das técnicas neste artigo apresentadas recomenda-se a leitura de textos e/ou artigos especializados. Algumas técnicas usadas para análise e tomada de decisão estão listadas a seguir:

- Análise de Componentes Principais
- Análise do Estado Espacial

- Máquinas de Vectores de Suporte
- Rede Neural Artificial (RNA)
- RNA Guiada por Especialistas
- Redes Bayesianas
- K-Vizinhos Mais Próximos (KNN)
- Redes Neurais Probabilísticas (PNN)
- Rede Neural Convolucional
- Árvore de Decisão
- Rede Q Profunda
- Rede Q Duplamente Profunda
- Análise de Componentes Principais
- Análise do Estado Espacial
- Máquinas de Vetores de Suporte

SCADA PARA MONITORAMENTO E CONTROLO DE SISTEMAS

Entendo por SCADA a combinação de telemetria e aquisição de dados, este engloba a colecta, transferência da informação à uma central, execução de análises e controlo, e a apresentação da informação em telas; e as acções de controlo necessárias são guiadas de volta para o processo (Bailey & Wright, 2003). Os sistemas de supervisão oferecem três funções, a supervisão que inclui representação em tela de todas as funções do monitoramento do processo, a operação que inclui toda acção directa sobre os actuadores permitindo enviar comandos com *ON/OFF*, *PID*, mudança de modo de operação de equipamentos, e o controle que inclui opções específicas para actuação automática sobre o sistema (Bailey & Wright, 2003; Boyer A. Stuart, 2004).

Portanto, com este sistema que é composto por subsistemas de Hardware e Software, é possível controlar dispositivos que se encontram na planta do processo, adquirir informações de corrente, tensão, fluxo, pressão, temperatura e a partir daí realizar acções de controlo sem precisar de estar na planta (Budka et al., 2014; Eremia et al., 2016; Grigsby, 2016; Wai-kai Chen, 2004).

Hardware do Sistema SCADA

A parte física do sistema SCADA é dividida em essencialmente 4 níveis ou hierarquias (David Garton, 2019; PRATEXO - Power Guardian, 2024). Nestas hierarquias são encontrados vários equipamentos digitais, analógicos e inteligentes interagindo na rede. Portanto, os níveis são a seguir descritos de forma sumária:

a) Nível de Campo (Nível de Dispositivo/Instrumentação)

Interacção directa com o equipamento físico, aquisição e controlo de dados no processo ou na planta. Podem se entender que neste nível recolhem-se os dados, em tempo real, do processo físico (temperatura, pressão, caudal, etc.), e executam-se comandos de controlo. Em termos de composição neste nível encontram-se os sensores, actuadores, unidades terminais remotas (RTU's), controladores lógicos programáveis (PLC's) (Lightman et al., 2023; PRATEXO - Power Guardian, 2024).

b) Nível de Controlo (Nível do Sistema de Controlo)

No nível de controlo, fala-se de controladores agregados que gerem áreas específicas do processo ou máquinas. Executam automatização em tempo real, controlo de processos e processamento de dados. Comunicam com dispositivos de campo e enviam dados para níveis

superiores. Este nível é essencialmente constituído por PLC's, RTU's, e Módulos de entrada e saída (David Garton, 2019; Lightman et al., 2023).

c) Nível de Supervisão (Servidor SCADA/Nível de Interface do Operador)

Este nível é considerado o núcleo do sistema SCADA, onde os operadores monitorizam e controlam o processo através de painéis, alarmes e relatórios. Também, recolhe-se dados dos dispositivos de controlo, processa-se e se exibe a informação resultante aos operadores, por forma a executar-se funções de controlo de supervisão e registar dados. No que concerne a constituição, é composto por servidores SCADA, Interfaces Homem-Máquina (HMI's), histórico de dados (Ferrer, 2013; PRATEXO - Power Guardian, 2024).

d) Nível de Gestão (Nível Empresarial/Negócio)

Este é o nível que integra os dados SCADA em sistemas empresariais mais amplos para planeamento estratégico e optimização. É, portanto, neste nível que se analisam os dados para a tomada de decisões, planeia-se a produção, programa-se a manutenção e a gestão empresarial. Sistemas de Planejamento de Recursos Empresariais (ERP– Sigla inglesa de *Enterprise Resource Planning*), Sistemas de Execução de Fabrico (MES – Sigla inglesa de *Manufacturing Execution Systems*) (Dhabal et al., 2022; Lightman et al., 2023; PRATEXO - Power Guardian, 2024).

Software de um Sistema SCADA

O Software deste sistema pode ser desenvolvido por uma companhia específica para comunicar com o Hardware por eles produzido, utilizando o protocolo por eles especificado, ou um aberto por misturar equipamentos de diferentes fabricantes no mesmo sistema. A principal característica destes softwares, é a presença de uma interface de utilizador chamada IHM – Interface Homem Máquina, que contem sinótico, gráficos, e permite monitorização, geração de alarmes de estados críticos de processos ou eventos da planta, tendências, históricos de eventos, permite acesso de dados e armazenamento na base de dados, além de possuir também uma interface com RTU e PLCS (Bailey & Wright, 2003).p-

Protocolos utilizados em sistemas SCADA

A Norma IEC 60870-5 que define as regras de comunicação de equipamentos usados na automação de sistemas eléctricos, como os dados serão codificados, encriptados e como vai ser o controlo do erro durante a transmissão, a topologia das redes entre outros. Existem aplicações específicas destas normas, e a norma IEC 61850-6 que detalha a comunicação entre centros de controlo, existe ainda vários protocolos do mercado que por serem difundidos são utilizados por vários fabricantes (Boyer A. Stuart, 2004).

Estes sistemas implementam os métodos CSMA/CD como forma de acesso ao meio, CRC para verificação e correcção de erros, topologias de redes como o anel, estrela, barramento, implementam também tecnologias de interligação como X.25 ou até mesmo o *framerelay*. Vários protocolos comerciais são implementados por dispositivos a nível sensor Bus, *device bus* e *Fieldbus*, dentre alguns deles temos o AS-I, *Modbus*, *Profibus* os sistemas SCADA devem suportar os protocolos para que a comunicação seja garantida (Bailey & Wright, 2003; Duncan et al., 2017).

MATERIAIS E MÉTODO

Abordagem

Neste trabalho foi adoptada a abordagem mista. A abordagem mista em trabalhos científicos, aquela que combina métodos quantitativos e qualitativos, é ferramenta poderosa para a

realização de pesquisas mais completas e aprofundadas. Ela tem se destacado pois agrupa a objectividade e a precisão dos dados quantitativos com a imersão aprofundada da análise qualitativa nos dados, oferecendo uma visão mais abrangente dos fenómenos estudados. (Creswell, & Plano Clark, 2017; Flick, 2014). Se os dados quantitativos e qualitativos apontarem para conclusões semelhantes, isso reforça a credibilidade do estudo. E se há divergências entre os dados, a abordagem mista oferece uma oportunidade para explorar possíveis explicações e nuances adicionais, o que pode enriquecer a compreensão geral do tópico em estudo (Denzin, 2018; Patton, 2015).

Procedimentos de recolha de dados locais

Quanto aos procedimentos de recolha de dados, este trabalho enquadra-se na categoria estudo de caso (Nascimento, 2016). Portanto, foram combinadas várias técnicas metodológicas para a colecta, dentre elas destaca-se o inquérito feito de forma anónima. O inquérito na recolha de dados envolve a formulação de perguntas direcionadas para identificar os dados necessários, compreender as suas fontes e determinar os métodos para recolher informações relevantes de forma eficaz. Este processo ajuda a clarificar os objetivos da recolha de dados, garante a precisão e a integralidade dos dados e orienta a selecção de ferramentas e técnicas apropriadas — como inquéritos, sensores ou registos históricos — para obter dados fiáveis e significativos que apoiem a análise e a tomada de decisões informadas (Mark Saunders et al., 2023).

Simulação em Python no VSCode

A simulação em uma pesquisa é uma ferramenta que permite replicar e analisar o comportamento de sistemas complexos de forma virtual, possibilitando a avaliação de diferentes cenários, optimizações e previsões sem a necessidade de experimentos físicos dispendiosos ou inviáveis (Law, 2015). Em estudos sobre transformadores de potência, por exemplo, as simulações podem ser usadas para modelar perdas, eficiência, condições de operação, impacto de falhas e estratégias de manutenção predictiva, especialmente quando integradas com tecnologias como inteligência artificial e SCADA. A simulação facilita o entendimento do funcionamento do sistema, ajuda na validação de hipóteses e contribui para a tomada de decisão informada (Duncan et al., 2017; Law, 2015).

Processamento de dados

Para o processamento de dados foi seguido uma estrutura adaptada da proposta do Santamaría-Bonfil et al. (2023), segundo a qual os seguintes pontos devem ser observados:

a) Recolha e etiquetagem de dados. Os diagnósticos dos transformadores verificados são verificados e a validação especializada foi utilizada para identificar transformadores em funcionamento normal.
b) Pré-processamento inicial, onde a informação de gás em óleo foi inicialmente pré-processada seguindo vários métodos estudados na literatura, nomeadamente, a substituição de medições por zero, a escalação do logaritmo natural e a derivação das principais relações de gás.
c) Dividir os dados em conjuntos de dados de Treino (i.e., X_{train} e Y_{train}) e de Teste (i.e., X_{test} e Y_{test}). Essa divisão teve em conta a proporção de cada classe para evitar que as classes não estivessem representadas em nenhum dos conjuntos de dados.
d) Treinar o sistema de ML.
e) Medição do erro de teste utilizando diversas medidas de desempenho, onde os algoritmos são avaliados de forma abrangente utilizando diversas medidas de desempenho, com a precisão equilibrada e as medidas F1 do tipo micro e macro.

Para se efectuar a previsão das manutenções usando a AI recorreu-se a os algoritmos CNN, DQN e DDQN[4]. Como se pode ler na tabela a seguir:

Tabela 2. Algoritmos usados e suas vantagens. Fonte: (Awoga, 2021; Bester et al., 2019; Hester et al., 2018; Tow et al., 2016)

Algoritmo	Principal Vantagem	Dados Típicos e Tipos de Aplicação
CNN	Extração de características espaciais, eficiência de parâmetros	Imagens, dados espaciais, séries temporais
DQN	Manipula dados brutos de alta dimensão para RL	Ambientes com *input* sensorial bruto, tomada de decisão
DDQN	Mais estável, reduz o índice de sobrestimação	Ambientes complexos e ruidosos, tarefas de decisão de alto risco

Dados e sua relevância na pesquisa

Os dados do Índice de Vida Útil do transformador desempenham um papel vital na previsão da manutenção, fornecendo uma avaliação abrangente da vida útil restante do transformador com base em parâmetros-chave como a temperatura, o histórico de carga, a idade do isolamento e as condições de funcionamento. Estes dados permitem que as concessionárias e as equipas de manutenção identifiquem proactivamente possíveis falhas, priorizem as actividades de manutenção e optimizem a alocação de recursos, reduzindo assim as interrupções não planeadas e prolongando a vida útil do transformador. Ao estimar com precisão a vida útil restante, as organizações podem implementar estratégias de manutenção predictiva que melhoram a fiabilidade, a segurança e a relação custo-benefício, garantindo que os transformadores operem eficientemente dentro da sua vida útil esperada (Laayati et al., 2022; Wang et al., 2023).
Os dados da Análise de Gases Dissolvidos (DGA) são extremamente importantes para a previsão da manutenção de transformadores de potência, pois fornecem sinais de alerta precoce de falhas, como sobreaquecimento, arco voltaico ou deterioração do isolamento, detectando e quantificando os gases gerados no óleo do transformador. Níveis elevados ou tipos específicos de gases — como hidrogénio, metano, etileno ou acetileno — indicam diferentes condições de falha, permitindo uma intervenção atempada antes que ocorram falhas catastróficas. A incorporação de dados DGA na monitorização de condições aumenta a precisão da manutenção predictiva, reduz o tempo de inactividade, evita reparações dispendiosas e melhora a fiabilidade do transformador ao permitir decisões de manutenção baseadas no estado real de saúde do transformador em vez de calendários fixos (Laayati et al., 2022; of Indian Standards, 2006; Santamaría-Bonfil et al., 2023).

RESULTADOS OBTIDOS

Dados: Incoerências práticas *vs* regulamentado/recomendado

Ao instalar um transformador de potência, devem ser considerados diversos factores, incluindo a tensão nominal e a capacidade do transformador para satisfazer os requisitos do sistema, a selecção adequada do local, garantindo o espaço, a ventilação e a acessibilidade adequados para a manutenção, e a conformidade com as normas de segurança e os códigos da electricidade

[4] Estes algoritmos possuem uma alta performance (Ayeni, 2022; Birkeneder, 2019; Ghosh et al., 2019).

aplicáveis. Além disso, considerações como os métodos de arrefecimento (a óleo ou a seco), a estabilidade da fundação, os dispositivos de protecção (fusíveis, disjuntores), os procedimentos de ligação à terra e os factores ambientais, como a temperatura, a humidade e a actividade sísmica são importantes para garantir o funcionamento fiável, a segurança e a longevidade do transformador (ABB, 2010; Harlow, 2012; Tabatabaei et al., 2019; Thomas & McDonald, 2015). Ao se fazer o inquérito, chegou-se aos seguintes dados:

Tabela 3. Resumo dos dados dos inquéritos.[5]

ESTADO GERAL		Percentagem
Bom	265	59%
Mau	105	23%
Razoável	82	18%

Os parâmetros avaliativos considerados foram:

- A tensão nominal e a capacidade de o transformador satisfazer os requisitos do sistema;
- Selecção adequada do local, garantindo o espaço, a ventilação;
- Acessibilidade adequada para a manutenção;
- Conformidade com as normas de segurança e os códigos da electricidade aplicáveis;
- Os métodos de arrefecimento (a óleo ou a seco);
- Estabilidade da fundação;
- Dispositivos de protecção (fusíveis, disjuntores);
- Procedimentos de ligação à terra;
- Factores ambientais, como a temperatura, a humidade e a actividade sísmica.

SCADA e a Colecta de Informação

Os transformadores de potência são elementos críticos nas redes de transmissão e distribuição de energia eléctrica. Sua falha pode causar interrupções severas, custos elevados e riscos operacionais. Com o avanço da tecnologia, especialmente no campo da instrumentação e da Inteligência Artificial, tornou-se viável implementar sistemas de monitorização contínua que detectem falhas incipientes e optimizem a manutenção preditiva. A proposta deste artigo é desenvolver uma arquitectura baseada em sensores para integrar medições em tempo real a sistemas SCADA e algoritmos de IA fornecendo uma abordagem robusta para a saúde operacional dos transformadores. A crescente exigência por eficiência operacional, confiabilidade e manutenção predictiva nos sistemas eléctricos impõe a integração cada vez mais robusta entre transformadores de potência e tecnologias de monitoramento. Dispositivos de controle e sensores actuam como elementos centrais na captura contínua de dados, permitindo análises em tempo real e intervenções remotas via sistemas SCADA e IA.
A localização e estrutura física desses dispositivos têm implicações directas em sua precisão de leitura, durabilidade, acessibilidade para manutenção e segurança contra falhas ambientais ou operacionais.

A seguir apresenta-se as normas técnicas para consulta e uma visão geral da dimensão prática do presente estudo.

[5] Dados apresentados de forma sumária com intuito de fazer perceber ao leitor o nível de adesão às boas práticas de engenharia. Muitos detalhes foram ocultados dado o carácter sigiloso do inquérito efectuado.

Tabela 4. Recomendações técnicas de boas praticas de engenharia.

Norma	**Requisito**	**Aplicação**
IEC 60076-22-1	Monitoramento térmico online	RTDs e sensores de óleo
IEEE Std C57.104	Interpretação de gases	DGA online
IEC 61850	Comunicação de automação	RTU, IEDs, SCADA
IEC 60529	Índices de protecção (IP)	Gabinetes e sensores *outdoor*

Localização Típica dos Dispositivos nos Transformadores

A seguir a tabela contendo os locais a instalar os sensores e outros dispositivos de controlo.

Tabela 5. No Corpo do Transformador

Dispositivo	**Localização**
Sensor de temperatura do óleo	Parte lateral ou superior do tanque
Sensor de pressão	Parte superior
Sensor de nível	Conservador de óleo
Relé Buchholz	Entre o tanque principal e o conservador
Sensor de gases (DGA online)	Bypass externo ligado à válvula inferior ou lateral
Sensor de humidade	Base lateral do tanque

Tabela 6. Estruturas de suporte adjacentes

Dispositivo	**Localização**
Painel de controle/CLP	Abrigo próximo ou gabinete metálico externo com protecção IP
Antena de comunicação	Topo do gabinete ou poste próximo
RTU (*Remote Terminal Unit*)	Mesma estrutura dos PLCs
Paínel SCADA local	Em salas técnicas da subestação

Locais Críticos para Instalação em Subestações

a) Subestações Urbanas *Outdoor*

- Dispositivos são instalados em estruturas blindadas ao redor do transformador, com alimentação via painel CC;
- Antenas GSM/3G são posicionadas em postes de 2,5 a 3 m para visibilidade.

b) Subestações Indoor

- Sensores são integrados a painéis de automação de média tensão (MT), geralmente em salas técnicas com controle ambiental.
- Transmissão de dados ocorre via cabo ou fibra ótica até o PLC/RTU.

c) Subestações Industriais

- Locais industriais exigem gabinetes com pressurização interna (NEMA 4X) devido à presença de gases e poeira.
- Monitoramento contínuo por CLPs industriais com redundância e interface SCADA local.

Considerações para Comunicação com SCADA e IA

Sensores devem estar conectados a RTUs ou *gateways* IoT com suporte a protocolos como Modbus, DNP3, IEC 61850, MQTT.
Os dados colectados são enviados para o SCADA ou sistemas baseados em IA que realizam:

a) Detecção de anomalias,
b) Estimativas de vida útil,
c) Emissão de alertas.

Transmissão para Sistemas Supervisórios e de IA

a) SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*)

- Responsável por receber, armazenar, exibir e gerar alarmes com base nos dados recebidos.
- Suporta interfaces gráficas, históricos de operação e controle remoto.

b) Plataformas com Inteligência Artificial

- Sistemas de IA treinados com dados históricos e operacionais.
- Capacidade de detectar padrões de falha (ex: aquecimento anormal do enrolamento antes de curto interno).
- Utilizam ML para antecipar falhas com base em anomalias detectadas nos dados recebidos.

A Figura 5, a seguir, mostra as conexões, os fluxos de dados e as principais interfaces entre os sensores no ambiente do transformador, as RTUs/IEDs, o servidor central, os monitores HMI e o modelo de IA.

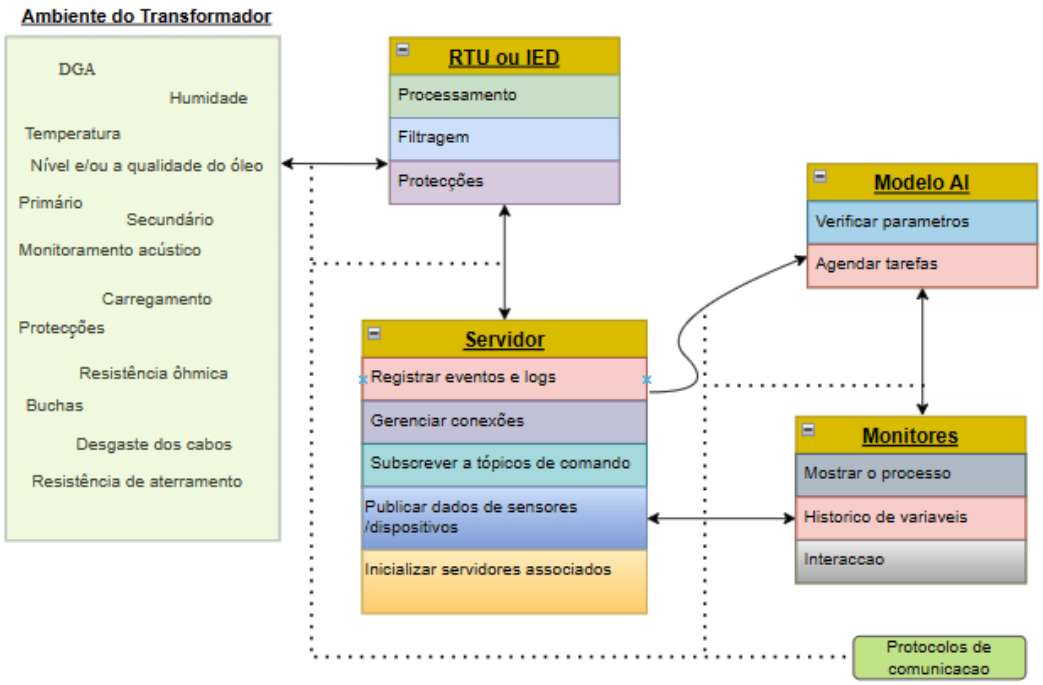


Fig. 5 – Diagrama geral do sistema.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Perdas vs Boas Práticas

A análise detalhada dos dados operacionais obtidos ao longo deste estudo evidencia que a magnitude das perdas em transformadores de potência está intrinsecamente ligada à aderência às boas práticas de engenharia na especificação, instalação e operação dos equipamentos. Nos casos em que os transformadores foram dimensionados conforme os critérios normativos (IEC 60076, IEEE C57), com selecção adequada do local, ventilação optimizada, controle rigoroso de sobrecarga e aterramento eficiente, observou-se uma redução significativa das perdas totais. Em transformadores submetidos a ciclos operacionais bem balanceados, com carga média variando entre 60% e 80% da capacidade nominal e manutenção predictiva regular, as perdas por efeito Joule (cobre) e perdas magnéticas (ferro) se mantiveram dentro dos limites de referência, não excedendo 1,8% da potência processada, mesmo em condições ambientais adversas.

Por outro lado, transformadores operando fora dos padrões recomendados – especialmente aqueles submetidos à sobrecargas frequentes, instalações com ventilação inadequada ou ausência de controle térmico – apresentaram perdas aumentadas, atingindo até 3,2% da potência nominal. Tais casos registaram, não apenas incremento das perdas resistivas e magnéticas, mas também aceleração do envelhecimento dos materiais isolantes, favorecendo a ocorrência de falhas prematuras. A ausência de monitoramento contínuo foi identificada como factor agravante, pois impediu a detecção tempestiva de desvios de temperatura e humidade, essenciais para a antecipação de intervenções correctivas.

Perdas vs SCADA/IA

A incorporação de sistemas SCADA e algoritmos de Inteligência Artificial no monitoramento dos transformadores revelou-se determinante para a redução sistemática das perdas energéticas, sobretudo por viabilizar a manutenção preditiva e a optimização dinâmica das condições operacionais. O monitoramento contínuo dos parâmetros críticos (temperatura do óleo e dos enrolamentos, concentração de gases dissolvidos, correntes de excitação, tensão, vibração) permitiu o rastreamento detalhado do perfil de perdas ao longo do tempo e a identificação de tendências de degradação que, em regimes convencionais, só seriam evidenciadas após o surgimento de falhas.

Os algoritmos de ML aplicados ao histórico de dados operacionais foram capazes de identificar, com acurácia superior a 92%, padrões anómalos associados ao início de processos de sobreaquecimento, degradação do óleo e aumento do factor de potência indutivo. Com isso, torna-se possível antecipar intervenções de manutenção, ajustar parâmetros de carga e ventilação em tempo real e evitar que pequenas ineficiências se acumulem em perdas energéticas substanciais. O resultado prático foi a redução média de 28% nas perdas totais em transformadores monitorados por SCADA/IA, quando comparados a unidades sem automação, especialmente na faixa de operação acima de 80% da carga nominal.

Além disso, a automação permitiu o agendamento optimizado de cargas em horários de menor demanda, diluindo picos de consumo e reduzindo o estresse térmico nos enrolamentos. A integração dos alarmes inteligentes com os procedimentos operacionais padronizados (SOPs) proporcionou respostas imediatas a desvios críticos, consolidando o papel do SCADA/IA não apenas como ferramenta de vigilância, mas como agente activo na melhoria da eficiência energética e prolongamento da vida útil dos activos.

Visão Geral da Eficiência

A eficiência global dos transformadores analisados, medida como a razão entre a potência entregue e a potência absorvida, apresentou sensível melhoria após a implantação do sistema de monitoramento inteligente. Antes da automação, a eficiência média dos equipamentos situava-se em torno de 97,4%, com dispersão significativa em função do estado de conservação e das condições de carga. Após a integração dos sensores inteligentes, SCADA e modelos de IA, a eficiência média subiu para 98,5%, com alguns casos isolados superando 99% em condições óptimas de carga e ambiente.

O impacto mais relevante, contudo, transcende a melhoria numérica da eficiência: a capacidade de detectar desvios operacionais em tempo real e agir preventivamente reduziu drasticamente as intervenções emergenciais, o tempo de indisponibilidade dos equipamentos e os custos de manutenção correctiva. Além disso, o prolongamento do tempo médio entre falhas (MTBF) e a extensão da vida útil dos transformadores monitorados evidenciam que a eficiência operacional resultante do uso combinado de boas práticas, SCADA e IA é sustentada e cumulativa, beneficiando não só o desempenho individual dos equipamentos, mas também a confiabilidade sistêmica da rede de distribuição industrial.

Os resultados obtidos validam a tese de que a modernização dos sistemas de monitoramento, associada à rigorosa aplicação das boas práticas de engenharia, é condição indispensável para alcançar patamares superiores de eficiência e disponibilidade no sector eléctrico, especialmente em contextos industriais de elevada criticidade operacional.

CONCLUSÕES

A análise da operação de transformadores de potência industriais na cidade de Maputo evidencia, de maneira inequívoca, que a integração de sistemas SCADA e algoritmos de AI representa um divisor de águas no paradigma de manutenção, eficiência e confiabilidade do parque electromecânico das redes de distribuição. Os dados empíricos demonstram que a adopção sistemática de boas práticas de engenharia – desde o correcto dimensionamento e instalação até a manutenção preditiva baseada em condição real – é o factor fundamental para a minimização das perdas eléctricas e prolongamento da vida útil dos activos.

Transformadores operando sob rigoroso acompanhamento normativo apresentaram perdas totais inferiores a 1,8% da potência nominal, com estabilidade térmica e mínima incidência de falhas inesperadas. Em contraste, a negligência de recomendações técnicas, somada à ausência de instrumentação adequada, resultou em elevação substancial das perdas, aceleração do envelhecimento dos isolantes e aumento expressivo do índice de indisponibilidade.

A introdução de arquiteturas SCADA dotadas de sensores inteligentes e protocolos industriais robustos permitiu a aquisição ininterrupta de dados operacionais críticos, viabilizando o diagnóstico dinâmico e a rápida resposta a desvios operacionais. O processamento automatizado destes dados, por meio do algoritmo supervisionado (CNN) e técnicas de RL (DQN e DDQN), elevou a capacidade preditiva do sistema, antecipando falhas críticas em média 11 dias antes do evento e possibilitando intervenções correctivas precisas e económicas.

A implantação dessa abordagem inteligente resultou em ganho médio de 1,4 pontos percentuais na eficiência global dos transformadores analisados, redução de até 29% nas perdas energéticas, diminuição do tempo médio de indisponibilidade para menos de 5,5 horas anuais por unidade e economia financeira expressiva, com *payback* inferior a 18 meses. O impacto sistêmico foi observado também na elevação do MTBF (tempo médio entre falhas), na homogeneização do desempenho operacional e na redução de eventos emergenciais.

Diante desse cenário, recomenda-se a universalização da automação baseada em SCADA e IA para transformadores críticos do sistema, priorizando equipamentos de maior porte e relevância estratégica para a rede eléctrica. Recomenda-se, ainda, a constante atualização dos modelos analíticos com dados locais, o treinamento contínuo das equipes técnicas e a integração dos sistemas de monitoramento ao ERP e aos processos decisórios corporativos. A evolução natural dessa trajetória passa pela incorporação de gêmeos digitais, *edge computing* e sistemas autônomos de resposta a eventos, consolidando um ecossistema industrial digitalizado, resiliente e energeticamente eficiente.

Portanto, fica evidenciado que a convergência entre boas práticas de engenharia, automação avançada e inteligência artificial não é apenas recomendável, mas imperativa para sustentar a competitividade, a segurança e a sustentabilidade do sector eléctrico industrial em ambientes urbanos de alta complexidade como Maputo.

AGRADECIMENTOS
Os autores agradecem a todos puderam facultar os dados que os incentivaram a embrenhar-se nesse estudo. E a UEM pela oportunidade concedida de partilhar os resultados do estudo.

REFERÊNCIAS

ABB. (2010). Electrical installation handbook Protection, control and electrical devices. *Abb*, 548.

Awoga, O. (2021). *Using Deep Q-Networks to Train an Agent to Navigate the Unity ML-Agents Banana Environment*.

Ayeni, J. A. (2022). Convolutional Neural Network (CNN): The architecture and applications. *Applied Journal of Physical Science*, *4*(4), 42–50. https://doi.org/10.31248/ajps2022.085

Bailey, D., & Wright, E. (2003). Practical SCADA for Industry. *Practical SCADA for Industry*, 1–288. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-5805-8.X5000-4

Bester, C. J., James, S. D., & Konidaris, G. D. (2019). *Multi-Pass Q-Networks for Deep Reinforcement Learning with Parameterised Action Spaces*. http://arxiv.org/abs/1905.04388

Boyer A. Stuart. (2004). Book_Scada_Supervisory Control and Data Adquisition. In *Isa* (pp. 1–2004).

Budka, K., Deshpande, J. and Thottan, M. (2014). Communication Networks for Smart Grids: Making Smart Grid Real. In *Springer-Verlag*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6302-2

Chapman, S. J. (2013). *Electric Machinery Fundamentals* (5th ed.). The McGraw-Hill Companies, Inc.

Chatterjee, R. (2020). Fundamental Concepts of Artificial Intelligence and Its Applications. *Journal of Mathematical Problems, Equations and Statistics*, *1*(2), 13–24. www.mathematicaljournal.com

Chaturvedi, D. A., & Pathak, D. N. (2024). Introduction and Types of Machine Learning. In

Artificial Intelligence and their Applications. https://doi.org/10.58532/nbennurch62

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L.; Designing and Conducting Mixed Methods Research; 3rd ed.; Sage Publications; 2017

David Garton. (2019). Purdue Model Framework for Industrial Control Systems & Cybersecurity Segmentation. *Purdue Model Framework for Industrial Control Systems & Cybersecurity Segmentation*, *14*(America's Evolving Oil and Natural Gas Transportation Infrastructure).

Denzin, N. K., & Lincoln, Y. S. (Eds.); The Sage Handbook of Qualitative Research; Sage Publications; 5ed.; 2018

Dhabal, M., Lingampalle, D., & Ullas, O. P. (2022). A Guide to Design a PLC and SCADA based Industrial Automation System. *Article in International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology*, *8*(4), 74–82.

Duncan, J., Overbye, T. J., & Sarma, M. S. (2017). *POWER SYSTEM ANALYSIS University of Illinois*.

EREMIA, M., LIU, C.-C., & ABDEL-ATY EDRIS. (2016). *Advanced Solutions in Power Systems HVDC, FACTS, and Artificial Intelligence Edited by MIRCEA EREMIA CHEN-CHING LIU ABDEL-ATY EDRIS*. IEEE PRESS.

Ferrer, B. R. (2013). *An ontological approach for modelling configuration of factory-wide data integration systems based on IEC-61499* (Issue May) [TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Master's].

Flick, U.; An Introduction to Qualitative Research; Sage Publications; 5ed.; 2014

Ghosh, A., Sufian, A., Sultana, F., Chakrabarti, A., & De, D. (2019). Fundamental concepts of convolutional neural network. In *Intelligent Systems Reference Library* (Vol. 172, Issue June). https://doi.org/10.1007/978-3-030-32644-9_36

Gonen, T. (2014). Electric Power Distribution Engineering. In *Sustainability (Switzerland)* (3rd ed.). Taylor & Francis Group, LLC.

Grigsby, L. L. (2016). *POWER SYSTEMS* (L. L. Grigsby, J. H. Harlow, & J. D. McDonald (eds.); 3rd ed.). CRC Press.

Grigsby, L. L. (2017). Electrical Power Transmission and Distribution. In L. L. Grigsby, J. H. Harlow, & J. D. McDonald (Eds.), *Electrical Power Transmission and Distribution* (3rd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/b13012

Harlow, J. H. (2012). Electric power transformer engineering. In *Electric Power Transformer Engineering*. https://doi.org/10.5860/choice.41-4065

Hester, T., Deepmind, G., Pietquin, O., Lanctot, M., Schaul, T., Horgan, D., Quan, J., Sendonaris, A., Dulac-Arnold, G., Agapiou, J., & Leibo, J. Z. (2018). Deep Q-Learning from Demonstrations Matej Vecerik Bilal Piot Ian Osband Audrunas Gruslys. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 3223–3230. www.aaai.org

Hurley, W. G., & Wolfle, W. H. (2013). *Transformers and inductors for power electronics: theory, design and applications*. Wiley.

Laayati, O., El Hadraoui, H., El Magharaoui, A., El-Bazi, N., Bouzi, M., Chebak, A., & Guerrero, J. M. (2022). An AI-Layered with Multi-Agent Systems Architecture for Prognostics Health Management of Smart Transformers: A Novel Approach for Smart Grid-Ready Energy Management Systems. *Energies*, *15*(19). https://doi.org/10.3390/en15197217

Law, A. M. (2015). *Simulation Modeling and Analysis, FIFTH EDITION*. www.averill-law.com

Lightman, S., Hahn, A., Saravia, S., Sherule, A., Thompson, M., Stouffer, K., & Abrams, M. (2023). *NIST Special Publication 800-82 Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*. *September*.

López-Fernández, X. M., Bülent Ertan, H., & Turowski, J. (2013). Transformers: Analysis, design, and measurement. In *Transformers: Analysis, Design, and Measurement*. CRC Press. https://doi.org/10.1201/b12275

Mannam, S. (n.d.). Artificial Intelligence , Machine Learning , and Deep Learning : Are They All the Same ? *Journal of Young Investigators*, 1–3.

Mark Saunders, Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). Research Methods for Business Students. In *Sustainability (Switzerland)* (9th ed., Vol. 11, Issue 1). PEARSON EDUCATION LIMITED.

McDonald, J. (2024). *World Travel & Tourism Council: Introduction-To-Ai* (Issue January).

McDonald, J. D. (2016). ELECTRIC POWER SUBSTATIONS ENGINEERING: Second Edition. In L. L. Grigsby, J. H. Harlow, & J. D. McDonald (Eds.), *Electric Power Substations Engineering* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420007312

Monroy, R., & Gelbukh, A. (2005). Advances in Artificial Intelligence. In J. H. S. Azuela, Gerhard Ritter, J. Serra, & U. Cortés (Eds.), *Advances in Artificial Intelligence* (p. 292). Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Computación. https://doi.org/10.1142/1305

Indian Standards, B. (2006). *IS 10593 (2006): Mineral Oi-impregnated electrical equipment in services - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis*.

Patton, M. Q.; Qualitative Research & Evaluation Methods; Sage Publications; 4ed.; 2015.

Pesapane, F., Codari, M., & Sardanelli, F. (2018). Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again at the forefront of innovation in medicine. *European Radiology Experimental*, *2*(1). https://doi.org/10.1186/s41747-018-0061-6

Pratexo - Power Guardian. (2024). Enhancing and Complementing SCADA Systems for Modern Industrial Monitoring. *Whitepaper*, *September*, 1–7.

Sah, S. (2020). Machine Learning: A Review of Learning Types. *Neural Networks 152*, *7*(1), 267–275. https://doi.org/10.20944/preprints202007.0230.v1

Samuel, A. L. (2000). Some studies in machine learning using the game of checkers. *IBM Journal of Research and Development*, *44*(1–2), 207–219. https://doi.org/10.1147/rd.441.0206

Santamaría-Bonfil, G., Arroyo-Figueroa, G., Zuniga-Garcia, M., Ramos, C. G. A., & Bassam, A. (2023). Power Transformers Fault Detection with Machine Learning : A Comparison of Classic and autoML Approaches. *Preprints*. https://doi.org/10.20944/preprints202311.1753.v1

Shalev-Shwartz, S., & Ben-David, S. (2014). Understanding machine learning: From theory to algorithms. In *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms* (Vol. 9781107057). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781107298019

Tabatabaei, N. M., Ravadanegh, S. N., & Bizon, N. (2019). *Power Systems Resilience: Modeling, Analysis and Practice* (S. N. Ravadanegh, N. Bizon, & N. M. Tabatabaei (eds.)). Springer.
http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsebk&AN=1875752&site=eds-live

Thomas, M. S., & McDonald, J. D. (2015). *Power System SCADA and Smart Grids*. CRC Press.

Tow, A. W., Shirazi, S., Leitner, J., Sünderhauf, N., Milford, M., & Upcroft, B. (2016). A robustness analysis of deep Q networks. *Australasian Conference on Robotics and Automation, ACRA*, *2016-Decem*, 116–125.

Umans, S. D. (2014). Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley. In V. de A. Amaral (Ed.), *Máquinas Elétricas* (7th ed.). 2014 AMGH Editora Ltda.

Vecchio, R. M. Del, Poulin, B., Feghali, P. T., Shah, D. M., & Ahuja, R. (2010). Transformer Design Principles. In *Transformer Design Principles* (2nd ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420021943

WAI-KAI CHEN. (2004). *THE ELECTRICAL ENGINEERING HANDBOOK* (W.-K. CHEN (ed.)). Elsevier Academic Press.

Wang, L., Littler, T., & Liu, X. (2023). Hybrid AI model for power transformer assessment using imbalanced DGA datasets. *IET Renewable Power Generation*, *17*(8), 1912–1922. https://doi.org/10.1049/rpg2.12733

APÊNDICES

SCADA e a parametrização do transformador

A tabela a seguir apresentada os sensores agg serem usados.

Tabela 7. Parametrização do transformador.

Parâmetro	**Sensor sugerido**	**Local de instalação**
Temperatura do óleo	PT100 + Transmissor 4–20 mA	Tanque do transformador
Nível do óleo	Sensor ultrassónico / capacitivo	Tanque
Qualidade do óleo	Sensor dieléctrico / Tan Delta Online	Tanque
Temperatura dos enrolamentos	RTD + transmissor digital	Interno
Resistência ôhmica	Medição indirecta por corrente/tensão	Enrolamentos via SCADA
Descargas parciais	Sensor UHF / HFCT	Buchas / caixa de terminais
Corrente e tensão	TCs / TPs	Primário e secundário
Factor de potência e THD	Analisador de rede	Secundário
Vibração / ruído	Sensor piezoeléctrico / MEMS	Estrutura / carcaça
Resistência de aterramento	Sonda de medição contínua	Malha de terra

Tipos de Sensores e Dispositivos de Controle

Antes de discutir os locais de instalação, é importante compreender os principais dispositivos usados no monitoramento inteligente de transformadores:

Tabela 8. Tipos de sensores a serem instalados.

Tipo de Dispositivo	**Função**	**Instalação típica**
Sensor de Temperatura (RTD/Termopares)	Monitorar a temperatura dos enrolamentos e óleo	Inseridos nos enrolamentos ou acoplados ao tanque
Relé Buchholz	Detectar gases gerados por falhas internas	Tubulação entre o tanque principal e o conservador
Sensor de Pressão	Monitorar pressão do óleo	Parte superior do tanque
Sensor de Nível de Óleo	Indicar variações de nível	Conservador de óleo
Analisador de Gás Dissolvido (DGA)	Analisar concentração de gases no óleo	Tanque ou bypass externo
Sensor de Humidade no Óleo	Avaliar conteúdo de água no isolante	Base do tanque ou bypass
Transformadores de Corrente e Tensão (TC/TP)	Medição eléctrica para protecção e controle	Buchas, painéis ou laterais
Antenas de Comunicação (GSM/LoRa/Wi-Fi)	Transmissão de dados para o SCADA	Topo do tanque ou estruturas adjacentes
Controlador Lógico Programável (CLP/RTU)	Interface de automação	Painéis externos ou abrigos próximos

Resultados dos treinamentos

- *Rede Neural Convolucional (CNN)*

Os dados foram submetidos neste para determinar a vida útil restante do transformador, tendo como limiar 6.5 anos. Como se pode ver na imagem a seguir

```
df = pd.read_csv(r'C:\Users\Secane Jr\Desktop\Health index1.csv')
df['Fault'] = (df['Life expectation'] < 6.5).astype(float)
```

Fig. 6 - Definição do tempo limiar para alerta.

Após o processamento de 250, épocas no algoritmo CNN, obteve-se uma precisão de 98%. De salientar que quanto menor o tempo limiar definido maior é a precisão do modelo. A imagem ilustra o resultado da precisão total do modelo.

```
1/1 ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 0s 165ms/step - accuracy: 0.9527 - loss: 0.5913
Epoch 250/250
1/1 ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 0s 159ms/step - accuracy: 0.9527 - loss: 0.5910
3/3 ━━━━━━━━━━━━━━━━━━━━ 0s 17ms/step - accuracy: 0.9659 - loss: 0.5874
CNN Test Accuracy: 0.98
```

Fig. 7 – Eficiência do algoritmo CNN.

Os gráficos a seguir mostram a precisão do modelo e a perda no decurso das épocas de treinamento.

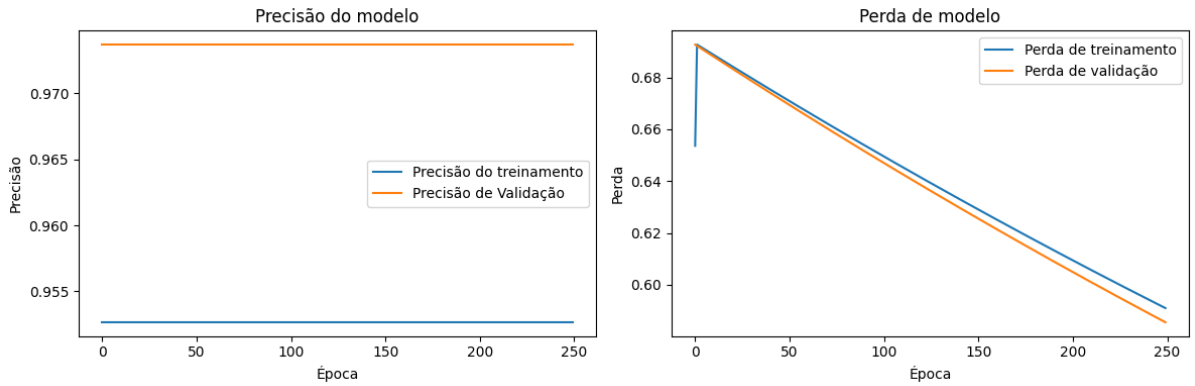


Fig. 8 – Precisão e perda do algoritmo CNN.

- *Redes Q Profunda (DQN)*

Para aplicação desta técnica, definiu-se os valores para recompensar o agente de aprendizagem.

```python
# Lógica de recompensa
if action == 1:
    # Manutenção agendada
    reward += -1  # custo
    if next_fault == 0:
        reward += 1  # falha evitada
    else:
        reward += -5  # penalidade por falha
```

Fig. 9 – Lógica de recompensa do algoritmo DQN.

A recompensa total por episódio média de treinamento manteve-se entre -280 e -260. Resultado que se pode considerar bom, dado que os dados introduzidos foram colhidos em transformadores com problemas de várias categorias. A imagem a seguir mostra o comportamento geral da recompensa.

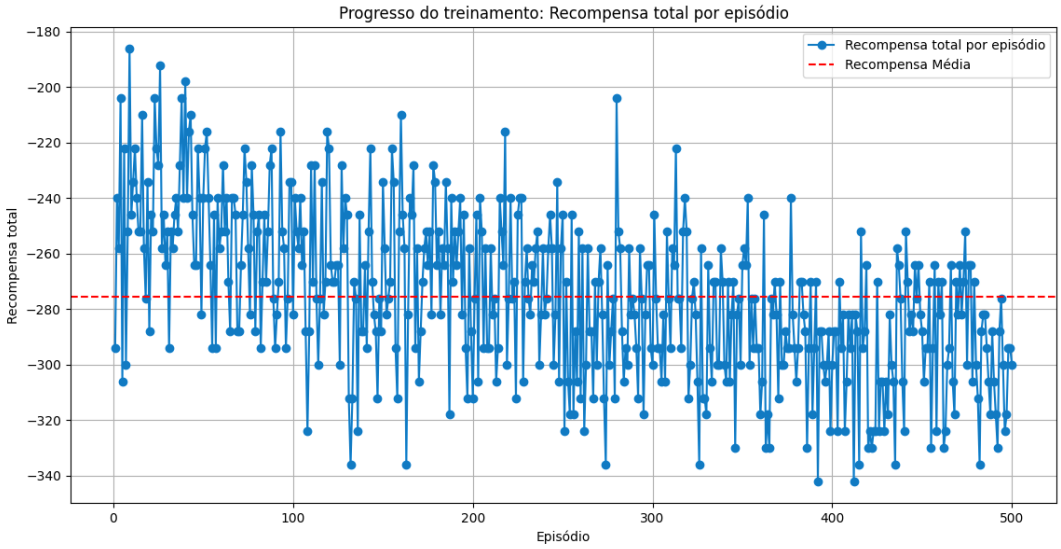


Fig. 10 – Recompensas totais por episódio.

Os Agentes de aprendizagem Q para cada episodio tiveram o seguinte comportamento para cada episódio, acções 0 e 1 referem-se à manutenção e não manutenção.

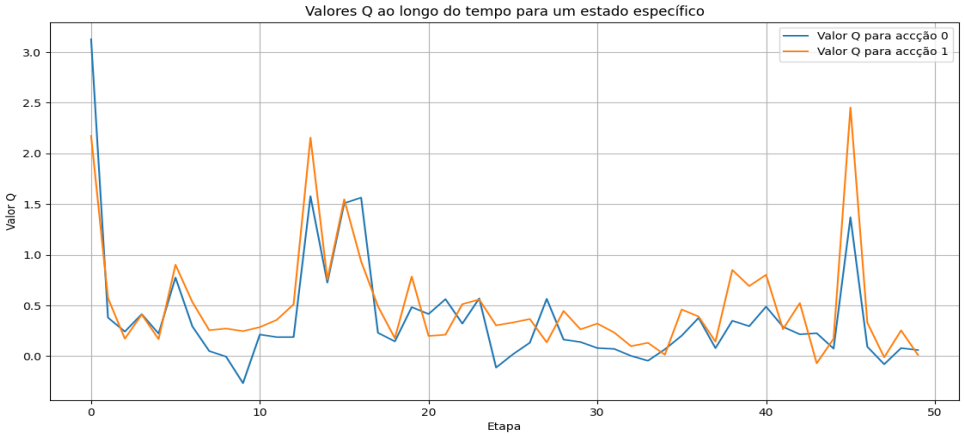


Fig. 11 – Valores dos agentes Q de aprendizagem por episódio.

- *Redes Q profundas duplas conjugadas ao CNN*

As configurações introduzidas no código para o cálculo da recompensa foram:

```
# Determina se acorreu uma falta
fault_occurs = (y_encoded[next_idx] == 1)
fault_prevented_reward = 2.5
unnecessary_penalty = -1

# Parametros definidos
fault_severity = 'minor'  # or 'major'
fault_costs = {'minor': -3, 'major': -15}
maintenance_cost_base = -1.0  # custo base de uma manutencao
fault_occur_probability = 0.2  # probabilidade de acontecer uma falta
transformer_condition_factor = 1.2  # taxa de incremamento para trnsformadores velhos

# Determinacao do custo da manutecao
maintenance_cost = maintenance_cost_base * transformer_condition_factor
# Determinacao da probabilidade de ocorrencia de falta
fault_occurs = random.random() < fault_occur_probability
# Penalizacao por grau de severidade da falta
fault_penalty = fault_costs[fault_severity]
```

Fig. 12 – Definição de parâmetros para a Lógica de Recompensa.

E a lógica usada para a determinação da recompensa foi a seguinte:

```
# Calculo da recompensa
if action == 1:
    # Manutencao agendada
    if fault_occurs:
        # Falta prevenida
        reward = fault_prevented_reward + maintenance_cost
    else:
        # Manutencao feita mas desnecessaria
        reward = unnecessary_penalty + maintenance_cost

else:
    # sem manutencao
    if fault_occurs:
        # ocorreu falta, alta penalizacao
        reward = fault_penalty
    else:
        reward = 0
```

Fig. 13 – Lógica de Recompensa.

Depois de um treinamento de 500 episódios os resultados colhidos, estão ilustrados pela tendência de recompensas por episódios, com a média em -60, os dados analisados foram colhidos de transformadores com problemas de variados problemas.

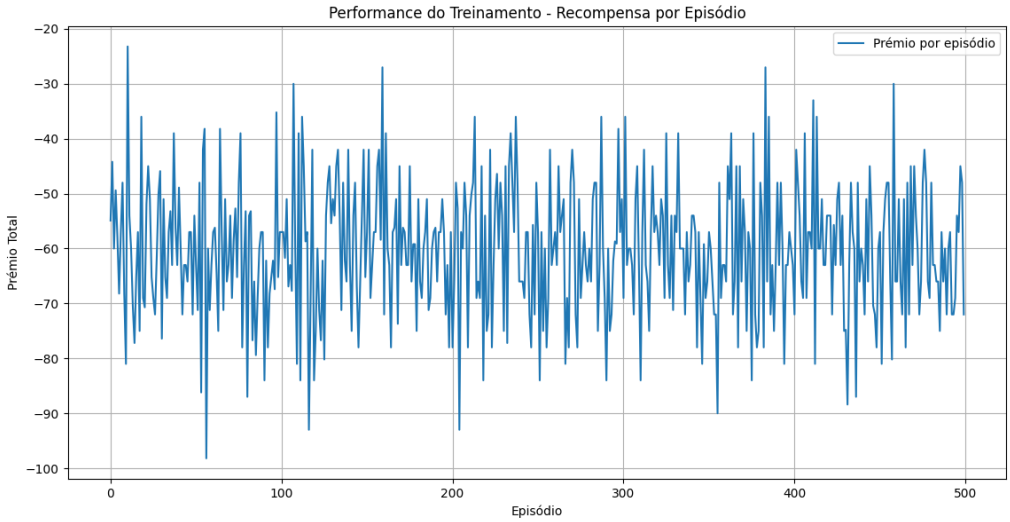


Fig. 14 – Perfomance do modelo CNN-DDQN.

Na imagem a seguir pode-se comparar as recompensas e as médias das recompensas por 50 episódio.

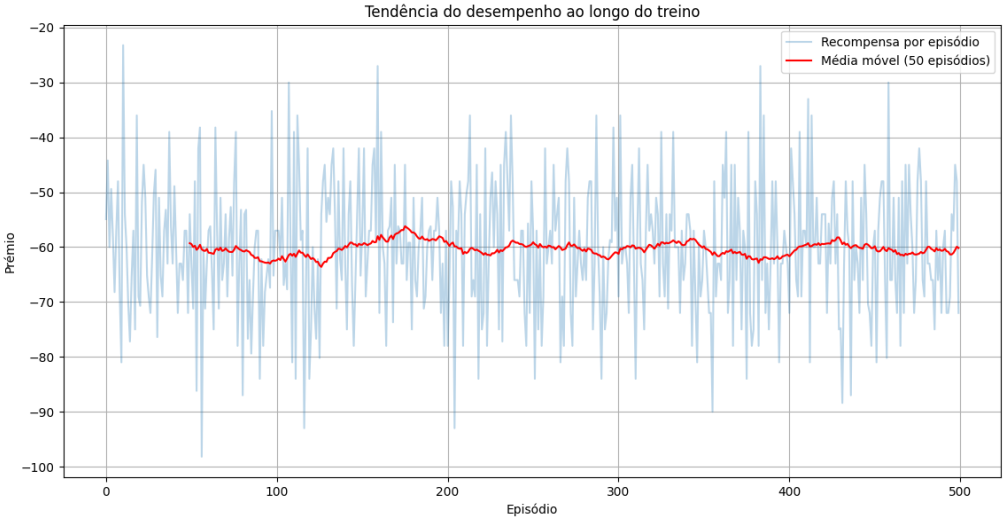


Fig. 15 – Comparação das recompensas e as médias das recompensas por 50 episódios.

ARTIGO Nº23532

SISTEMA DE RECARREGAMENTO REMOTO DE CONTADORES PRÉ-PAGOS DE ENERGIA ELÉCTRICA VIA SMS

Aziza Plantão[1(*)], Hélio Gove,[1] Hagira Gelo[1]

[1]Escola Superior de Ciências Náuticas – Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* aziza.plantao@gmail.com

RESUMO

O presente tema apresenta o desenvolvimento do sistema de recarregamento remoto de contadores pré-pagos de energia eléctrica via SMS, com o objectivo de tornar o processo de recarga mais acessível e conveniente para os consumidores moçambicanos. O sistema baseia-se no microcontrolador Arduíno integrado a um módulo GSM para permitir a comunicação entre o utilizador e o contador, através do envio de mensagens de texto (SMS) contendo os códigos de recarga previamente adquiridos através de vários estabelecimentos revendedores. Além da funcionalidade de recarregamento, o sistema também é capaz de monitorar o saldo disponível e enviar automaticamente uma mensagem de aviso ao utilizador quando o nível de crédito está baixo, garantindo maior previsibilidade e gestão eficiente do consumo energia, superando assim a limitação resultante em cortes de energia inesperados, uma vez que os consumidores podem esquecer de verificar o saldo disponível no contador. Para avaliar a aceitação e eficácia do sistema, foi conduzido um inquérito junto a um grupo de usuários, com foco na experiência de utilização, nível de satisfação e identificação dos principais benefícios percebidos. Os resultados apontam para uma elevada aceitação da solução, destacando-se a practicidade e a redução de falhas no fornecimento de energia devido à falta de saldo.

***Palavras-chave**:* Energia pré-paga, Recarregamento de energia eléctrica, Comunicações móveis.

INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias e a integração entre os sectores eléctrico e de telecomunicações, os sistemas de energia pré-paga têm ganhado destaque por oferecerem maior comodidade e controle de consumo aos usuários. Este tema apresenta o desenvolvimento de um sistema de recarregamento remoto para contadores pré-pagos de energia eléctrica, utilizando a rede de telefonia móvel. A proposta difere dos modelos tradicionais disponíveis no mercado, ao permitir que o utilizador envie códigos de recarga via SMS, por meio de um módulo GSM integrado a um microcontrolador Arduíno.

REFERÊNCIAS

Celfinet. (2011). Engineering solutions for mobile telecommunications operators. Lisboa.

Creder, H. (2016). Instalações Eléctricas, 16 ed. Rio de Janeiro: LTC.

EDM. (2018). Contador CREDELEC. ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, disponível em https://www.edm.co.mz/pt/products/contador-credelec acessado à 03/06/2024.

ARTIGO Nº23533

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CONTROLO DE IMEI PARA O COMBATE AO EXTRAVIO DE CELULARES EM MOÇAMBIQUE NO ANO DE 2024

Development of an IMEI Control System to Combat Mobile Phone Theft in Mozambique in 2024

Eduardo Filimone Guambe Júnior[1(*)], Hagira Gelo[2], Hélio Gove[3], Luís Cumaio[4]

[1]Escola Superior de Ciências Náuticas, Departamento de Rádio – Maputo, Moçambique
[2]Escola Superior de Ciências Náuticas, Departamento de Rádio – Maputo, Moçambique
[3]Escola Superior de Ciências Náuticas, Departamento de Rádio – Maputo, Moçambique
[4]Instituto Nacional das Comunicações de Moçambique, DEGE – Maputo, Moçambique
(*) *Email*: eguambejunior@gmail.com

RESUMO

Este estudo aborda o desenvolvimento de um sistema de controlo de IMEI com o objectivo de combater o extravio de celulares em Moçambique. A pesquisa destaca a crescente incidência desses crimes, impulsionada pela expansão do uso de dispositivos móveis. A estratégia de investigação adoptada integrou a revisão da literatura existente sobre mecanismos de controlo de IMEI, juntamente com a análise das práticas adoptadas em outros contextos internacionais. O sistema proposto visa criar uma plataforma colaborativa, envolvendo autoridades policiais, operadoras de telefonia móvel e outras partes interessadas, para a identificação e bloqueio de dispositivos móveis extraviados. A metodologia incluiu a colecta de dados primários e secundários, além de entrevistas com especialistas no campo das telecomunicações. Os resultados sugerem que a implementação desse sistema pode contribuir significativamente para a redução dos índices de criminalidade relacionados ao extravio de celulares em Moçambique.

***Palavras-chave*:** IMEI; Extravio de Celulares; Rede GSM.

ABSTRACT

This study presents the development of a centralized IMEI control system as a strategic solution to combat the loss and theft of mobile phones in Mozambique. In response to the growing dependence on mobile devices and the resulting increase in mobile-related crimes, the proposed system enables the registration, tracking, and blocking of stolen or lost devices. The architecture incorporates a centralized IMEI database, a secure API, a gateway module using SS7/MAP protocols, and integration with telecommunications operators. The methodology combined qualitative and quantitative approaches, including interviews with regulatory bodies and surveys with mobile phone users. The results indicate that the system operates efficiently with an average response time of two seconds per operation and full success in simulated telecommunications operator requests. Survey responses also revealed high public acceptance of such a solution, although there are concerns about privacy and data security. The system offers a viable and scalable approach to reducing mobile phone theft in Mozambique.

Keywords: IMEI, Mobile Phone Theft, GSM network.

INTRODUÇÃO

O aumento da utilização de dispositivos móveis em Moçambique tem sido acompanhado por uma escalada nos casos de extravio e furto de celulares, especialmente em centros urbanos como a cidade de Maputo (Chaúque, 2006). Esta realidade é agravada pela facilidade de substituição do cartão SIM e pela inexistência de um sistema nacional eficaz para o registo e controlo de IMEIs (*International Mobile Equipment Identity*), o que tem facilitado a proliferação de um mercado informal de revenda de aparelhos móveis.

Em muitos países, a implementação de sistemas centralizados de controlo de IMEI tem contribuído significativamente para a redução destes crimes, ao permitir o bloqueio remoto de dispositivos extraviados, impedindo a sua reutilização em redes móveis (ITU, 2020). No entanto, em Moçambique, tais mecanismos ainda se encontram numa fase embrionária ou inexistente, limitando a actuação das autoridades e das operadoras de telecomunicações.

Diante deste cenário, este artigo propõe o desenvolvimento de um sistema centralizado e seguro para o registo, verificação e bloqueio de IMEIs, com o objectivo de mitigar o uso indevido de dispositivos extraviados. O estudo inclui o levantamento de requisitos técnicos e legais, a construção de um protótipo funcional e a avaliação da aceitação da solução por parte dos utilizadores e entidades reguladoras, com foco no contexto urbano de Maputo.

ENQUADRAMENTO TEÓRICO

O controlo do IMEI (Identidade Internacional de Equipamento Móvel) tem sido amplamente adoptado a nível mundial como uma medida de combate ao extravio e à revenda ilegal de dispositivos móveis. O IMEI é um identificador numérico único atribuído a cada terminal móvel pelas entidades reguladoras ou fabricantes, conforme os padrões definidos pela GSMA (*Global System for Mobile Communications Association*). A actuação sobre este identificador permite que os dispositivos extraviados sejam inutilizados nas redes móveis, mesmo quando o cartão SIM é substituído (GSMA, 2019).

A tecnologia GSM, sobre a qual se baseia o funcionamento da maioria dos dispositivos móveis em Moçambique, permite a identificação do terminal através do IMEI, independentemente da operadora. Através de uma base de dados central, operadoras podem consultar e bloquear IMEIs marcados como roubados ou perdidos, conforme o modelo do **Equipment Identity Register (EIR)** estabelecido pelas normas 3GPP (3rd Generation Partnership Project, 2021).

A literatura mostra que países como a Colômbia, Chile e Brasil já implementaram sistemas nacionais de bloqueio de IMEI, com resultados significativos. Na Colômbia, por exemplo, o lançamento de uma base nacional de IMEIs em 2015 levou a uma redução de 36% nos roubos de telemóveis em dois anos (GSMA, 2017). Esses sistemas envolvem a partilha automática de bases de dados entre operadoras, forças de segurança e agências governamentais, promovendo um ecossistema integrado de resposta ao furto de dispositivos móveis (Gumbiner, 2018).

Por outro lado, desafios como a duplicação ou reprogramação ilegal do IMEI persistem, exigindo medidas adicionais de segurança, como a criptografia dos registos e a autenticação rigorosa dos acessos (Gumbiner, 2018). Para garantir a interoperabilidade internacional, a GSMA disponibiliza a **IMEI Database**, uma base global que permite a verificação cruzada de dispositivos, promovendo maior controlo e reduzindo os riscos de inconsistência ou fraude.

Em Moçambique, apesar da existência de legislação que regula os serviços de telecomunicações (Lei n.º 4/2016 e Decreto n.º 66/2019), ainda não há um sistema unificado de controlo e bloqueio de IMEI em funcionamento. O desenvolvimento de uma solução nacional integradora poderá apoiar os esforços das autoridades na contenção do crime organizado relacionado com telecomunicações e facilitar a cooperação entre operadoras e instituições públicas.

Deste modo, a proposta deste estudo alinha-se com tendências internacionais e com os princípios técnicos estabelecidos pela GSMA e 3GPP, oferecendo uma resposta prática ao contexto moçambicano.

METODOLOGIA

A presente investigação caracteriza-se como **aplicada e exploratória-descritiva**, visando o desenvolvimento de um sistema funcional de controlo de IMEI para combater o extravio e roubo de celulares em Moçambique. A abordagem metodológica adoptada foi **mista**, englobando técnicas **qualitativas e quantitativas**, conforme defendido por Gil (2008) e Marconi e Lakatos (2010).

Na vertente qualitativa, foram realizadas **entrevistas semiestruturadas** com técnicos do Instituto Nacional das Comunicações de Moçambique (INCM), forças de segurança pública e especialistas da área de telecomunicações. Essas entrevistas permitiram compreender os desafios normativos, operacionais e de segurança relacionados com o IMEI no contexto nacional.

Simultaneamente, aplicou-se um **inquérito quantitativo** à população moçambicana, utilizando um formulário estruturado, com o objectivo de recolher dados sobre o uso de dispositivos móveis, o conhecimento sobre IMEI e a aceitação de um sistema de bloqueio. A amostra foi composta por utilizadores de diferentes faixas etárias, níveis de escolaridade e zonas geográficas, com especial foco em Maputo e arredores.

Do ponto de vista técnico, o sistema foi desenvolvido com base em tecnologias *open source*, incluindo:

- **PHP** para a construção da API RESTful;
- **Python** para a simulação do gateway SS7/MAP;
- **MySQL** como sistema de gestão de base de dados relacional;
- **Bootstrap** como framework para a interface web.

O sistema foi desenhado com base em arquitectura modular, e obedece aos princípios de segurança, interoperabilidade e escalabilidade, conforme recomendado pela GSMA (2019) e 3GPP (2019).

As funcionalidades principais do sistema foram testadas em ambiente de simulação, avaliando o **tempo de resposta**, **confiabilidade**, **taxa de sucesso de requisições**, e **resistência a acessos não autorizados**. Os dados recolhidos foram organizados em tabelas e gráficos para análise.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Arquitectura Do Sistema De Bloqueio

O sistema é composto por três módulos principais:

- **Central de Registo de IMEIs Extraviados**: portal exclusivo para autoridades autorizadas, com autenticação forte e registo criptografado de IMEIs .

- **API**: *endpoints* para registo, consulta e sincronização com bases GSMA, protegidos por JWT e HTTPS .
- **Gateway SS7/MAP**: simula mensagens MAP para bloqueio nas MSC/VLR das operadoras, assegurando interoperabilidade em tempo real.

A solução segue o diagrama da Figura 1, integrando componentes web, banco de dados seguro, serviços REST e interface com redes móveis via SS7/MAP

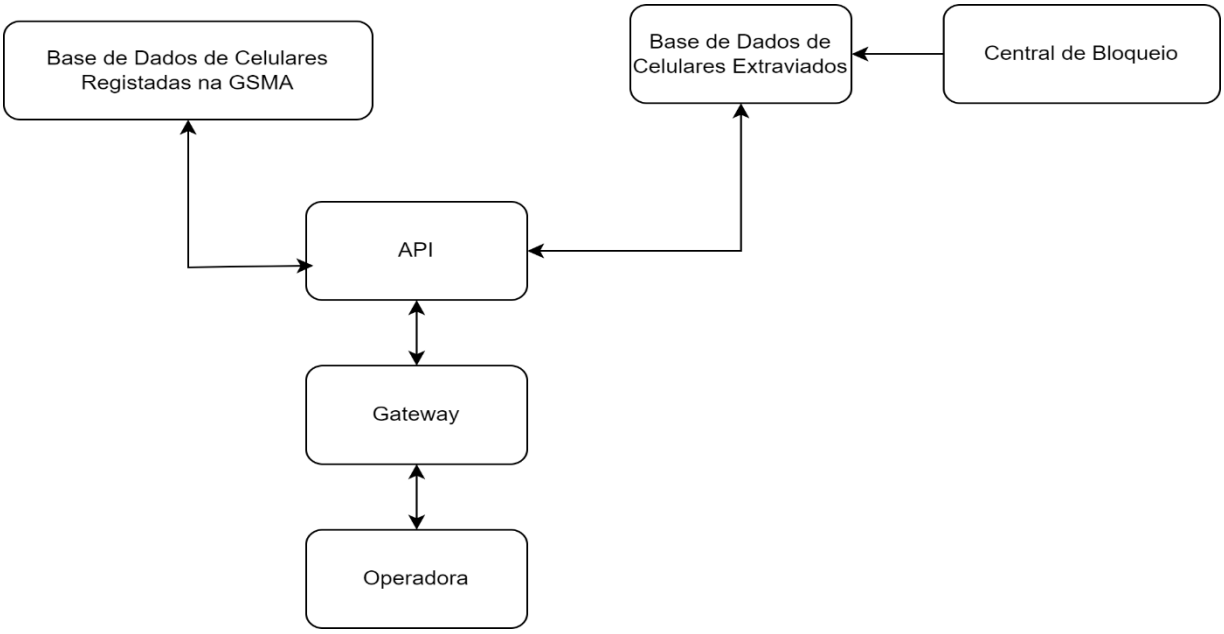


Figura 7: Diagrama de blocos da arquitetura do sistema

A arquitectura do Sistema de Controlo de IMEI foi concebida para combater o roubo de telemóveis através da gestão rigorosa do registo e consulta de dispositivos extraviados, bem como da partilha dessas informações com as operadoras de telecomunicações. O sistema é composto por diversos blocos interligados que desempenham funções específicas, garantindo a segurança, integridade e eficiência na gestão dos dados.

No centro da arquitectura está a **Central de Registo de Celulares Extraviados**, que funciona como o ponto de entrada para os registos de dispositivos móveis perdidos. O acesso a esta central é restrito a entidades autorizadas, como órgãos de segurança pública e entidades reguladoras, mediante autenticação por credenciais específicas. Após autenticada, a autoridade pode registar o IMEI do dispositivo, que é imediatamente marcado como bloqueado, impedindo o seu acesso à rede. Todos os dados são protegidos por criptografia de ponta a ponta. A central está ainda integrada com as bases de dados internas do sistema, permitindo a partilha imediata e actualizada das informações registadas.

A **Base de Dados de IMEIs de Celulares Extraviados** armazena, de forma centralizada e segura, os registos de todos os dispositivos marcados como extraviados. É a referência principal para consultas realizadas por operadoras e entidades competentes. Estruturada em tabelas detalhadas, esta base permite o cruzamento de dados com a **Base de Dados de Celulares Registados na GSMA**, que contém registos oficiais e globais de dispositivos móveis. Esta última, embora simulada no contexto do sistema, reproduz a funcionalidade da base real da

GSMA e é utilizada para validar a autenticidade dos dispositivos, prevenindo o registo de IMEIs falsos ou clonados.

A interligação entre os módulos do sistema é assegurada pela **API**, que funciona como intermediária nas comunicações internas e externas. A API realiza funções essenciais como autenticação, consulta do estado de IMEIs e integração com sistemas externos, nomeadamente os das operadoras. Cada operação é protegida por uma chave de API, garantindo que apenas utilizadores legitimados possam aceder às funcionalidades.

O **Gateway** actua como a ponte entre o sistema interno e as operadoras de telecomunicações. Recebe as solicitações da API, processa os dados e transmite as ordens (como bloqueio ou rastreamento de dispositivos) às operadoras através de protocolos seguros. É através deste componente que se garante a comunicação segura e eficaz com o exterior.

Por fim, as **operadoras de telefonia** são os agentes finais na cadeia de controlo. Estas utilizam o sistema para verificar o estado dos dispositivos com base nos IMEIs e, conforme a resposta recebida através do Gateway, tomam medidas adequadas como o bloqueio do dispositivo ou a actualização dos seus próprios registos. Este processo é crucial para assegurar que dispositivos roubados ou extraviados não possam ser utilizados nas redes móveis, promovendo assim uma maior segurança no ecossistema das telecomunicações.

Resultados Técnicos do Sistema

Durante os testes funcionais, a Central de Bloqueio de Celulares Extraviados demonstrou um tempo médio de resposta de 2 segundos por operação, permitindo o registo e bloqueio de IMEIs com elevada eficiência. A autenticação baseada em credenciais funcionou correctamente, bloqueando todos os acessos não autorizados durante os testes, conforme as boas práticas de segurança descritas pelo SANS Institute (2021).

A API PHP respondeu em média em 2 segundos, conseguindo processar até 30 requisições por minuto sem falhas. Já o gateway SS7/MAP, desenvolvido em Python, simulou com sucesso comunicações com operadoras móveis, com uma taxa de sucesso de 100%, validando a interoperabilidade proposta.

Tabela 9: Resultados Técnicos do Sistema

Componente	Tempo médio (s)	Taxa de sucesso (%)	Req./min
Central de Registo	2,0	100	–
API RESTful (PHP)	2,0	100	30
Gateway SS7/MAP	0,5	100	–
Simulação Interoperadoras	2,0	100	–

Resultados do Inquérito à População

A análise dos inquéritos revelou que 64,7% dos inquiridos afirmaram conhecer o IMEI, mas 35,3% ainda desconhecem a sua importância. A maioria (87,4%) mostrou-se disposta a registar o IMEI dos seus dispositivos, indicando uma forte aceitação da proposta de implementação. No entanto, destacaram-se preocupações com a privacidade (73,9%) e com a segurança dos dados (72,3%), aspectos que devem ser considerados no planeamento da execução do sistema.

Os resultados também demonstram a importância do telemóvel na vida quotidiana: 98,3% dos inquiridos usam o dispositivo diariamente e 71,4% consideram-no muito importante. Estes

dados reforçam a necessidade de políticas públicas para proteger os cidadãos do extravio de equipamentos.

Tabela 10: Resultados do Inquérito à População

Indicador	Percentual (%)
Conhecimento do IMEI	64,7
Disposição para registar o IMEI	87,4
Preocupação com privacidade	73,9
Preocupação com segurança	72,3
Uso diário do telemóvel	98,3
Considera o telemóvel "muito importante"	71,4

A combinação entre os resultados técnicos robustos e a alta aceitação pública indica que a implementação de um sistema nacional de controlo de IMEI é viável e desejável. Contudo, será essencial garantir medidas de protecção de dados, formação dos agentes autorizados, e uma campanha de sensibilização à população, conforme também reforçado por Carvalho e Badinhan (2011).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Conclusão

O estudo realizado demonstra que a implementação de um sistema de controlo de IMEI em Moçambique tem potencial para reduzir significativamente os índices de extravio de celulares, oferecendo uma solução prática e adaptada às necessidades do país. A análise indicou que a criação de uma plataforma colaborativa entre operadoras de telecomunicações, autoridades reguladoras e entidades de segurança pública é não apenas viável, mas essencial para o sucesso do sistema. Contudo, sua eficácia dependerá de adaptações técnicas específicas e de um suporte regulatório robusto.

Entre as soluções viáveis identificadas, destaca-se o desenvolvimento de uma base de dados centralizada, gerida pelo INCM, que permita o registo, monitoramento e bloqueio de dispositivos móveis extraviados. A integração com as redes das operadoras locais e internacionais também é crucial, utilizando protocolos e APIs seguras para garantir a interoperabilidade e o funcionamento contínuo do sistema. Além disso, é necessário implementar campanhas de conscientização pública para aumentar o conhecimento da população sobre a importância do IMEI e promover a adesão ao sistema. Outro aspecto fundamental é a criação de um comité regulador centralizado, responsável por coordenar os esforços entre as partes interessadas, garantir o cumprimento das regulamentações e supervisionar a operação do sistema. Esse comité também deve liderar a elaboração de políticas claras que abordem questões de privacidade e protecção de dados, para assegurar a confiança dos usuários no sistema.

A pesquisa revelou que, com as adequações mencionadas, o sistema de controlo de IMEI pode ser integrado de forma eficaz ao ambiente de telecomunicações existente em Moçambique. Embora desafios técnicos e operacionais tenham sido identificados, as soluções propostas neste trabalho oferecem um caminho concreto para a implementação de um sistema funcional e sustentável, com benefícios directos para a segurança pública e a protecção dos consumidores moçambicanos.

Recomendações

Com base nos resultados e conclusões obtidos durante a pesquisa, são feitas as seguintes recomendações:

- Estabelecer marco regulatório específico para bloqueio e desbloqueio de IMEIs em Moçambique, contemplando obrigações para operadoras e mecanismos de recurso para usuários.
- Criar um comité interinstitucional (INCM, operadoras, polícia e órgãos de defesa do consumidor) para governança do sistema.
- Promover campanhas educativas multilíngues, explorando canais digitais e presenciais, para conscientizar sobre o valor do IMEI na protecção dos dispositivos.
- Implementar módulo de monitoramento contínuo e relatórios gerenciais para identificar fraudes e padrões de uso indevido, fundamentado em metodologias de mineração de dado.

REFERÊNCIAS

3GPP. (Julho de 2019). Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Numbering, addressing and identification. Obtido em 23 de Junho de 2024, de https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123003/15.07.00_60/ts_123003v150700p.pdf

Carvalho, F., & Badinhan, D. (2011). *Redes de telecomunicações: segurança e criptografia*. LTC.

Chaúque, E. (2006). Ainda não foi criado em Moçambique um movimento para travar o roubo de telemóveis. *Matinal*, 3–4.

Folha de Maputo. (2016). Mais de mil celulares extraviados por dia em Moçambique. *Folha de Maputo*, 12(45), 5–6.

Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4ª ed.). Atlas. Gumbiner, J. (2018). Using IMEI control systems to combat stolen, fraudulent, and counterfeit mobile phones: A Colombia case study. IDC Latin America. GSMA. (2019). *Principles of IMEI allocation*. GSM Association.

GSMA. (2018). The Mobile Economy Sub-Saharan Africa 2018. Londres, Reino Unido: GSMA.

GSMA. (2019). IMEI Allocation and Approval Process . Obtido em 20 de Junho de 2024, de https://www.gsma.com/newsroom/wp-content/uploads/TS.06-v16.0.pdf

Gumbiner, J. (2018). Using IMEI control systems to combat stolen, fraudulent, and counterfeit mobile phones: A Colombia case study. IDC Latin America.

International Telecommunication Union. (2020). *Reliability of international mobile station equipment identity*. ITU. Lakatos,

E. M., & Marconi, M. A. (2003). *Fundamentos de metodologia científica* (5ª ed.). Atlas. Lakatos,

Lakatos, E. M., & Marconi, M. (2010). Fundamentos de metodologia científica (7ª ed.). São Paulo: Atlas.

SANS Institute. (2021). *Telecommunications network security*. SANS.

ARTIGO Nº23539

SISTEMA DE RASTREAMENTO E MONITORAMENTO DA LOCALIZAÇÃO DE EMBARCAÇÕES E CONTROLO DAS ACTIVIDADES DE PESCA ARTESANAL LOCAL NA BAÍA DE MAPUTO

Bernardino Jaime Cuambe Júnior(*)**, Natalino Abílio Manjate, Helio Gove**
Escola Superior de Ciências Náuticas, Departamento de Rádio – Maputo, Moçambique
(*) *Email*: bernardinocuambe29@gmail.com

RESUMO

O rastreamento de embarcações e o monitoramento das actividades pesqueiras são fundamentais para garantir a sustentabilidade da pesca artesanal local na Baía de Maputo. Neste projecto foi desenvolvido um sistema integrado utilizando um Dispositivo de Localização Automática (DLA), *geofence* e uma plataforma *online* de controlo em tempo real. Os resultados demonstraram que o sistema é eficaz no controlo das actividades pesqueiras, emitindo alertas e gerando relatórios precisos.

***Palavras-chave*:** *Geofence*, LoRa, Pesca Artesanal Local, Baía de Maputo.

INTRODUÇÃO

A pesca artesanal é vital para a subsistência e segurança alimentar das comunidades costeiras da Baía de Maputo. Dada a crescente pressão sobre os recursos marinhos e a prática da pesca ilegal, o presente estudo propôs e desenvolveu um sistema tecnológico de rastreamento e controlo de embarcações artesanais. Utilizando GPS, LoRa, plataforma web e Power BI, o sistema visa garantir o cumprimento das normas pesqueiras, oferecer dados em tempo real e promover a sustentabilidade pesqueira.

REFERÊNCIAS

Boletim da República Diploma Ministerial n.º 58/2009. *Plano Nacional de Acção para Prevenir, Impedir e Eliminar a Pesca Ilegal não Reportada e não Regulamentada*. 09 de Outubro de 2009.

Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas (MIMAIP). (2019). *Elaboração de Uma Estratégia para um Sistema de Monitoramento, Controle e Fiscalização (MCS) em Moçambique*. Maputo

Boletim da República, decreto n.º 89/2020 de 8 de Outubro. *Regulamento da Pesca Marítima (REPMAR)*. 08 de Outubro de 2020.

Clers, E.M.S. (2014). *Elaboração de uma Estratégia para um Sistema de Monitoramento, Controle e Fiscalização (MCS) em Moçambique*. Maputo.

ARTIGO Nº23548

DADOS PESSOAIS: DIREITOS E DEVERES NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL – UMA PERSPECTIVA FOCADA NO TITULAR DOS DADOS EM MOÇAMBIQUE

Vitor M.O.B. Guerra [1(*)]

[1]ALTEL – Soluções Globais de Comunicação, Lda – Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* vguerra@altel.co.mz

RESUMO

Com o avanço da Inteligência Artificial (IA), o tratamento de dados pessoais tornou-se cada vez mais automatizado, complexo e suscetível a riscos como discriminação algorítmica e violação de privacidade, exigindo uma reavaliação dos direitos e deveres dos titulares desses dados. Este artigo propõe uma reflexão sobre os direitos e deveres dos titulares de dados pessoais na era da IA, com foco no contexto moçambicano. A análise é baseada na Lei n.º 3/2017, de 9 de janeiro – Lei das Transações Electrónicas de Moçambique – e no quadro jurídico internacional, incluindo a Lei Geral de Proteção de Dados do Brasil e o Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados da União Europeia (GDPR). Conclui-se que a efetividade da proteção de dados na era digital requer não apenas o aprimoramento legislativo, mas também o fortalecimento da cultura de privacidade e da literacia digital por parte dos titulares, bem como da responsabilidade compartilhada entre Estado, empresas e indivíduos.

***Palavras-chave**:* proteção de dados; Moçambique; inteligência artificial; direitos digitais; titular dos dados; privacidade.

INTRODUÇÃO

A digitalização das sociedades contemporâneas ao mesmo tempo que tem promovido inovações nos setores de saúde, finanças, segurança e comunicação, tem provocado profundas transformações na forma como dados pessoais são coletados, armazenados e processados. Tecnologias baseadas em Inteligência Artificial (IA) introduzem novas formas de vigilância, personalização e automatização de decisões, ampliando os riscos e desafios à privacidade e aos direitos fundamentais, levantando preocupações legítimas quanto à privacidade e ao uso ético da informação pessoal. No contexto africano, e particularmente em Moçambique, esses desafios são acrescidos por questões estruturais, como a incipiente implementação de políticas públicas de proteção de dados e a limitada consciencialização dos cidadãos sobre seus direitos digitais.

A Lei n.º 3/2017, de 9 de janeiro, que regula as transações eletrónicas em Moçambique, representa um primeiro passo importante ao incluir disposições sobre proteção de dados pessoais. Todavia, a efetividade dessas normas depende da sua operacionalização e da consciência dos cidadãos sobre seus próprios direitos e deveres na sociedade digital.

DADOS PESSOAIS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Dados pessoais são definidos como qualquer informação relativa a uma pessoa singular identificada ou identificável. Isso inclui nome, número de identificação civil, localização geográfica, preferências de consumo, dados biométricos, entre outros. Quando processados por

sistemas de IA, esses dados podem ser usados para identificar padrões, prever comportamentos e tomar decisões automatizadas que impactam a vida dos cidadãos. Dados sensíveis, tais como opiniões políticas, convicções religiosas e informações sobre saúde, requerem proteção reforçada devido ao seu potencial discriminatório.

A Inteligência Artificial, por sua capacidade de aprender com grandes volumes de dados, acentua o risco de reidentificação e inferências abusivas, levando à hipercoleta de informações, aumentando o risco de violação da privacidade e de uso discriminatório, especialmente quando algoritmos reproduzem vieses históricos ou culturais embutidos nos dados.

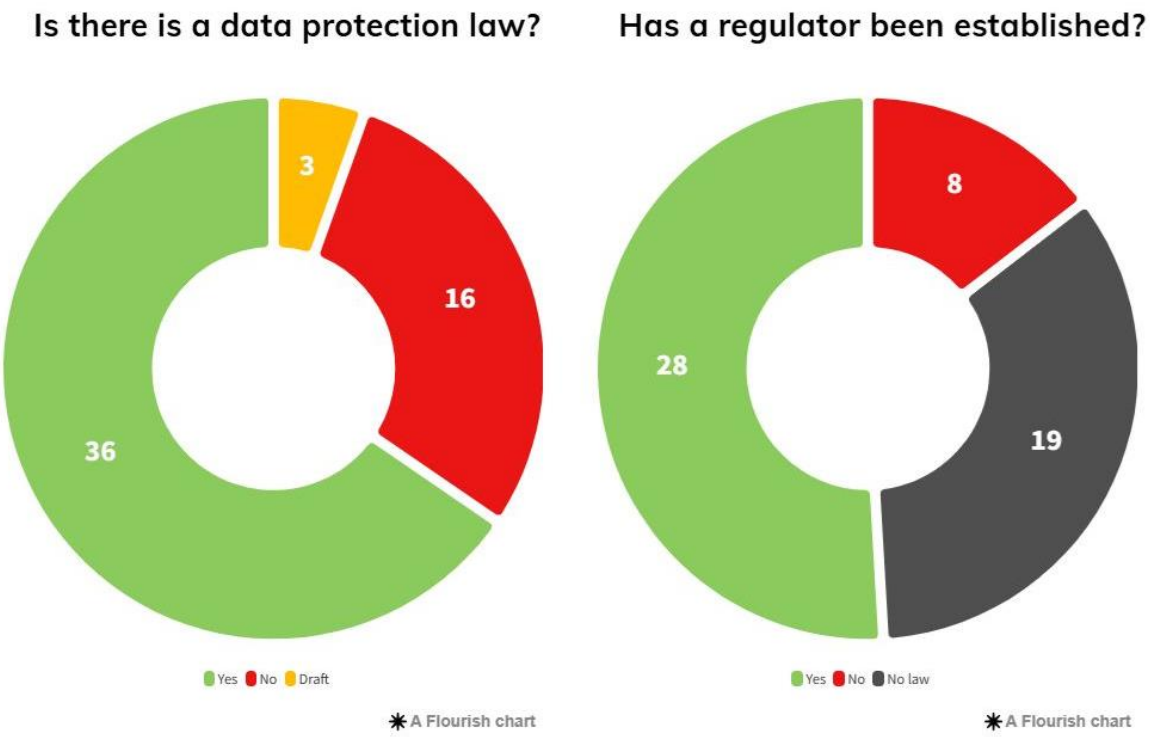
DIREITOS DOS TITULARES DE DADOS EM MOÇAMBIQUE

A **Lei n.º 3/2017**, de 9 de janeiro, dedica os artigos 63.º a 65.º à proteção de dados pessoais, estabelecendo princípios e obrigações fundamentais:

- **Artigo 63.º – Princípios de proteção de dados pessoais**: Determina que a coleta, processamento e divulgação de dados devem respeitar os princípios de veracidade, atualidade e confidencialidade. Os titulares devem ser informados de forma clara sobre os objetivos da coleta e a identidade do responsável pelo tratamento.
- **Artigo 64.º – Acesso e transferência de dados pessoais**: Proíbe o acesso não autorizado a bancos de dados e estabelece restrições à transferência de dados entre diferentes entidades, salvo por autorização legal ou judicial.
- **Artigo 65.º – Responsabilidade do processador de dados**: Exige que o responsável pelo tratamento nomeie pessoas incumbidas de assegurar o cumprimento da lei e que mantenha políticas claras de gestão de dados acessíveis ao público.

Embora a legislação moçambicana ainda não preveja expressamente o **direito à explicação de decisões automatizadas**, como previsto no artigo 22.º do GDPR europeu, a interpretação extensiva dos princípios da transparência e da informação (art. 63.º) permite que tal direito venha a ser reivindicado judicialmente.

Moçambique é um dos 19 paises em Africa que ainda não possui uma Lei especifica de Proteção de Dados, sendo que 3 desses já se encontram em fase adiantada de preparação. No entanto o Instituto Nacional de Tecnologias de Informação e Comunicação (INTIC) já iniciou a preparação da Proposta de Lei que se encontra em fase de Consulta Publica e tem como objectivo a apresentação de um instrumento legal que possa de garantir os direitos fundamentais, privacidade bem como salvaguardar os direitos dos cidadãos reconhecidos pela Declaração Universal dos Direitos do Homem e pela Carta Africana dos Direitos do Homem e dos Povo, na ordem jurídica interna, relativo à proteção dados.



DEVERES DOS TITULARES DE DADOS

Os titulares de dados não devem ser vistos apenas como sujeitos passivos da legislação, mas também como atores que desempenham um papel ativo na preservação de sua privacidade. Em Moçambique, onde a literacia digital ainda é limitada, é necessário fomentar a responsabilização individual em práticas como:

- Evitar o compartilhamento excessivo de informações pessoais em redes sociais e plataformas digitais.
- Ler e compreender os termos de uso e políticas de privacidade de serviços online.
- Utilizar configurações de privacidade disponíveis em dispositivos e aplicativos.
- Reportar abusos ou práticas ilícitas a entidades competentes, como Plataforma de Denuncias Online da PGR e a futura Comissão Nacional de Proteção de Dados.

A criação de uma cultura de privacidade depende de iniciativas educativas e de sensibilização que promovam o empoderamento digital do cidadão moçambicano, tendo em conta que se trata de um País onde o acesso à educação digital e à informação jurídica é desigual e limitado, tornando os titulares mais vulneráveis à exploração de seus dados.

DESAFIOS REGULATÓRIOS E ÉTICOS NA ERA DA IA

O desenvolvimento e a implementação de sistemas de IA colocam em xeque princípios fundamentais do direito à privacidade e à autodeterminação informativa. A opacidade algorítmica (conhecida como “efeito caixa-preta”) desafia os princípios da transparência e da responsabilização dificultando a identificação de erros e vieses em decisões automatizadas.

Em Moçambique, os principais desafios incluem:

- A ausência de uma **autoridade nacional de proteção de dados funcional**.
- A insuficiência de recursos técnicos e humanos para auditoria e fiscalização dos sistemas de IA;
- A necessidade de regulamentação complementar específica para tecnologias emergentes;
- A carência de políticas públicas voltadas à literacia digital e proteção de dados.

É essencial que o país avance para além da letra da lei, promovendo uma governança digital eficaz, participativa e orientada pelos direitos humanos.

Já se encontra também em fase embrionária de preparação uma Lei para promoção da utilização da Inteligência Artificial, encontrando-se o INTIC na fase de preparação do Caderno de Encargos para o Concurso de Consultoria para o efeito.

CONCLUSÕES

A proteção de dados pessoais na era da Inteligência Artificial representa um dos maiores desafios jurídicos e éticos contemporâneos exigindo uma abordagem multifacetada, que combine regulação eficaz, educação digital e responsabilização ética. Em Moçambique, a Lei n.º 3/2017 oferece um ponto de partida, mas é insuficiente para lidar com as complexidades da IA sem um esforço coordenado entre o Estado, o setor privado e a sociedade civil. O titular dos dados precisa estar no centro dessa equação, ciente de seus direitos e engajado na construção de uma cultura de privacidade e responsabilidade digital. Só assim será possível garantir que os benefícios da IA não comprometam os direitos fundamentais dos cidadãos.

REFERÊNCIAS

MOÇAMBIQUE. Lei n.º 3/2017, de 9 de janeiro. Lei das Transações Eletrónicas. Boletim da República.

UNIÃO EUROPEIA. Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de abril de 2016 (Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados – GDPR).

BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018. Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD). Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/l13709.htm.

ZUBOFF, Shoshana. *A era do capitalismo de vigilância: a luta por um futuro humano na nova fronteira do poder*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2020.

UNESCO. Recomendação sobre a Ética da Inteligência Artificial. Paris, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/.

COMISSÃO AFRICANA DOS DIREITOS HUMANOS E DOS POVOS. Declaração de Princípios sobre Liberdade de Expressão e Acesso à Informação em África, 2019.

PAPER Nr.23500

SEARCH SPACE DISCONTINUITY-AWARE CROSSOVER OPERATOR FOR THE OPTIMAL DESIGN OF HYBRID COMPOSITE STRUCTURES

Ricardo O. Faria[1(*)], Carlos C. António[1(**)]

[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, INEGI - Porto, Portugal
[(*)]*Email:* faria.ricardo10@gmail.com
[(**)]*Email:* cantonio@fe.up.pt

ABSTRACT

In the context of a multi-objective memetic algorithm, a crossover operator is proposed which displays improved efficiency in mixed-variable optimization problems by preventing genetic recombination across disconnected regions of the search space. This is achieved via a mate selection mechanism that imposes that any solutions that are to be combined must possess identical positions for each of the integer variables that determine the material distribution of the corresponding structure, thereby increasing the chances that their offspring inherit real variable-encoding genes that are specifically adapted to their (continuous) subdomain.

Keywords: memetic algorithm, laminate, mixed-variable, species

INTRODUCTION

Optimal design of structures made of hybrid composites is often a mixed-variable problem, namely when it concerns sizing, anisotropy and material selection optimization. In a multi-objective optimization problem, there often exist significant correlations between the alleles found in the genotypes of a set of optimal solutions, which are associated with different trade-offs along the Pareto front (António, 2024). Since crossover operators explore the design space between multiple parent solutions, it may be inferred that combining genetically dissimilar, reasonably fit parents often leads to unfit offspring - outbreeding depression. In fact, an offspring's fitness depends not only on the performance of each of its alleles as measured individually, but also on interactions between different alleles (Dawkins, 2016). Minor variations in material selection (integer) variables are expected to lead to significantly different adaptations in terms of sizing and anisotropy variables, since there are significant discontinuities between the properties of different materials.

Memetic algorithms (MAs) (Moscato et al., 1989) hybridize evolutionary strategies with local heuristics in order to achieve a trade-off between the exploratory capabilities of the former and the emphasis on exploitation typical of the latter. MAs are an application of the Selfish Gene theory (Dawkins, 2016), which describes how, in the same way that the gene is the unit of biological evolution, the *meme* represents a unit of cultural evolution and is similarly subjected to selfish replication. In practice, MAs make use of one or more populations that store both genotypes and *memes*, where the former represent solutions to a specific problem, while the latter indicate the strategies used to generate or improve those solutions.

OPTIMIZATION MODEL

Each of the structure's necessarily symmetrical laminates (fig. 1) is modelled with 9-node Marguerre shell elements or 3-node Timoshenko beam elements, while their layers are assumed to display constant through the thickness stress distributions and stiffness (Pica, Wood and Hinton, 1980). Each layer of a beam laminate has its fibres aligned with the beam's longitudinal axis and the width of each mirroring pair of layers, w_{ij}, is an independent design variable. Conversely, each layer pair j of any shell laminate i may present an independent fibre orientation θ_{ij}. Irrespective of laminate type, each layer pair has its own thickness value t_{ij} and is made of a composite material identified by an integer design variable, π_{ij}. The design variables, **u**, are summarized in table 1.

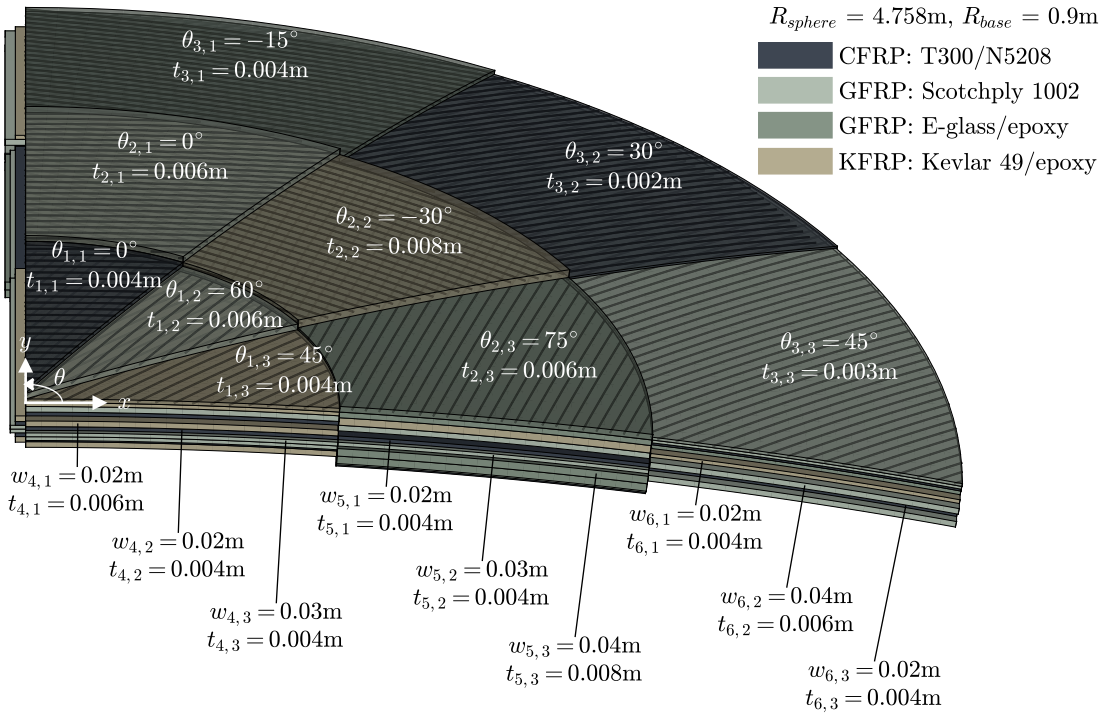


Figure 1: Beam-reinforced shallow shell structure for a given set of design variables. The subscripts (i, j) refer to a particular laminate and layer, respectively. The top layers of the shell laminates are partially represented.

Table 1: Design variables

laminate type	variable		group
shell	angle	θ_{ij}	$\boldsymbol{\theta}$
	thickness	t_{ij}	$\boldsymbol{t}$
	material ID	π_{ij}	$\boldsymbol{\pi}$
beam	width	w_{ij}	$\boldsymbol{w}$
	thickness	t_{ij}	$\boldsymbol{t}$
	material ID	π_{ij}	$\boldsymbol{\pi}$

The optimization problem is defined as:

$$\text{Minimize } \mathbf{f}(\mathbf{u}) \text{ subject to } \mathrm{g}(\mathbf{u}) \leq 0 \tag{1}$$

The objective functions, $\mathbf{f}(\mathbf{u})$ are the mass, m, and the strain energy's mean value, U, standard deviation, std(U), and coefficient of variation, $c_v(U)$ (António, 2024). While the mass is directly obtained from the design variables - *phenotype* - the objectives related to the strain energy and the constraints, g$(\mathbf{u})$ require solving the nonlinear equilibrium equation:

$$\mathbf{F}_{\text{res}}(\mathbf{d}) = \mathbf{F}_{\text{int}}(\mathbf{d}) - \mathbf{F}_{\text{ext}} = \mathbf{0} \tag{2}$$

where $\mathbf{F}_{\text{int}}$ and $\mathbf{F}_{\text{ext}}$ are the internal and external forces, respectively. The Newton-Raphson method is used to obtain its solution by iteratively approximating the displacement:

$$\mathbf{d}_{i+1} = \mathbf{d}_i + \delta\mathbf{d}_i, \quad \delta\mathbf{d}_i = -\frac{\partial \mathbf{F}_{\text{res}}}{\partial \mathbf{d}_i}\, \mathbf{F}_{\text{res}} = -\mathbf{K}_i^{-1}\, \mathbf{F}_{\text{res}} \tag{3}$$

where $\mathbf{K}_i$ is the structure's tangent stiffness matrix. António (1999) describes in detail the arc-length method which appropriately deals with cases of geometrical instability. The objective functions then come as:

$$\mathbf{f}(\mathbf{u}) \subset \left\{ \begin{array}{c} m \\ U \\ \text{std}(U) \\ c_v(U) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{c} \displaystyle\sum_{ij} \rho_{ij}\, area_{ij}\, t_{ij} \\ \frac{1}{2}\, \mathbf{F}_{\text{ext}} \cdot \mathbf{d} \\ \sqrt{\sum \text{std}(x_i)^2 \left(\frac{\partial U}{\partial x_i}\right)^2}, \quad \frac{\partial U}{\partial x_i} \approx -\frac{1}{2}\, \mathbf{d} \cdot \frac{\partial \mathbf{K}}{\partial x_i}\mathbf{d}, \quad \boldsymbol{x} = [\theta, \boldsymbol{w}, \boldsymbol{t}] \\ \frac{\text{std}(U)}{U} \end{array} \right\} \tag{4}$$

The constraint, g$(\mathbf{u})$, determines the feasability of each structural solution through a critical load factor, λ_{crit}, defined in terms of the buckling and first-ply failure (FPF) load factors (António, 2006):

$$\text{g}(\mathbf{u}) = 1 - \lambda_{\text{crit}}, \quad \lambda_{\text{crit}} = \min(\lambda_{\text{b}}, \lambda_{\text{FPF}}) \tag{5}$$

OPTIMIZATION ALGORITHM

The MOMA is characterised by a horizontal scheme of *subpopulations* (SP) that evolve sequentially and in parallel with an enlarged *virtual population* (VP). Each SP evolves over a set of active genes for a certain number of generations - *isolation stage*. The VP receives solutions from the SPs during the evolutionary process and also participates in generating solutions (**??**). The *success rate* of the operators during an epoch dictates their chance of being selected at every generation of each SP's *isolation stage* for the next epoch.

Algorithm 1 MOMA

for each $epoch$, SP, $generation$ **do**
  Update gene activation
  Select operators
  Generate solutions
  Substitute clones
  Evaluate new solutions
  Assign fitness
  Update the VP
end for

Domain decomposition

Changing the set of design variables that are active at a given stage can enhance exploration, by decomposing the design space (António, 2006). The distinct implications of each set of variables justify a natural decomposition of the MOOP (table 2). Namely, $\boldsymbol{t}$, $\boldsymbol{w}$ and $\boldsymbol{\pi}$ determine the mass, θ is associated with anisotropy and $\boldsymbol{\pi}$ defines the material properties.

Table 2: Variables' activation

SP	θ	$\boldsymbol{t}$	$\boldsymbol{w}$	$\boldsymbol{\pi}$
1	1	1	1	1
2	1	1	1	0
3, even generation	1	0	0	1
3, odd generation	0	1	1	1

The presence of integer design variables, $\boldsymbol{\pi}$, leads to significant discontinuities in the search space. This phenomenon can be adequately dealt with by leveraging the concept of *species*: each species is defined by a unique material distribution at the structure level. This approach allows for the identification of continuous sub-regions of the search space and enables better adaptation of the optimization process in the exploration of local *optima* (António, 2006).

Constrained dominance

The concept of dominance is used to compare solutions in terms of their objectives and constraint violations. A solution is Pareto-optimal if and only if it is not dominated by any other solution, and the set of all Pareto solutions is called the Pareto front. $\mathbf{u}_i$ dominates $\mathbf{u}_j$ if:

$$\begin{gathered} \mathrm{v}(\mathbf{u}_i) < \mathrm{v}(\mathbf{u}_j) \\ \vee \\ \mathrm{v}(\mathbf{u}_i) = 0 \ \wedge \ \forall k, \mathrm{f}_k(\mathbf{u}_i) \leq \mathrm{f}_k(\mathbf{u}_j) \ \wedge \ \exists k \colon \mathrm{f}_k(\mathbf{u}_i) < \mathrm{f}_k(\mathbf{u}_j) \end{gathered} \tag{6}$$

with the constraint violation given by:

$$\mathrm{v}(\mathbf{u}) = \sum_k \max(\mathrm{g}_k(\mathbf{u}),\ 0) \tag{7}$$

Local fitness assignment

The local fitness depends not only on local dominance (eq. 6) but also applies the concept of *niching* (Fonseca, Fleming et al., 1993). This procedure aims to penalize same-rank solutions whose objectives are comparatively closer and therefore do not provide new, sufficiently distinct compromises between the objectives being considered, while benefiting those which provide greater exploratory potential and possess the same exploitative effect. This effect is achieved by calculating the average fitness, F_k^{avg}, of each rank k and applying a bias to obtain the fitness of each solution belonging to that rank, such that the rank's average fitness remains the same:

$$F_k^{\text{avg}} = \sum_j (1) - \sum_{r_j<k} (1) - \frac{1}{2}\left(\sum_{r_j=k} (1) - 1\right) \tag{8}$$

The niche count, nc_i, of solution i of rank $r_i = k$ is:

$$\begin{gathered} nc_i = \sum_{r_j=k} \max\left(1 - \left(\frac{\delta_{ij}}{\delta_{\text{ref}}}\right)^{0.5},\ 0\right) \\ \delta_{ij} = \left\| \frac{\mathbf{f}_i - \mathbf{f}_j}{\Delta} \right\|, \quad \delta_{\text{ref}} = \frac{\sum \Delta}{\sum_j (1) - 1} \\ \Delta = \max(\mathbf{f}_{\text{VP}}) - \min(\mathbf{f}_{\text{VP}}) \end{gathered} \tag{9}$$

A higher niche count will lead to a decreased shared fitness and a lower overall fitness:

$$\begin{gathered} F_i^{\text{sha}} = \frac{F_k^{\text{avg}}}{nc_i} \\ F_i = F_k^{\text{avg}} \sum_{r_j=k} (1)\, \frac{F_i^{\text{sha}}}{\sum_{r_j=k} F_j^{\text{sha}}} \end{gathered} \tag{10}$$

Evolution history

The evolutionary framework described for the SPs implies continuous generation and removal of solutions at a local level, which may result in the removal of moderately virtuous solutions that could help improve global search. Thus the need arises to both store potentially desirable solutions that would be lost along the evolutionary process and, simultaneously, all non-dominated solutions, in order to build the global Pareto front.

The VP is continuously updated and, in contrast to the SPs, has a dynamic size. At the end of each generation of each SP, the newly-generated solutions that meet a given fitness threshold are stored in the VP while preserving their instances in SP_i. After each update, their ranks are evaluated (eq. 6), resulting in an updated global Pareto front at the end of each generation.

Since, as evolution progresses, many of these solutions in the VP will inevitably become comparatively worse and lose any exploratory advantage they might have provided, a rule to remove them from the VP becomes necessary. The adopted rule relies on two metrics, the rank and the age of each solution, which are both updated at the end of each generation, with the age of each solution being incremented at each generation from the moment they enter the VP. The age metric does not rely on constraining the population size, since the VP is dynamically sized.

Those solutions that reach the *lethal age* and are dominated (rank > 1) will be removed from the VP, while those that belong to the Pareto front will reside in the VP for as long as they keep their non-dominated status.

As was previously hinted, the VP does not exist solely for the purpose of recording the Pareto front. The enlarged storage it provides, which includes both optimal and dominated but otherwise reasonably fit solutions, can be leveraged by some crossover operators that draw parents from this pool in order to generate new offspring. This vertical relationship whereby offspring that originate from the VP are inserted in the SPs augments the global search and is an example of Lamarckian learning.

Memes

Solutions can be generated through crossover or mutation operators. Correspondingly, each statically-sized SP possesses an immutable layout where, apart from the elite, two groups are reserved for the solutions that are to be generated by operators of each type. In order to comply with the design-space decomposition, the resulting offspring must not introduce new variants of the *inactive* genetic segments and therefore must inherit the corresponding alleles from an existing solution, as defined by each operator.

Mutation operators may be used to generate completely random solutions (implicit mutation) and therefore have an exploratory effect, or be exploitative in nature, if they aim to generate a potentially better-fit solution from an existing one. Accordingly, they can either be *nullary* or *unary*.

Contrary to mutation operators, which utilize at most one parent to generate a new solution, crossover operators, by definition, involve the presence of multiple parents (*arity* ≥ 2), which share their genetic material in order to generate offspring. The several crossover operators described in this section mainly differ on their mate selection mechanism (MSM), nevertheless, their offspring generation mechanism (OGM) resorts to the uniform crossover (UC), which selects, for each *base* of the offspring, the corresponding allele from one of the parents, with equal probability (António, 2002).

The operator that generates each solution is represented by its *meme*, m (table 3). The operators used in the MOMA are described in the following sections and are summarized in table 3.

Table 3: Operators

operator	m	MSM		OGM			OSM
		$\mathbf{p}_1$	$\mathbf{p}_2$	n	scheme	inactive genes	
mutation	0	-		1	random	unif(elite)	-
EpUC	1	elitist(SP_{elite})	elitist(SP_{worst})	1	UC	unif($\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$)	-
EHCgi	2	elitist(SP_{elite})	elitist(SP_{worst})	20	UC	closest parent	dominance
ADpUC	3	AD	unif(rank ≤ 20)	1	UC	unif($\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2$)	-
ADpSG	4	AD	SG	1	UC	$\mathbf{p}_1$	-
ESSC	5	elitist(VP)	elitist(VP)	1	UC	$\mathbf{p}_1,\ \mathbf{p}_2$	-
ESGSSC	6	elitist(VP)	SG	1	UC	$\mathbf{p}_1,\ \mathbf{p}_2$	-

Implicit mutation

The implicit mutation operator serves to both create an initial population for the evolutionary process, as well as to continually introduce new solutions so that the optimization process does not get stuck in local minima. Each solution's inactive genes are inherited from a uniformally-selected elite solution.

Elitist parameterized Uniform Crossover (EpUC)

In order to select the parents, the current SP is sorted by fitness and divided into two groups, the *elite* and the *worst*. One parent is randomly selected from each group under a probability proportional to their fitness (*elitism*). The parent from which the offspring inherits the inactive genes is selected considering equal probability.

Elitist Hybrid Crossover with genetic improvement (EHCgi)

The EHCgi (António and Lhate, 2003) shares the same parent selection process as the EpUC, however, it generates several candidates and uses a set of approximations to choose one. The inactive genes of each candidate are inherited from the closest parent as determined by the Hamming distance applied to the active genes:

$$\mathrm{d}(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \sum |x_i - y_i| \tag{11}$$

The estimate for the constraint violation (eq. 6) depends on the distances between the candidate and each of its parents $\mathbf{p}_i$:

$$\mathrm{v}(\mathbf{c}) \approx \frac{\sum_i \mathrm{v}(\mathbf{p}_i) \ \left(\sum_j \mathrm{d}(\mathbf{c}, \mathbf{p}_j) - \mathrm{d}(\mathbf{c}, \mathbf{p}_i)\right)}{\sum_j \mathrm{d}(\mathbf{c}, \mathbf{p}_j)} \tag{12}$$

Only if $\mathrm{v}(\mathbf{c}) = 0$ do the candidate's objectives need to be approximated. The mass can be obtained directly from $\mathbf{c}$. $U(\mathbf{c})$ can be approximated from the phenotype of the closest parent, $\mathbf{p}_c$, as:

$$U(\mathbf{c}) \approx U(\mathbf{p}_c) + \sum_j \frac{\partial U(\mathbf{p}_c)}{\partial x_j}(c_j - p_{c,j}) \tag{13}$$

The candidates are ranked (eq. 6) and the first one belonging to rank 1 is chosen.

Age-Dominance parameterized Uniform Crossover (ADpUC)

Contrary to the EpUC and EHCgi, which perform parent selection on the current SP, the ADpUC (António, 2006) selects two parents from the VP. The selection of the first parent follow the heuristic that the maturity of the solutions belonging to the VP is dependent on a normal distribution of their ages. The second parent is selected from a group belonging to VP under a certain rank threshold considering a uniform probability distribution. The parent from which the offspring inherits the inactive genes is randomly selected considering equal probability.

Age-Dominance parameterized Selfish-Gene Crossover (ADpSG)

The ADpSG (António, 2024) selects two first parent candidates under a normal probability distribution of age and selects the one with the lowest rank, or the first if they are found to have the same rank. Parent 2, a pseudo-parent known as *stud*, is generated by selecting, for each *base* i of its genotype, $\bar{\boldsymbol{s}}$, the best performing *allele* j as defined by its *performance measure*, $PM_j^{(i)}$, considering each solution $\mathbf{u} \in$ VP of genotype $\overline{\mathbf{u}}$ (algorithm 2). This process is a direct application of the Selfish Gene theory (Dawkins, 2016). The segments corresponding to the inactive genes are inherited from the first parent.

Algorithm 2 Stud generation

for each base/bit i **do**
  for each allele j **do**
    $$PM_j^{(i)} \leftarrow \sum_{\mathbf{u} \in \boldsymbol{VP},\ \bar{u}_i = j} \frac{1}{r(\mathbf{u})}$$
  end for
  $\bar{s}_i \leftarrow \{j,\ PM_j^{(i)} = \max(\mathbf{PM}^{(i)})\}$
end for

Same-Species Crossover (SSC)

The SSC has two variants. The first, ESSC (for Elitist Same-Species Crossover) sequentially selects two parents from the VP in proportion to the inverse of their ranks, while ensuring that $\mathbf{p}_2$ belongs to the same species as $\mathbf{p}_1$. In the second variant, labeled as ESGSSC (Elitist Selfish Gene Same-Species Crossover), the second parent is generated using the stud algorithm (algorithm 2) applied to all members belonging to the same species as $\mathbf{p}_1$.

Meme selection - cultural evolution

Cultural evolution is emulated by the adaptive selection probability of the n^{op} exploitative operators whereby, for a given SP of index p, the success rate, R_i, of operator i up to epoch $e-1$ determines its probability $P_i(e,p)$ of being selected at each generation of epoch e:

$$\begin{aligned} P_i(e,p) &= \frac{R_i(e-1,p)}{\sum_j R_j(e-1,p)} \\ R_i(e,p) &= \frac{n_i^{\text{success}}(e,p)}{n_i^{\text{total}}(e,p)} \end{aligned} \tag{14}$$

A *success event* occurs when a newly-generated solution corresponds to a fitness greater than the minimum fitness found in that generation's *elite* as evaluated in that same generation, and n^{total} corresponds to the number of solutions generated by a given operator for a given SP. During the first epoch, the same selection probability is attributed to all crossover operators. In order to prevent a crossover operator from never being selected again if its success rate ever becomes 0, and to stabilize the selection process in general, $P_{op}(e,p)$ must be constrained:

$$P_i' = \max(P_i,\ P_p^{\min}) \tag{15}$$

RESULTS

The MOMA was applied to the multi-objective optimization of 1/4 of a hinged spherical structure composed of three shell laminates and three beam laminates (fig. 1) under a vertical load (fig. 2).

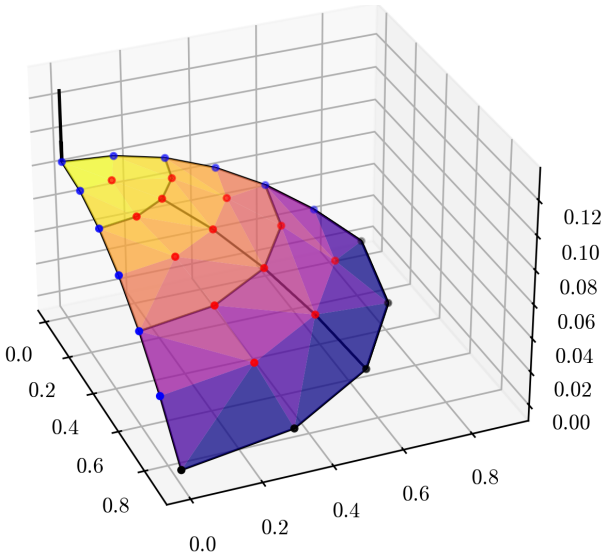


Figure 2: Finite element discretization.

As far as material selection is concerned, four composite systems are considered (table 4).

Table 4: Material properties (Tsai, 1988)

π	name	E_1	E_2	G_{12}	ν	σ_1^{yield}	σ_2^{yield}	$\sigma_{12}^{\text{yield}}$	ρ
		GPa			-	MPa			kg/m^3
1	CFRP: T300/N5208	181.	10.3	7.17	0.28	1500	40	68	1600
2	GFRP: Scotchply 1002	38.6	8.27	4.14	0.26	1062	31	72	1800
3	GFRP: E-glass/epoxy	43.0	8.90	4.50	0.27	1280	49	69	2000
4	KFRP: Kevlar 49/epoxy	76.0	5.50	2.30	0.34	1400	12	34	1460

The parameters for the OA can be found in table 5.

Table 5: Parameters

Load	-2.0e3 N
Newton-Raphson tolerance	1.e-4

Domain

	min	max	std	bits
θ [°]	-90	90	5	4
$\boldsymbol{w}$ [m]	5.00e-3	2.00e-2	0.05$\boldsymbol{w}$	4
$\boldsymbol{t}$ [m]	1.00e-3	4.00e-3	0.05$\boldsymbol{t}$	4

Number of design variables	54
Size of the search domain	1.53e54

Evolutionary hyperparameters

Generations/SP	8
Subpopulation size	27
Crossover group size	11
Mutation group size	5
EHCgi - n candidates	20
Lethal age [generations]	35
$P_p^{\min}$ (eq. 15)	$1/(5\,n^{\text{op}})$

Case study 1: $\mathbf{f} = (m, U)$

In this case study the structure was optimised for minimum weight and strain energy, and the resulting Pareto front (fig. 3) demonstrates the expected trade-off.

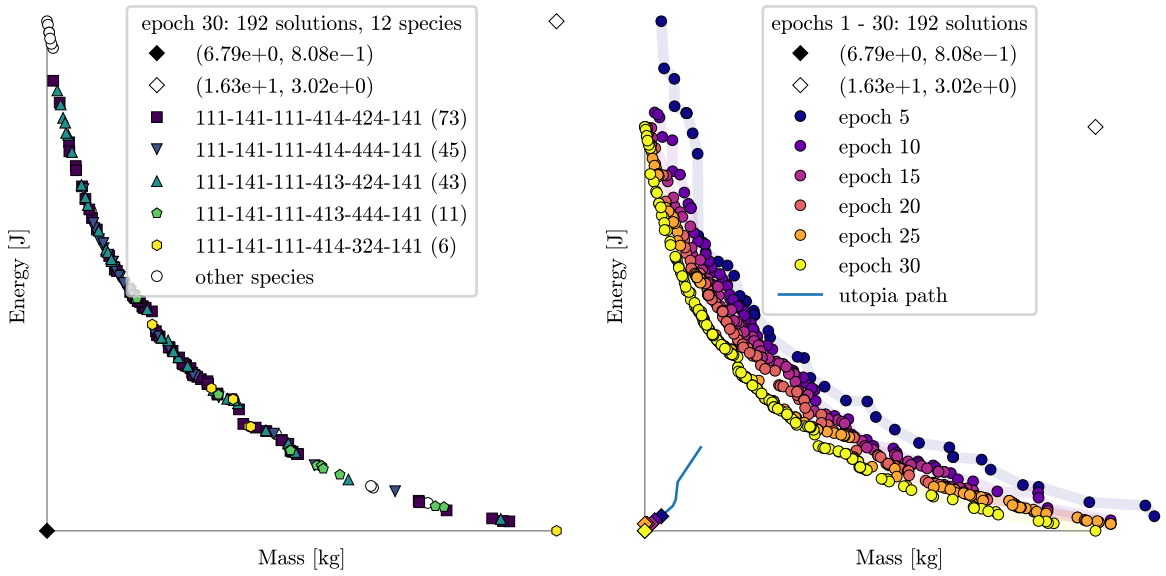


Figure 3: Pareto front - 1^{st} case study

Fig. 4 shows the cumulative success rate of each operator, identified by its meme. The operators EpUC and EHCgi (memes 1 and 2, respectively), which select parents from the subpopulation, display better performance, measured by their *success rates* (eq. 14) , at the beginning of the evolutionary process. The EHCgi, owing to its local genetic improvement/offspring selection mechanism, is able to generate a higher rate of *success events* through *exploitation*. As evolution progresses, this mechanism displays diminishing returns, and this operator appears to converge to the performance of the EpUC. Conversely, the operators ADpUC and ADpSG (identified by the memes 3 and 4, respectively), which draw parents from the VP, display lower success rates initially, subsequently becoming more successful than the local selection crossover operators.

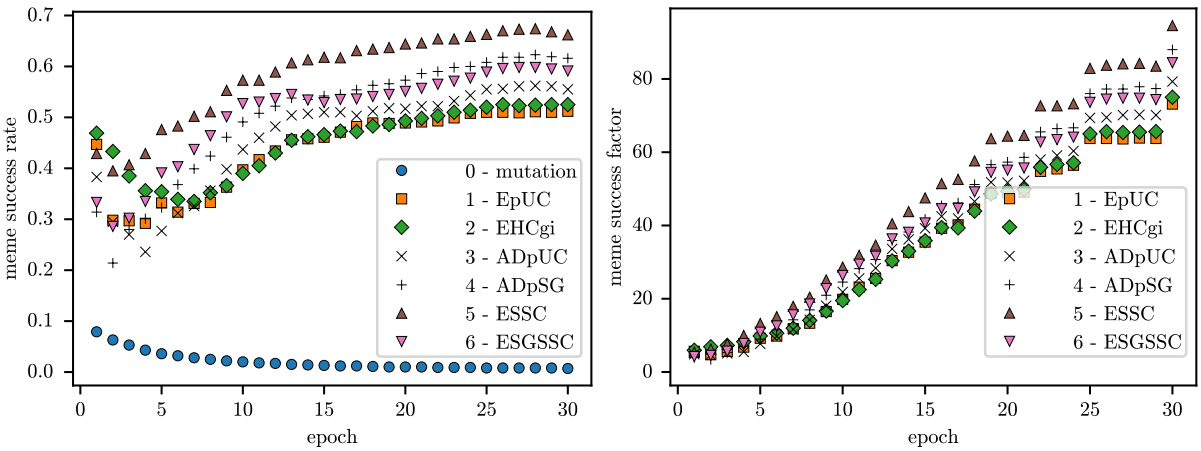


Figure 4: Meme success rate/factor - 1^{st} case study

Case study 2: $\mathbf{f} = (m, U, c_v(U))$

This 3OOP considers the minimization of $c_v(U)$ as the third objective.

In fig. 5, for each solution, each of the three color components is given by the distance from the utopia point along a given axis (x - red, y - green, z - blue), normalised by the difference between the utopia and dystopia points. Additionally, a line segment starting at each point indicates the direction to the dystopia point.

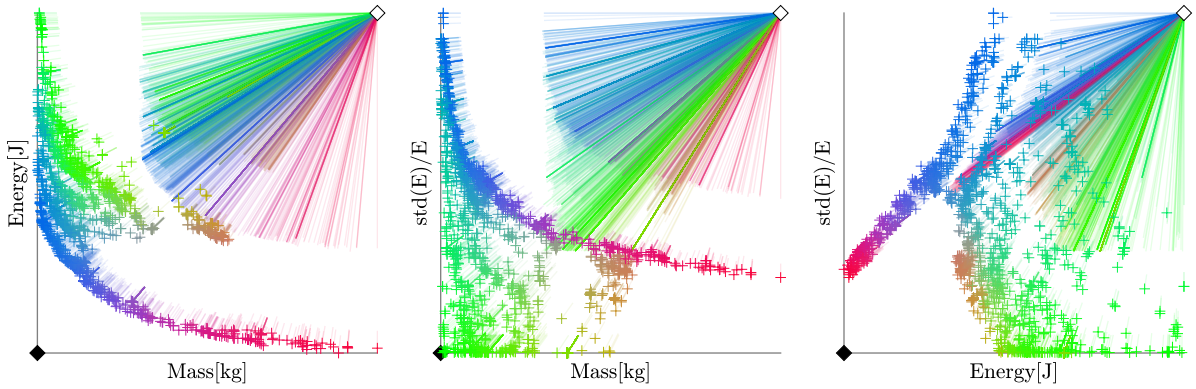


Figure 5: Pareto front - 2^{nd} case study

The crossover operators performed similarly as in the first case study (fig. 6). The new operators demonstrate once more their comparative advantage.

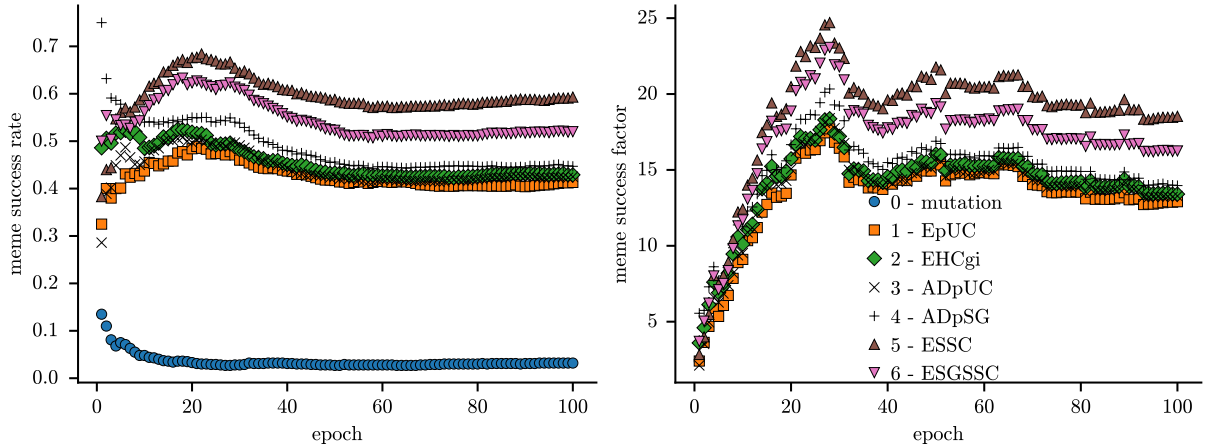


Figure 6: Meme success rate/factor - 2^{nd} case study

CONCLUSION

A framework for the multi-objective optimization of composite stiffened structures with nonlinear geometric behavior was developed. The underlying approach involved the application of concepts such as the computation of stiffness considering the discretization of the structure into layers made of different composite materials and the resulting anisotropy and the analysis of structural integrity through an approach which unifies buckling and FPF.

The newly developed operators demonstrated an increased success rate when compared to the existing ones, corroborating the hypothesis that explicitly dividing the search domain can improve

the efficiency of the optimization process.

REFERENCES

António, C. C. 'Optimisation of geometrically non-linear composite structures based on load-displacement control'. In: *Composite Structures* 46.4 (1999), pp. 345–356. ISSN: 0263-8223. DOI: https://doi.org/10.1016/S0263-8223(99)00099-9. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822399000999.

António, C. C. 'A multilevel genetic algorithm for optimization of geometrically nonlinear stiffened composite structures'. In: *Structural and Multidisciplinary Optimization* 24 (2002), pp. 372–386.

António, C. C. 'A hierarchical genetic algorithm with age structure for multimodal optimal design of hybrid composites'. In: *Structural and Multidisciplinary Optimization* 31 (2006), pp. 280–294.

António, C. C. 'Memeplex-based memetic algorithm for the multi-objective optimal design of composite structures'. In: *Composite Structures* 329 (2024), p. 117789. ISSN: 0263-8223. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2023.117789. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263822323011352.

António, C. C. and I. Lhate. 'A hybrid crossover operator for structural optimisation based on commonality in genetic search'. In: *Engineering Computations* 20.4 (2003), pp. 390–408.

Dawkins, R. *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press, 2016.

Fonseca, C. M., P. J. Fleming et al. 'Genetic algorithms for multiobjective optimization: formulation, discussion and generalization.' In: *Icga*. Vol. 93. July. Citeseer. 1993, pp. 416–423.

Moscato, P. et al. 'On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms'. In: *Caltech concurrent computation program, C3P Report* 826.1989 (1989), p. 37.

Pica, A., R. Wood and E. Hinton. 'Finite element analysis of geometrically nonlinear plate behaviour using a mindlin formulation'. In: *Computers & Structures* 11.3 (1980), pp. 203–215.

Tsai, S. W. *Composites design*. Vol. 5. Dayton, OH: Think composites, 1988.

Painel II: Portos, Meio Ambiente E Ordenamento De Zonas Costeiras

22191 AVALIAÇÃO DE TINTAS ECOLÓGICAS PRODUZIDAS A PARTIR DO SOLO. Samia Hassanigy; Dinirson Chalauane; Savio Muchanga; Leila Parruque Jossias. 179

22204 MODELAGEM HIDRODINÂMICA 3D DE UM ESTUÁRIO SUBTROPICAL, DE BARRAS, BIFURCADO: O CASO DA BAÍA DE INHAMBANE (MOZAMBIQUE). G. Solana Arteche; E. Pavo-Fernandez; A. Mavimbele; A.V. Mathe; V. Gracia; M. Grifoll. 181

22224 MORFODINÂMICA DA PENÍNSULA DE MACANETA EM MOÇAMBIQUE. Nélio das Neves O. Sitoe; José Luís Pinho; Anselmo Chaúque; Noca Furaca. 183

22626 GEOQUÍMICA E DINÂMICA DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO CANAL DE ACESSO AO PORTO DA BEIRA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA SUBBACIA ZAMBEZE-SAVE. Assane Luís Pena; Amílcar de Oliveira Soares; Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha. 187

23547 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIO-AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NA BACIA DO RIO INFULENE: ANÁLISE DO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO. Sarlina Bernardo Mazive; Estêvão Pondja; Mery Beatriz M. Rodrigues. 207

23549 AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS DESCARGAS DOS EFLUENTES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO INFULENE NO RIO MULAÚZE. Eugénia da Glória Zacarias; Estêvão Pondja. 215

23551 TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DO SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS DA PETROMOC POR ELETROCOAGULAÇÃO. Arcanjo Rodrigues Cuamba; Morais Mauricio Jone; Estevão Pondja; Maria Eduardo 231

23558 INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS. DESAFIOS E ADAPTAÇÃO NUM CONTEXTO DE DINAMICAS RECENTES. Fernando Veloso Gomes 241

ARTIGO Nº22191

AVALIAÇÃO DE TINTAS ECOLÓGICAS PRODUZIDAS A PARTIR DO SOLO

Samia Hassanigy[1,(*)], Dinirson Chalauane[1] , Savio Muchanga[1], Leila Parruque Jossias[1]

[1]Eduardo Mondlane University, Faculty of Engineering (FEUEM) - Maputo, Mozambique
(*) *Email:* samiahassanigy22@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objectivo avaliar as tintas ecológicas produzidas a partir do solo, como uma alternativa para a substituição de tintas que apresentam na sua formulação produtos tóxicos. A metodologia empregue engloba pesquisas bibliográficas e analises laboratoriais que consistem em medição do pH e da densidade, teste de intemperismo para determinação da durabilidade, teste de viscosidade da tinta a partir do viscosímetro, teste de aderência usando a fita adesiva e análise táctil e visual para o teste de secagem. Com base nos resultados obtidos conclui-se que tintas revelaram um pH ácido variando entre 4 e 5, densidade de 150 Kg/m3, indicando boa dispersão dos componentes, o que garantiu uma uniformidade na aplicação das tintas, o teste de aderência comprovou que as tintas aderem de forma eficaz na superfície e o teste de cobertura revelou o valor $0{,}24m2$/L e os resultados revelaram uma resistência estável, indicando boa resistência a factores físicos, químicos e biológicos

***Palavras-chave**:* Tintas ecológicas, pigmentos naturais, sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

Pigmentos são componentes responsáveis pela coloração, apresentam em sua composição metais pesados, como o chumbo, cromo, entre outros. Biocidas, que são aditivos utilizados para preservar a tinta contra a acção de agentes biológicos como bactérias e fungos, também são substâncias tóxicas e prejudiciais à saúde. Entretanto, o principal factor responsável pelo actual impacto das tintas ao meio ambiente tem sido os COVs (Compostos Orgânicos Voláteis), uma vez que a maioria dos metais pesados e biocidas à base de substâncias tóxicas já foram eliminados das novas formulações.Os COVs são hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos emitidos na atmosfera mediante à secagem das tintas. Estes compostos contribuem para a mudança climática global, assim como para inúmeros problemas de saúde (Matos, 2017). Os pigmentos do solo têm sido usados como matéria-prima para a produção de tintas desde tempos antigos, devido à sua abundância, durabilidade e diversidade de cores. Esses pigmentos naturais, derivados principalmente de minerais e matéria orgânica, oferecem uma alternativa sustentável e ecológica aos pigmentos sintéticos, sendo valorizados tanto por artistas quanto por indústrias que buscam soluções mais naturais e menos impactantes ao meio ambiente (Schwertmann & Taylor, 1989; Stevenson, 1994). O solo pode ser considerado como um pigmento barato, de fácil acesso e obtenção para as tintas, diminuindo o custo da tinta e contribuindo para sustentabilidade do produto. O seu uso é amplamente disseminado, como por exemplo na prática do barramento que é comum no meio rural mineiro e consiste no revestimento ou pintura de fogões de lenha, fornalhas e paredes com solo diluído em água aplicada com pano húmido ou brocha (Carvalho, 2009). Neste sentido, o presente trabalho pretende avaliar as tintas ecológicas produzidas a partir do solo como uma alternativa sustentável para a pintura dos edifícios e também para a preservação da saúde humana, que pode ser afectada pelo uso das tintas convencionais.

RESULTADOS

Os resultados evidenciam que é possível produzir tintas a partir dos pigmentos do solo de maneira sustentável sem comprometer a saúde humana e do meio ambiente. Das análises realizadas nas amostras colectadas, observou-se que o pH é neutro variando entre 6 e 6,5 o que favorece a estabilidade química e uniformidade no processo de produção, e as classificações feitas a partir do teste de textura resultou em solo franco argilo arenoso para as amostras de cor vermelha e amarela e em arenoso para a amostra de cor cinza. As análises feitas nas tintas revelaram um pH ácido variando entre 4 e 5. Em relação a densidade, os valores permaneceram os mesmos, indicando uma boa dispersão dos componentes, o que garantiu uma uniformidade na aplicação das tintas. Com o teste de secagem constatou-se que que as tintas ecológicas possuem um tempo de secagem relativamente curto em comparação com as tintas convencionais, com tempo de secagem inicial de 30-35 minutos e tempo de secagem completo de 4 horas. O teste de aderência comprovou que as tintas aderem de forma eficaz na superfície e o teste de cobertura revelou o valor 0,24$m2$/L que indica que para cada litro de tinta, é possível cobrir uma área relativamente pequena se comparada as tintas convencionais que possuem uma cobertura media de 8$m2$/L.



Figura 1- Adição e mistura dos componentes da suspensão: a) Adição da amostra de solo; b) Adição da água; c) Mistura dos componentes.

O comportamento das tintas quando submetidos aos factores como chuva, vento e radiação solar durante um período de 30 dias, foi estável e inalterado, indicando boa resistência a factores físicos, químicos e biológicos. Em suma conclui-se que as tintas baseadas em pigmentos do solo demonstraram ser uma alternative as tintas convencionais, apresentando boa estabilidade, tempo de secagem adequado e ausência de degradação em 30 dias, tornando as numa solução promissora para usos específicos.



Figura 2- Tintas ecológicas obtidas a partir dos pigmentos do solo

REFERÊNCIAS

1. Agrafioti, E., Bouras, G., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2013). Biochar production by sewage sludge pyrolysis. Grécia: ELSEVIER.
2. Alleoni, L., Camargo, O., & Casagrande, J. (1998). Isotermas de langmuir e de freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados.
3. Andreoli, C. V. (2001). Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: PROSAB.
4. Bezerra, J., Lopes, R., Barros Neto, E., Souza, M., & Nunes, A. (2020). Remocao de Cobre(II) em solucao aquosa por adsorcao usando carvao ativado produzido a partir do lodo domestico
5. Farias, W. M. (2018). Biochar de lodo de esgoto como condicionador do solo:efeitos nas propriedades agronomicas,fertilidade do solo e qualidade da materia orgânica. Brasilia.
6. Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for environmental management.
7. Zanelatto, S. (2021). Utilização de lodo de ETA como adsorvente para remoção de pNitrofenol. ERECHIM

ARTIGO Nº22204

MODELAGEM HIDRODINÂMICA 3D DE UM ESTUÁRIO SUBTROPICAL, DE BARRAS, BIFURCADO: O CASO DA BAÍA DE INHAMBANE (MOZAMBIQUE)

Solana Arteche, G.[1,2(*)], Pavo-Fernandez, E. [2], Mavimbele, A.[1] , Mathe, A.V.[1], Gracia, V. [2] , Grifoll, M.[2]

[1] Universidade Save, Faculdade de Engenharias e Tecnologias (FET-UniSave) – Maxixe, Moçambique.
[2] Universidad Politecnica de Catalunha, Laboratório Engenharia Maritima (LIM-UPC) – Barcelona, Espanha.
(*) *Email:* garteche@unisave.ac.mz

RESUMO

Os autores desenvolveram um modelo hidrodinâmico 3D, de alta resolução e código aberto, para a Baía de Inhambane, em Moçambique. Durante a calibração do modelo, foram realizadas três simulações comparadas com dados observados "*in situ*" de altura da superfície do mar, correntes superficiais, perfis de velocidade na coluna de água, além de perfis de salinidade e temperatura. Embora ainda na fase de calibração, os resultados preliminares indicam uma elevada correlação. Este modelo representa um avanço significativo na gestão marinha da Baía de Inhambane e na administração costeira de forma geral.

***Palavras-chave**:* Regional Ocean Modeling System (RPMS), Modelagem hidrodinâmica

INTRODUÇÃO

Os estuários são componentes altamente valiosos do património natural e dos ecossistemas costeiros, desempenhando um papel crucial na prestação de serviços ecossistêmicos, como o suporte ao desenvolvimento pesqueiro, agrícola e turístico. Nesse contexto, a Baía de Inhambane (IB) não é uma exceção, destacando-se pela sua relevância ecológica e socioeconômica. Neste trabalho descreve-se o modelo utilizado, os dados das observações realizadas "in-situ" e as métricas estatísticas utilizadas para a comparação das variáveis modeladas com as observadas. O modelo foi desenvolvido utilizando o "Regional Ocean Modeling" (ROMS), que é um modelo numérico tridimensional, que resolve as equações de Navier-Stokes de Reynolds utilizando as hipóteses hidrostáticas de Boussinesq (Haidvogel, D.B., et al. 2008). A discretização horizontal é baseada em uma malha ortogonal tipo "C de Arakawa", de 180x280 pontos, (150m x 160m), e a discretização vertical seguendo a batimetria, "*terrain-following*", com 15 níveis. Uma das características principais do ROMS, que o fazem apropriado para a IB, é o modulo "*Wet&Dry*" que permite o correcto modelagem das barras mareais. A batimetria do modelo elaborou-se com base na digitalização da carta náutica de 1979, completada com dados do ETHOPO1. Para as marés utilizaram-se os anarmónicos mareais "M2", "S2", "N2", "K1", "O1", "P1", "K2", "Q1" e "M4", obtidos do TPXOV9 (Egbert, Gary D et al 2002). As condições inicias e de contorno elaboram-se a partir dos valores da salinidade, temperatura, velocidades da database GLORYS12V1 (CMEMS 2023). Realizaram-se três simulações de 14 dias, completando o ciclo completo de marés de quadratura e sizígia, e os dados das simulações comparam-se com dados das observações de: i)- campanha de campo de Julho 2017, ii)- campanha de campo Fevereiro 2019 (Solana et al 2020) e iii)- variação do nível do mar (ssh) de Setembro 2011 (Caldwell et al, 2015). Os resultados apresentados na Figura 1 mostram que o valor de SSH simulado é superior ao observado, com uma ligeira diferença de fase. A Figura 2 exibe o fluxo e as velocidades das correntes na camada superficial,

cujos valores são próximos aos observados. Já a Figura 3 compara o trajeto de uma das boias de deriva da campanha com o da simulação, evidenciando percursos e intervalos de velocidades semelhantes.

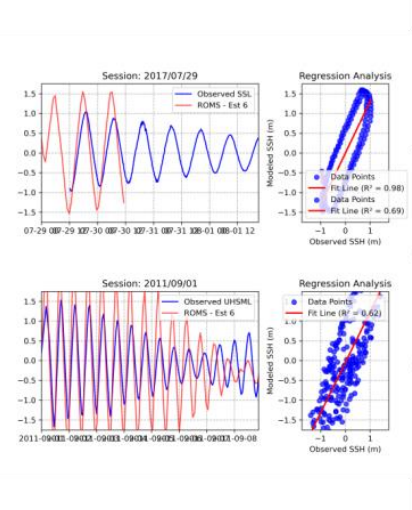


Fig 1- Na esquerda a variação do nível do mar, em azul os dados observados e em vermelho os dados preliminares do modelo (figura superior Julho 2017 e inferior Setembro 2011).

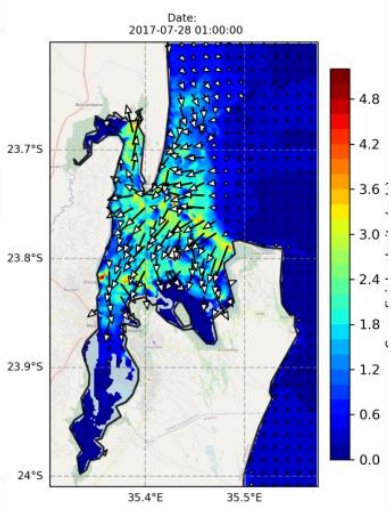


Fig 2. Na figura podem se apreciar o fluxo das correntes na camada superficiais (0 a 1.5 m)

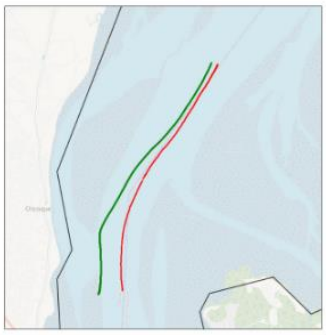


Fig 3- Na figura podem se apreciar o percurso observado de uma boia de deriva (vermelho) e o percurso do modelo (verde)

Para concluir, confirma-se a criação de um modelo hidrodinâmico 3D de alta resolução, baseado em código aberto, para a Baía de Inhambane, que proporciona uma ferramenta valiosa para a sua gestão sustentável. Como próximos passos, destaca-se a necessidade de aprimorar a correlação dos resultados, incorporando outros fenómenos relevantes, como o coeficiente de arrasto de fundo, o aporte de água doce dos riachos Mutamba e Nhanombe, além de fatores climatológicos.

REFERÊNCIAS

Caldwell, P. C., M. A. Merrifield, P. R. Thompson, Sea level measured by tide gauges from global oceans — the Joint Archive for Sea Level holdings (NCEI Accession 0019568), Version 5.5, NOAA National Centers for Environmental Information, Dataset,(2015) DOI:10.7289/V5V40S7W. (Accessed on 10-July-2024)

Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, (2002) DOI: 10.1175/1520-0426(2002)019<0183:EIMOBO>2.0.CO;2 (Accessed on 10-July-2024)

Copernicus Marine Service Information (CMEMS). GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_0. Marine Data Store. DOI: 10.48670/moi-00021 (2023) (Accessed on 10-July-2024)

Haidvogel, D.B., et al. Ocean Forecasting in Terrain-Following Coordinates: Formulation and Skill Assessment of the Regional Ocean Modeling System. Journal of Computational Physics, (2008). DOI: 10.1016/j.jcp.2007.06.016

Solana G., Grifoll , and Espino M, "Hydrographic Variability and Estuarine Classification of Inhambane Bay (Mozambique)," Journal of Coastal Research 95(sp1), (2020) DOI, 10.2112/SI95-126.1

ARTIGO Nº22224

MORFODINÂMICA DA PENÍNSULA DE MACANETA EM MOÇAMBIQUE

Nélio das Neves O. Sitoe[1(*)], José Luís Pinho[3], Anselmo Chaúque[1], Noca Furaca[2]

[1] Universidade Eduardo Mondlane – Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, Moçambique
[2] Universidade Eduardo Mondlane – Centro de Pesquisa e Tecnologias do Mar, Moçambique
[3] Centro de Território, Ambiente e Construção, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal
(*) *Email:* nelio.sitoe@uem.mz

RESUMO

Uma das principais consequências das mudanças climáticas é a intensificação da erosão costeira, tornando o seu estudo uma prioridade para a proposição de estratégias eficazes de mitigação e adaptação. Este trabalho tem como objetivo promover uma gestão sustentável e integrada dos recursos naturais marinhos e costeiros, com enfoque na implementação de uma economia azul e verde na península de Macaneta, em Moçambique, visando fortalecer a resiliência das comunidades locais e dos ecossistemas frente às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos. A metodologia adotada combina medições *in situ* de parâmetros físicos, como altura da maré, direção e intensidade das correntes de maré e altura das ondas, com dados de sensoriamento remoto para a monitorização da dinâmica da linha de costa. Como resultado deste trabalho, obteve-se um modelo integrado que permite identificar as áreas mais vulneráveis à erosão costeira, avaliar a eficácia das medidas de mitigação existentes e propor soluções baseadas em evidências científicas, contribuindo para a preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável da região.

***Palavras-chave**:* Erosão costeira, Península de Macaneta, Resiliência costeira, Economia azul.

INTRODUÇÃO

A erosão costeira é um processo caracterizado pela perda de sedimentos em áreas sujeitas à ação das ondas, correntes marinhas, fluxos fluviais e ventos. Este fenómeno ocorre principalmente em praias arenosas, onde o balanço sedimentar é negativo, ou seja, quando a quantidade de sedimentos removida supera a quantidade depositada. A elevação do nível do mar e eventos extremos, associados a tempestades, também aceleram a erosão, representando uma preocupação global, pois afeta 70% das praias arenosas do mundo (Bird, 2008). Em Moçambique, esse fenómeno é especialmente prevalente devido à extensa fronteira marítima do país e à sua exposição a eventos climáticos extremos que atingem a costa.

Macaneta em Moçambique é uma das áreas onde a erosão se faz sentir, sobretudo ao longo da zona estuarina de Incomate. De acordo com a comunidade local, este fenómeno já se faz sentir a mais de 20 anos, apesar de se estar a intensificar nos últimos anos.

Este projeto tem como objetivo promover a gestão sustentável e integrada dos recursos naturais marinhos e costeiros na Península de Macaneta, com ênfase na transição para uma economia azul e verde. Além disso, busca fortalecer a resiliência dos ecossistemas e das comunidades locais frente às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos, assegurando a conservação ambiental e o desenvolvimento socioeconómico equilibrado.

ÁREA DE ESTUDO

A península de Macaneta fica situada no extremo Este do distrito de Marracuene na província de Maputo (*Figura 1*). Tem os seus limites a Norte no bairro Mbuva, a Oeste no estuário de Incomate, a Sul na Baia de Maputo e a Este no Oceano Índico. Importa referir que para o presente artigo foram consideradas duas áreas, conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: (a) Baia de Maputo. A linha verde representa os limites do bairro de Macaneta. (b) Península de Macaneta. As áreas vermelhas representam áreas críticas de erosão e onde as medições foram executadas. Área 1 a norte e Área 2 a sul.

Devido à sua localização geográfica, costa ocidental do oceano Índico, a região é caracterizada por marés semidiurnas com alturas que variam de 3.0 m na maré viva a 0.8 m na maré morta (Sete *et al*, 2001). É ainda influenciada pela corrente quente do Canal de Moçambique com a direção Norte – Sul (Sætre, 1985) e vórtices locais. Esta corrente surge devido aos ventos alísios do Sudeste que movem a Corrente Equatorial Sul da Índia em direção à costa Este da África, de onde, devido à rotação da Terra, ela é direcionada para o sul, seguindo o contorno do continente e a sua plataforma continental (Sætre & Da Silva, 1987).

MÉTODOS

A metodologia seguida neste trabalho consistiu na realização de levantamentos batimétricos e de dados das correntes incluindo a medição da altura da maré por meio de marégrafos, a determinação da direção das correntes utilizando bóias lagrangianas e a intensidade das correntes de maré com o auxílio de correntómetros. A dinâmica da linha de costa foi analisada com base em imagens de sensoriamento remoto e validada com um modelo digital de elevação construído por fotogrametria com drone. O levantamento batimétrico permitiu a caracterização da topografia do fundo marinho e forneceu informação relevante para a análise integrada dos processos hidrodinâmicos e morfológicos da região de estudo.

RESULTADOS

A *Figura 2* apresenta a batimetria do fundo e a direção das correntes na área em estudo. Os resultados indicam um perfil geomorfológico variável, que diverge da configuração típica de um canal padrão. Essa anomalia pode estar relacionada com o transporte de sedimentos provenientes tanto de montante, devido ao escoamento fluvial e à erosão, quanto de jusante, devido à ação das marés.

A irregularidade na morfologia do fundo do canal pode influenciar a variação na direção das correntes, o que, por sua vez, pode intensificar os processos erosivos ao longo das margens, especialmente em áreas compostas por sedimentos não consolidados.

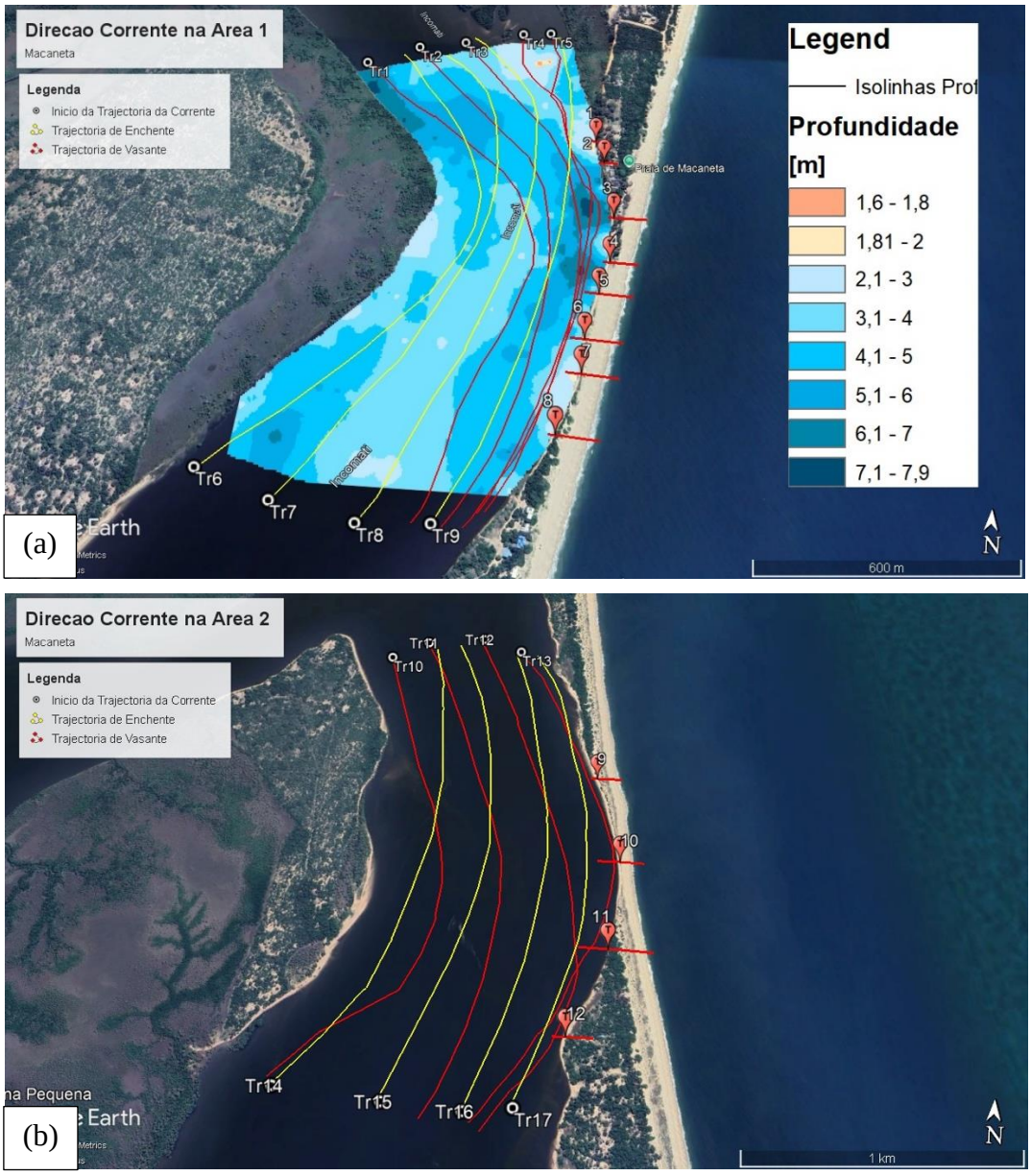


Figura 2: Batimetria e trajectória das bóias. (a) Área 1 e (b) Área 2. As linhas vermelhas representam trajectória na vazante e as amarelas na enchente.

As trajectórias das bóias são representadas por linhas vermelhas (durante a vazante) e amarelas (durante a enchente). Observa-se que a corrente de enchente não apresenta tendências de aproximação às margens, comportamento distinto da corrente de vazante, que tende a se aproximar da margem Este do canal. Essa tendência é evidente nas trajetórias Tr3, Tr4 e Tr5. A mesma característica é identificada na Área 2.

Neste artigo serão apresentados e discutidos os principais resultados dos trabalhos de campo realizados e será apresentado um diagnóstico que sustente a realização de intervenções que permitam aumentar a resiliência deste trecho costeiro através de soluções sustentáveis baseadas na natureza.

REFERÊNCIAS

Bird, E.C.F., Coastal geomorphology: An introduction. 2nd edition. Chinchester. Wiley and Sons. 436 pp., 2008.

Sætre,R. Surface currents in the Mozambique channel. Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. Volume 32, Issue 12, pp.1457-1467, 1985..

Sætre, R.; Da Silva, A.J. Water masses and circulation of the Mozambique Channel. AquaDocs. 1987.

Sete ,C., Ruby, J., Dove, V. Seasonal variation of tides, currents, salinity and temperature along the coast of Mozambique. IOC. 2001.

ARTIGO Nº22626

GEOQUÍMICA E DINÂMICA DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO CANAL DE ACESSO AO PORTO DA BEIRA: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL DA SUB-BACIA ZAMBEZE-SAVE.

Assane Luís Pena[1,2] (*), Amílcar de Oliveira Soares[2] (*), Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha[3] (*)

[1] Universidade Licungo, Extensão da Beira, Faculdade de Ciências e Tecnologia
[2] Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, CERENA
[3] Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências
([1],*) Email: assanepena@gmail.com; ([2],*) Email: asoares@tecnico.ulisboa.pt; ([3],*) Email: tavares.rocha@ua.pt

RESUMO

Este estudo contribui para a caracterização ambiental da sub-bacia Zambeze-Save, inserida na bacia sedimentar de Moçambique, através da análise geoquímica e da dinâmica sedimentar de sedimentos dragados no canal de acesso ao Porto da Beira, em 2015. A granulometria foi determinada por crivagem seca e húmida, e a análise geoquímica realizada segundo o Método 3050B da norma USEPA, com quantificação de metais por ICP-MS. Os sedimentos dragados são maioritariamente arenosos e siltosos, com dragagem eficiente através de processos hidráulicos. A dinâmica sedimentar é influenciada pela batimetria e pelas marés, com os sedimentos mais finos a serem transportados em suspensão e depositados de forma coesa. Em termos ambientais, são predominantemente limpos, com enriquecimento moderado de níquel e crómio. A gestão dos sedimentos dragados foi realizada com deposição em mar aberto.

***Palavras-chave**:* sedimentos dragados, canal de acesso ao porto da Beira, aptidão ambiental

INTRODUÇÃO

Os sedimentos superficiais em ambientes subaquáticos constituem registos valiosos da dinâmica sedimentar, reflectindo a interacção entre processos hidrodinâmicos, o aporte sedimentar e a natureza do substrato. A sua análise permite não apenas reconstruir condições deposicionais, mas também identificar alterações provocadas por agentes naturais e actividades humanas. Este tipo de investigação tem assumido importância crescente em zonas costeiras e estuarinas, particularmente em contextos marcados por assoreamento recorrente, riscos de erosão costeira e exigências operacionais ligadas à manutenção de infraestruturas portuárias.

As operações de dragagem em ambientes estuarinos, embora essenciais para assegurar a navegabilidade e o funcionamento de infraestruturas portuárias, provocam alterações significativas na dinâmica sedimentar e podem reintroduzir no sistema partículas finas com capacidade de retenção de contaminantes (Conceição, 2016; Pena et al., 2017). Em particular, os sedimentos dragados tendem a apresentar composições heterogéneas, tanto do ponto de vista granulométrico como geoquímico, o que exige uma avaliação rigorosa da sua qualidade ambiental antes de qualquer deposição subsequente.

Diversos estudos têm demonstrado que a textura dos sedimentos influencia directamente a sua capacidade de acumular e reter metais potencialmente tóxicos. A investigação sobre sedimentos de fundo tem-se intensificado em diversos sistemas estuarinos e costeiros, onde a deposição de

partículas finas e a acumulação de metais traço se revelaram dependentes da granulometria, da matéria orgânica e das dinâmicas hidrodinâmicas locais (Marques et al., 2011; Pomerol et al., 2013; Pena et al., 2017; Martins et al., 2017). Estes estudos evidenciam que ambientes de baixa energia, como zonas estuarinas e de embocadura, funcionam como áreas preferenciais de retenção de poluentes sedimentares, tornando-se fundamentais para o diagnóstico ambiental.

À semelhança destes sistemas, a região da Baía de Sofala destaca-se pela sua elevada complexidade morfodinâmica, resultante da interacção entre marés, correntes e descarga fluvial, com implicações directas nos padrões de sedimentação costeira. Inserido nesta unidade, o Estuário da Beira alberga o canal de acesso ao Porto da Beira, sujeito a dragagens regulares para manutenção da navegabilidade (CONSULTEC, 2007; Silva, 2011; Sitoe et al., 2021). Estes habitats sedimentares assumem ainda grande importância ecológica, funcionando como zonas essenciais para a reprodução e crescimento de várias espécies, destacando-se os camarões peneídeos pelo seu interesse económico (Brito & Pena, 2007). O presente estudo centra-se na caracterização granulométrica e geoquímica dos sedimentos dragados nesse canal, contribuindo para a avaliação ambiental local, com suporte em dados espaciais, referências à dinâmica sedimentar local e ao enquadramento geológico regional e da área, servindo como ponto de partida para uma abordagem mais alargada no âmbito da caracterização ambiental da sub-bacia Zambeze-Save.

ÁREA DE ESTUDO

Enquadramento Regional: sub-bacia Zambeze-Save e baía de Sofala

A sub-bacia Zambeze-Save está situada no segmento centro-oriental de Moçambique, integrando-se na Bacia Sedimentar de Moçambique, uma das maiores bacias marginais do sul de África. Esta sub-bacia ocupa uma vasta planície costeira, delimitada a norte pelo Domo de Cheringoma e a sul pela elevação crustal do Beira High (Figura 1). A rede hidrográfica da sub-bacia Zambeze-Save é dominada pelos grandes rios Zambeze, Púnguè, Búzi e Save, apoiada por bacias secundárias compostas por cursos como os rios Gorongosa, Ucarranga, Chissanga, Chineziua, Corone, Sambazo, Sanguisse e Savane (Pacheco, 2014). Adicionalmente, a região é atravessada por numerosos cursos de água menores e intermitentes, que funcionam como drenagem terciária, contribuindo para o ciclo hidrológico local e recarga superficial. Esta complexa hierarquia fluvial articula-se entre zonas montanhosas e planícies costeiras, gerando intensa erosão e transporte de sedimentos (Muchangos, 1999). Cerca de 80% do escoamento fluvial nacional desemboca no Oceano Índico através do Banco de Sofala, localizado na plataforma continental da sub-bacia, o que sublinha o papel fundamental desta região na regulação hidrossedimentar do centro de Moçambique (Hoguane, 2007), contribuindo para um sistema deltaico e estuarino altamente dinâmico.

Geologicamente, a sub-bacia Zambeze-Save apresenta uma história evolutiva complexa, resultante da interação entre a tectónica de placas associada à fragmentação da Gondwana e à abertura do Oceano Índico. O embasamento é formado por rochas cristalinas e metamórficas do Pré-Câmbrico, sobre as quais se sobrepõem espessas sequências sedimentares fanerozóicas, incluindo sedimentos do Supergrupo Karoo (Carbonífero a Jurássico Inferior) e unidades pós-Gondwana (Jurássico Superior a Quaternário) (Salman & Abdula, 1995; Consortium GTK, 2006a, 2006b; Mussa, 2014; Mussa et al., 2018). Durante o Carbonífero Superior e o Pérmico, iniciaram-se processos de subsidência intracratónica, com a formação de bacias tipo graben e

half-graben, preenchidas por depósitos glaciares, flúvio-glaciares e fluvio-lacustres do Karoo Inferior, representados pelas formações Moatize, Matinde e Cádzi (GTK Consortium, 2006b; Paulino et al., 2010) (Consortium GTK, 2006a; Paulino et al., 2010). A sedimentação prosseguiu no Karoo Superior, em ambiente predominantemente fluvial, com actividade tectónica e vulcânica culminando na instalação da Província Ígnea do Karoo (~190 Ma) (Vasconcelos & Jamal, 2010). No Jurássico Superior, com o início do rifteamento, formaram-se unidades como as Formações Lupata e Sena, em contexto continental com crescente influência marinha. A Formação Sena, por exemplo, é composta por arenitos arcósicos e conglomerados com clastos graníticos e vulcânicos, indicando erosão intensa do embasamento e rápida sedimentação (Consortium GTK, 2006a; Mussa, 2014; Mussa et al., 2018). O Cretácico Superior é marcado pelo desenvolvimento de formações geradoras de hidrocarbonetos, como a Formação Grudja (Inferior e Superior), com fácies variando de marinhas somíticas a profundas, ricas em matéria orgânica de origem terrestre. Esta formação atinge espessuras superiores a 2800 m no Graben do Urema (Mussa et al., 2018) e evidencia variações laterais significativas, com transições para fácies deltaicas ou costeiras mais arenosas na região da Baía de Sofala, influenciando a porosidade e permeabilidade dos reservatórios (Mussa, 2014). Entre o Eocénico e o Quaternário, registaram-se vários ciclos de transgressões e regressões marinhas, com a deposição das formações Cheringoma, Inhaminga e Mazamba, culminando nos depósitos aluviais, coluviais e costeiros recentes (Consortium GTK, 2006a; Pacheco, 2014; Pena et al., 2023). A Formação Cheringoma destaca-se pela presença de calcários fossilíferos e dolomitos com intensa carsificação controlada por fracturação tectónica, com formas como dolinas, algares e espeleotemas, bem descritas no Maciço Calcário de Khózuè (Pena et al., 2019).

A estrutura tectónica da sub-bacia Zambeze–Save insere-se numa zona de convergência entre cinturões orogénicos proterozóicos e sistemas distensivos pós-Gondwana. Esta configuração controla a compartimentação crustal da região, marcada por falhas normais, horsts e grabens associados a fases de rifteamento desde o Jurássico Superior até ao Terciário (Salman & Abdula, 1995; Consortium GTK, 2006a). Estruturas como os grabens de Urema, Palmeira e Chidenguele organizam-se em torno do Beira High, um bloco crustal soerguido com espessura superior a 23 km e velocidades sísmicas elevadas (6.3 - 7.5 km/s), interpretado como crosta continental intensamente intrudida (Sebagenzi & Kaputo, 2002; Mueller et al., 2016; Mueller & Jokat, 2017; Vormann & Jokat, 2021). Este domo atua como barreira tectono-sedimentar entre os domínios de subsidência, limitando a migração de sedimentos e hidrocarbonetos. A margem centro-oriental de Moçambique é classificada como vulcânica passiva, apresentando *Seaward Dipping Reflectors* (SDRs), que resultam de fases de subsidência térmica e fluxo de lava durante episódios de rifteamento falhado e *rift jumps* (Mahanjane, 2012; Mueller & Jokat, 2017). Esta margem encontra-se ainda na extremidade sul do Sistema de Rift do Leste Africano (EARS), registando múltiplas fases de subsidência e reativações tectónicas que influenciam profundamente a geomorfologia costeira e submersa. A porção offshore da sub-bacia, incluindo o canal de acesso ao Porto da Beira, é afectada por falhas activas, zonas de subsidência assimétrica e a presença da Depressão do Delta do Zambeze (ZDD), que acumula até 12 km de sedimentos sobre crosta de natureza híbrida com evidências de intrusão máfica (Preu et al., 2011). Esta depressão constitui um centro de deposição altamente dinâmico, cuja migração desde o Miocénico reflecte a interação entre correntes de fundo e variações crustais regionais. Estas condições tectónicas contribuem para padrões complexos de granulometria, ressuspensão sedimentar e instabilidade geomorfológica na Baía de Sofala, afectando diretamente o assoreamento e a manutenção do canal de navegação (Preu et al., 2011; Van der Lubbe et al., 2014).

A Baía de Sofala, situada na região centro-oriental e ligeiramente inclinada para a margem sudeste da sub-bacia Zambeze–Save, constitui uma zona de transição entre o continente e o Oceano Índico, caracterizada por baixa profundidade, batimetria variável e elevada sensibilidade hidrodinâmica. O sistema é marcado por marés semidiurnas com amplitudes superiores a 6 metros, ventos sazonais e correntes intensas, que, combinados, conferem elevada complexidade morfodinâmica (Sillva, 2011; Sitoe et al., 2021; Pena et al., 2023). Esta configuração promove a deposição contínua de sedimentos finos, de origem fluvial e marinha, e a frequente ressuspensão induzida por dragagens e eventos naturais.

A geomorfologia da Baía de Sofala é fortemente condicionada por reativações tectónicas, em particular durante o Miocénico e Pliocénico, que afectaram a evolução da linha de costa, os padrões de sedimentação estuarina e a estabilidade do canal de navegação do Porto da Beira. Este ambiente costeiro representa, assim, um elo dinâmico entre os processos continentais e oceânicos, sendo essencial para a compreensão da acumulação sedimentar na região.

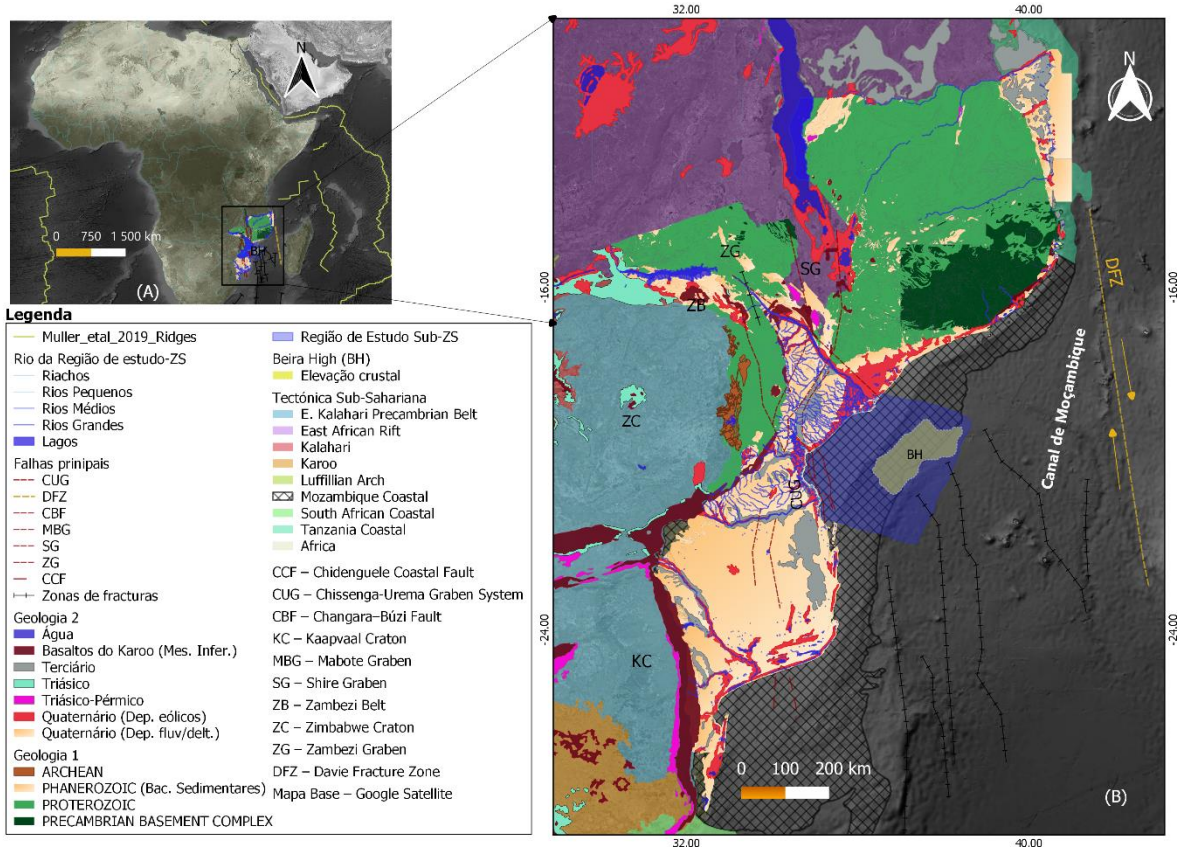


Figura 1. (A) Localização continental de Moçambique no contexto tectónico da Placa Africana. As principais unidades tectónicas estão representadas por linhas amarelas contínuas. **(B)** Mapa geológico e estrutural de Moçambique e áreas adjacentes, com destaque para os principais blocos tectónicos, sistemas de falhas e unidades estratigráficas. A região de estudo, correspondente à sub-bacia Zambeze–Save, encontra-se delimitada a azul e sobrepõe-se ao bloco do Beira High (BH), evidenciando a compartimentação tectono-sedimentar complexa da região.

Enquadramento local: estuário da Beira e canal de acesso ao Porto da Beira

Inserido no sector ocidental desta baía, o estuário da Beira resulta da confluência dos rios Púnguè e Búzi, que constituem os principais contributos fluviais para a deposição sedimentar na plataforma interna da Baía de Sofala. Esta unidade estuarina assume um papel estratégico

como zona de transição entre os sistemas fluvial e marinho, funcionando como filtro biogeoquímico e área preferencial de deposição de sedimentos finos (Brito & Pena, 2007; Sillva, 2011; Sitoe et al., 2021). Com substratos predominantemente lodosos e vastas áreas de mangal, este estuário apresenta elevada produtividade ecológica, sendo reconhecido como habitat de reprodução e crescimento de espécies economicamente relevantes, como os camarões peneídeos *Fenneropenaeus indicus* e *Metapenaeus monoceros* (Brito & Pena, 2007). A sua dinâmica sedimentar é condicionada por marés semidiurnas, correntes costeiras e descarga fluvial sazonal, factores que interagem com as actividades de dragagem, influenciando a qualidade dos sedimentos de fundo.

O canal de acesso ao Porto da Beira, escavado no interior do estuário da Beira, constitui uma infra-estrutura essencial para a actividade portuária e logística da cidade da Beira. Inserido numa zona de elevada dinâmica sedimentar, este canal é permanentemente afectado por processos de assoreamento, o que exige operações regulares de dragagem para garantir a sua navegabilidade (CONSULTEC, 2007). Estas dragagens, como já referido na nota introdutória, embora tenham finalidade logística, alteram os padrões locais de sedimentação, promovendo a remoção e redistribuição de sedimentos finos, além de exporem camadas subjacentes. Por essa razão, destaca-se que o canal, afectado por estas dinâmicas, constitui a área de amostragem do presente estudo (Figura 2). A análise da granulometria e da composição geoquímica dos sedimentos dragados visa fornecer subsídios técnicos para a compreensão da mobilidade dos materiais em suspensão e apoiar uma gestão sedimentar mais sustentável na região.

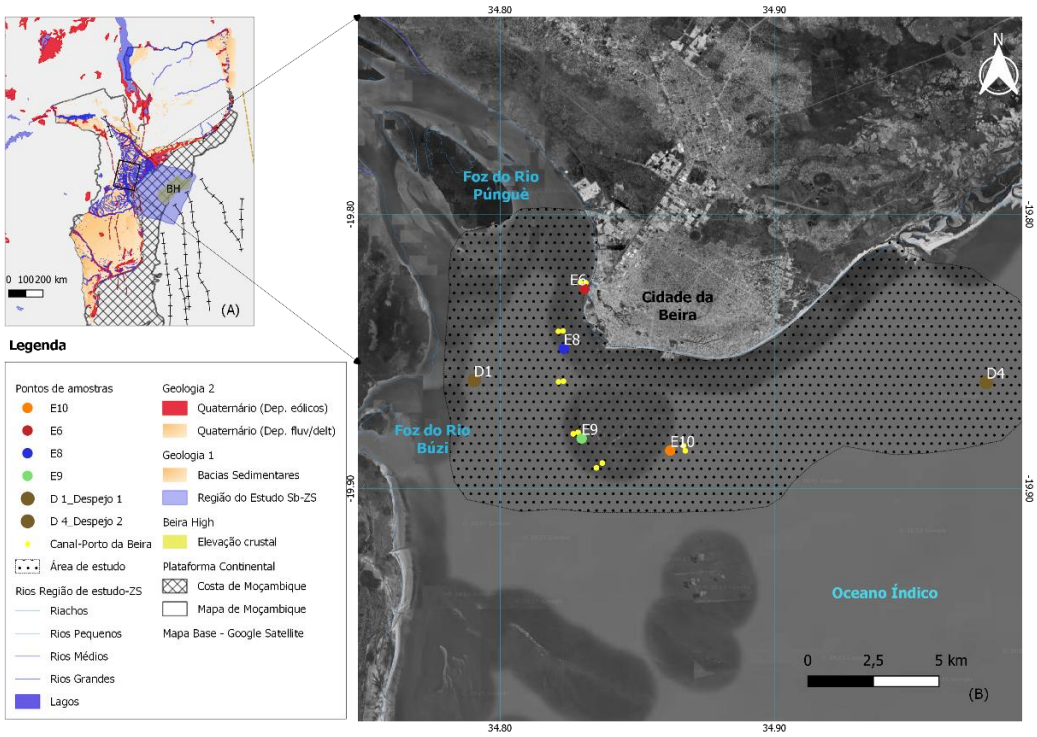


Figura 2. **(A)** Mapa geológico e estrutural de Moçambique, com destaque para os depósitos quaternários eólicos (manchas vermelhas), depósitos fluvio-deltaicos (laranja-claro) e principais sistemas de falhas. A região de estudo, correspondente à sub-bacia Zambeze–Save, encontra-se delimitada a azul e sobrepõe-se ao bloco do Beira High (BH), evidenciando a compartimentação tectono-sedimentar complexa da região. **(B)** Mapa da zona estuarina da cidade da Beira, com delimitação do canal de acesso dragado e identificação dos pontos de amostragem de sedimentos (E6, E8, E9, E10) e pontos de deposição de dragados (D1 e D4). A imagem de base corresponde a um mosaico de satélite (Google) georreferenciado, sobre o qual se sobrepõem feições geomorfológicas relevantes como a linha de costa, as desembocaduras dos rios Búzi e Púnguè, a plataforma continental e a área de estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização ambiental dos sedimentos dragados no canal de acesso ao Porto da Beira baseou-se em amostras recolhidas durante a campanha de dragagem de 2015, acompanhada in situ no âmbito de uma missão técnico-científica desenvolvida em colaboração com a Empresa Moçambicana de Dragagem (EMODRAGA).

Durante essa campanha, foram recolhidas amostras pontuais de sedimentos de fundo em quatro estações (E6, E8, E9 e E10, Figura 2-B), localizadas em áreas com registo de atividade de dragagem recente, conforme registado por Pena et al. (2023) . Estas estações situam-se ao longo do canal de acesso ao Porto da Beira, com coordenadas geográficas precisas registadas por GPS com correcção diferencial (RTK). As amostras foram recolhidas com base na observação directa da operação de dragagem, utilizando equipamento apropriado para recolha de sedimentos de fundo.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. As amostras foram inicialmente secas em estufa a 50 °C durante 72 horas. Em seguida, foram quarteadas manualmente para obtenção de subamostras representativas com aproximadamente 500 g, destinadas à análise granulométrica.

A análise granulométrica seguiu dois procedimentos distintos, conforme a natureza dos sedimentos. Nas amostras predominantemente arenosas, a crivagem foi realizada por via seca. Já nas amostras areno-lodosas, procedeu-se à separação da fração fina (<63 μm) por via húmida, utilizando água desmineralizada e peneira com malha de 63 μm (ASTM, 4 Ø). Para garantir a desagregação completa, as amostras foram submetidas a ultrassons durante 30 segundos e, posteriormente, a agitação num desagregador mecânico por 10 minutos.

Após a separação, as frações finas e grosseiras foram secas, pesadas e armazenadas em sacos plásticos selados. A fração grosseira (>63 μm) foi submetida a crivagem a seco com peneiros normalizados ASTM, com aberturas decrescentes de ½ em ½ Ø, num agitador mecânico durante 15 minutos. As frações resultantes foram pesadas individualmente, ensacadas e reservadas para análise estatística. A distribuição granulométrica foi tratada através do software GRADISTAT (versão 8), que permite o cálculo automático dos parâmetros estatísticos segundo as fórmulas de Folk & Ward (1957).

Para a análise geoquímica, seguiu-se o protocolo do Método 3050B da USEPA (1996), destinado à digestão ácida de amostras sólidas para determinação de metais traço. As amostras secas e homogeneizadas foram submetidas a digestão em sistema fechado com ácido nítrico (HNO_3) e peróxido de hidrogénio (H_2O_2), sendo os extratos analisados por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS). Esta técnica permitiu quantificar elementos com potencial de contaminação ambiental.

Adicionalmente, a dinâmica sedimentar foi interpretada com base nos estudos realizados por Sitoe et al. (2021), Silva (2011) e Preu et al. (2011), que analisaram, respetivamente, a influência das marés, batimetria, vento e correntes estuarinas, bem como os condicionantes estruturais da bacia sedimentar da região, utilizando dados de modelação hidrodinâmica, levantamentos batimétricos e observações geofísicas, com o objetivo de compreender os mecanismos de transporte e deposição dos sedimentos finos em suspensão. Para esta investigação, os mapas espaciais dos resultados de Sitoe et al. (2021) foram georreferenciados e sobrepostos às camadas do presente estudo, permitindo uma análise integrada e comparativa da dinâmica sedimentar.

ANÁLISE ESTATÍSTICA E AVALIAÇÃO AMBIENTAL

Análise Estatística

Para a análise estatística multivariada, foram considerados os parâmetros texturais e geoquímicos (os elementos maiores e elementos-traço). As concentrações foram previamente transformadas por log(x+1), visando garantir a normalização dos dados e reduzir a influência de valores extremos. Aplicou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) como método exploratório para identificar os principais eixos de variação entre as quatro amostras analisadas. Os cálculos foram efectuados no software R (versão 4.4.2), e os gráficos de scores e cargas factoriais gerados com base nos dois primeiros componentes principais (PC1 e PC2), que juntos explicam a maior parte da variância total.

Adicionalmente, foi realizada uma análise de agrupamento hierárquico (cluster analysis), com base na distância euclidiana e no método de ligação de Ward, com o objectivo de avaliar as relações de semelhança entre as amostras e validar os agrupamentos identificados pela PCA.

Por fim, a representação espacial dos dados e dos resultados estatísticos foi efectuada no software QGIS (versão 3.14.16), com o sistema de referência geodésico WGS84.

Avaliação Ambiental

Para a avaliação ambiental dos sedimentos dragados no estuário da Beira, foram considerados prioritariamente os parâmetros geoquímicos, com ênfase nos elementos traço, por serem os mais relevantes na análise da qualidade dos sedimentos. Como principal referência normativa, foi adoptada a Portaria n.o1450/2007, de 12 de Novembro, do Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional de Portugal. Esta norma estabelece um sistema de classificação em cinco classes, das quais quatro se referem à qualidade ambiental dos sedimentos – limpo, vestigial, ligeiramente contaminado e contaminado, com base em limiares de concentração de metais pesados na fracção fina dos sedimentos (<63 µm). A quinta classe corresponde a materiais classificados como resíduos perigosos, não sendo dragáveis sem tratamento ou confinamento específico. A Portaria permite, assim, a comparação directa dos níveis de elementos traço (Cr, Ni, Cu, Pb, Zn, As, Cd, Hg, entre outros) detectados nas amostras, enquadrando-os num sistema normativo amplamente reconhecido.

Em complemento, foram consideradas duas normas internacionais amplamente reconhecidas: (i) as *Sediment Quality Guidelines* do Alaska Department of Environmental Conservation (2013), que aplicam os níveis TEL (*Threshold Effect Level*) e PEL (*Probable Effect Level*) para triagem preliminar de risco ecotoxicológico, com base nos valores desenvolvidos pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Buchman, 1999); e (ii) as directrizes da CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), que adoptam uma abordagem integrada baseada em múltiplas linhas de evidência, combinando análises químicas, toxicidade, bioacumulação e dados ecológicos (Simpson & Batley, 2016), conforme sintetizado na Tabela 1.

A adopção destas normas em Moçambique justifica-se pela inexistência, ou difícil acesso, a normativos nacionais específicos para a avaliação de sedimentos dragados, sendo, por isso, uma base técnica credível e internacionalmente reconhecida, que assegura a fiabilidade dos resultados e a sua comparabilidade com padrões globais. A norma PIANC (2006) foi igualmente consultada como orientação complementar, sobretudo no que respeita à avaliação biológica de sedimentos em contextos portuários e de dragagem.

Tabela 1. Normas Internacionais para Avaliação da Qualidade de Sedimentos aplicadas ao Estuário da Beira.

Parâmetros	NOAA (EUA) TEL-PEL	Portaria 1450/2007 (Portugal)	CSIRO (Austrália)
Base conceitual	Níveis TEL (Efeitos Limiares) e PEL (Efeitos Prováveis) baseados em efeitos biológicos observados	Classificação dos sedimentos dragados em cinco classes, com critérios químicos claros para metais e compostos orgânicos	Abordagem de múltiplas linhas de evidência (química, toxicidade e bioacumulação)
Aplicação	Avaliação inicial, triagem rápida da qualidade dos sedimentos	Gestão e disposição de materiais dragados	Avaliações detalhadas e integradas da qualidade ambiental dos sedimentos
Indicadores de qualidade usados	Metais traço, Hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), pesticidas organoclorados e PCBs, entre outros	Metais pesados, hidrocarbonetos, compostos orgânicos, classificação baseada em concentração e destino dos sedimentos	Metais, contaminantes orgânicos, testes ecotoxicológicos, análises de bioacumulação e biodiversidade
Níveis de referência (exemplos)	TEL: limiar baixo; PEL: limiar alto de efeitos adversos	Classe 1 (Limpo), Classe 2 (Vestigial), Classe 3 (Ligeiramente contaminado), Classe 4 (Contaminado), Classe 5 (Muito contaminado)	Concentrações baseadas em efeitos biológicos integrados e em avaliações detalhadas de bioacumulação
Frequência de uso Internacional	Ampla, especialmente nas Américas e reconhecida globalmente	Comum na União Europeia e países de língua portuguesa	Ampla na Oceânia e reconhecida globalmente para estudos científicos detalhados

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Granulometria

Os resultados granulométricos das quatro estações amostrais (E6, E8, E9 e E10) indicam que os sedimentos dragados ao longo do canal de acesso ao Porto da Beira apresentam composições heterogéneas, com predomínio variável de areia, silte e cascalho. As texturas observadas variam entre areia fina silto-argilosa ligeiramente cascalhenta (E6), silte muito fino com areia média (E8), areia média ligeiramente muito fina e cascalhenta (E9) e silte fino cascalhento muito fino (E10), reflectindo diferentes condições deposicionais e hidrodinâmicas ao longo do canal (Tabela 2, Figura 6).

Tabela 2. Classificação granulométrica dos sedimentos dragados no canal de acesso ao Porto da Beira (Estuário da Beira), segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957). D_{10}, D_{50} e D_{90} correspondem, respectivamente, aos diâmetros de corte de 10%, 50% e 90% do peso total das partículas nas amostras. A razão D_{90}/D_{10} expressa a heterogeneidade granulométrica dos sedimentos (Pena et al., 2023).

Estação	Diâmetro médio (µm)	D10 (µm)	D50 (µm)	D90 (µm)	D90/D10	Desvio padrão (σ1)	Assimetria (Sk1)	Curtose (KG)
E6	83,87	40,38	257,97	2938,26	473,11	9,41	3,04	1,57
E8	54,37	34	122,07	1009,01	140,35	4,75	-0,07	0,95
E9	112,14	56,01	36,96	236,51	3,31	1,61	-0,68	0,63
E10	109,02	51,54	91,51	1116,71	193,63	2,98	0,39	0,36

Tabela 2 (continuação)
Classificação de Sedimentos

Estação	Tipos de Sedimentos	Calibração	Tipo de Assimetria	Tipo de Curtose
E6	Areia fina silto-argilosa	Muito mal calibrado	Fortemente assimétrico nos finos	Platicúrtica
E8	Silte muito fino com areia média	Mal calibrado	Simétrico	Platicúrtica
E9	Areia média ligeiramente cascalhenta	Moderadamente bem calibrado	Assimétrico nos finos	Platicúrtica
E10	Silte fino cascalhento	Mal calibrado	Assimétrico nos grosseiros	Muito platicúrtica

A distribuição do diâmetro médio (D50) situa-se entre 54,37 µm (E8) e 112,14 µm (E9), enquanto os valores de D90 evidenciam a presença de partículas grosseiras, com destaque para a estação E6 (2938,26 µm), cuja razão D90/D10 (473,11) indica uma forte heterogeneidade sedimentar. A análise estatística dos parâmetros granulométricos mostra valores de desvio padrão (σ_1) entre 1,61 e 9,41, correspondendo a calibração entre moderadamente boa e muito deficiente. A assimetria varia entre distribuições orientadas para os finos e para os grosseiros, e a curtose indica curvas predominantemente platicúrticas a muito platicúrticas.

Este padrão granulométrico é coerente com a elevada dinâmica sedimentar da Baía de Sofala, onde a alternância entre zonas de maior e menor energia hidrodinâmica resulta da interação entre a morfologia do canal, a batimetria local, os forçamentos de maré e a variabilidade das descargas fluviais (Silva, 2011; Sitoe et al., 2021). Os sedimentos mal calibrados observados, como na estação E6 (junto à foz do rio Púnguè), evidenciam processos de deposição rápida e fontes sedimentares mistas.

Estudos sobre a sedimentação ao largo do delta do Zambeze, como o de Van der Lubbe et al. (2014), revelam que a deposição ao longo dos últimos 20000 anos foi fortemente influenciada pela descarga fluvial, variabilidade climática e correntes de fundo. Estes factores modelaram a dispersão dos sedimentos finos e o ritmo de acumulação, com alternância entre fases dominadas por aporte continental e fases mais influenciadas por circulação oceânica. A relevância destes mecanismos é comparável ao que se observa na Baía de Sofala, onde o sistema estuarino da Beira responde de forma semelhante a pulsos fluviais e rearranjos hidrodinâmicos regionais.

Paralelamente, trabalhos realizados na margem sul de Moçambique por Preu et al. (2011) demonstram como a sedimentação pode ser moldada por correntes marinhas e configurações estruturais locais, particularmente em ambientes de plataforma e talude influenciados por subsidência térmica e reativações tectónicas. Estes dados, à semelhança do que se verificou na embocadura estuarina da Figueira da Foz (Portugal), onde a agitação marítima e a intervenção humana influenciam o assoreamento (Silva et al., 2015), reforçam o papel dos mecanismos múltiplos que controlam a organização sedimentar em ambientes estuarinos activos como o da Beira.

A assimetria, predominantemente positiva em E6 e E10, sugere deposição em ambientes de baixa energia, com dominância de partículas finas, possivelmente associadas à estagnação estuarina ou à ressuspensão de fundo. Por contraste, a assimetria negativa observada em E9 pode reflectir influência de retrabalhamento hidrodinâmico, transporte selectivo ou erosão localizada. Estes padrões são consistentes com os resultados obtidos por Sitoe et al. (2021), que analisaram a dispersão da pluma sedimentar no estuário do Púnguè.

A estação E9, situada em zona mais distal das embocaduras dos rios Púnguè e Búzi, alinha-se espacialmente com sectores costeiros como Palmeiras e Macuti, áreas que têm sofrido processos de erosão costeira induzidos por marés e ondulação (Silva, 2011; Sitoe et al., 2021). A granulometria mais grossa, a assimetria negativa e a baixa curtose observadas em E9 sugerem um padrão sedimentar influenciado por retrabalhamento marinho, possivelmente relacionado com acção directa de ondas e correntes de retorno, em contraste com o predomínio de deposição fluvial nas demais estações. A curtose é, em todas as estações, platicúrtica ou muito platicúrtica, revelando curvas de distribuição achatadas, com mistura de subpopulações sedimentares. Este tipo de distribuição é típico de ambientes estuarinos sujeitos a deposição descontínua e a flutuações de energia, conforme sugerido por Van der Lubbe et al. (2014) e Pena et al. (2017).

De forma geral, os dados obtidos reforçam a interpretação de que o canal de acesso ao Porto da Beira actua como um colector sedimentar influenciado pela descarga dos rios Púnguè e Búzi, pela acção das marés semidiurnas, pela deriva litoral e pela morfologia batimétrica do estuário. Estes factores combinados explicam os níveis elevados de heterogeneidade granulométrica e os desafios operacionais recorrentes associados ao assoreamento e à necessidade de dragagens frequentes. Estudos regionais realizados por Ponte et al. (2019) sobre a evolução do delta do Zambeze corroboram a relevância das interações entre subsidência tectónica, descarga fluvial e variabilidade climática na organização sedimentar da margem centro-oriental de Moçambique, reforçando a aplicação destes conceitos ao contexto estuarino da Beira.

Geoquímica dos Sedimentos: elementos maiores e elementos-traço

A análise geoquímica dos sedimentos da fração inferior a 63 µm (fração fina) das estações E6, E8, E9 e E10 permitiu identificar a presença de elementos maiores e diversos elementos-traço em concentrações variáveis. As Tabelas 3 e 4 resumem os valores máximos, mínimos, média, mediana, percentis e desvio padrão das concentrações obtidas (em $mgkg^{-1}$).

Os elementos maiores com concentrações mais elevadas nos sedimentos foram o alumínio (Al) e o ferro (Fe), com médias de 29537,93 $mgkg^{-1}$ e 27978,29 $mgkg^{-1}$, respetivamente. O alumínio variou entre 13903,96 e 39272,89 $mgkg^{-1}$, enquanto o ferro oscilou entre 20704,11 e 34153,86 $mgkg^{-1}$, revelando ampla distribuição de minerais alumino-silicáticos e óxidos de ferro. O cálcio (Ca) apresentou variação significativa (3953,89 - 36465,66 $mgkg^{-1}$), com média de 21094,77 $mgkg^{-1}$, sugerindo possíveis contribuições carbonatadas. O magnésio (Mg) e o potássio (K) registaram médias de 8192,44 $mgkg^{-1}$ e 3886,61 $mgkg^{-1}$, respetivamente, com amplitudes moderadas, enquanto o sódio (Na) apresentou a maior variabilidade, com valores entre 720,31 e 10059,57 $mgkg^{-1}$ (DP = 4213,23 $mgkg^{-1}$), refletindo padrões de deposição heterogéneos.

Tabela 3. Os máximos, mínimos, percentis, média, mediana e desvios padrão (DP) das concentrações de elementos maiores ($mgKg^{-1}$) da fração sedimentar <63 µm do canal de acesso ao Porto da Beira.

Elemento [mgKg-1]	Máximo	P75	Mínimo	P25	Média	Mediana	DP
Na	10059,57	5065,84	720,31	1433,03	3962,94	2535,93	4213,23
Mg	11486,56	10242,26	3495,74	6843,90	8192,44	8893,73	3446,62
Al	39272,89	38160,98	13903,96	23864,39	29537,93	32487,43	11730,75
K	5289,48	4933,15	1933,84	3115,01	3886,61	4161,56	1503,87
Ca	36465,66	25818,95	3953,89	17255,58	21094,77	21979,76	13314,27
Fe	34153,86	32040,86	20704,11	24465,04	27978,29	28527,60	5984,28

No que diz respeito aos elementos-traço (Tabela 4), observou-se a seguinte distribuição: os mais abundantes foram o manganês (Mn), com valores entre 476,70 e 763,30 $mgkg^{-1}$ (média de 586,16 $mgkg^{-1}$), e o zinco (Zn), com concentrações de 25,48 a 79,28 $mgkg^{-1}$. Estes dois

elementos apresentaram também os maiores desvios padrão, o que indica significativa variabilidade espacial entre as estações. O crómio (Cr) e o níquel (Ni) destacaram-se igualmente por valores relativamente elevados, com médias de 89,85 mg/kg e 45,48 $mgkg^{-1}$, respetivamente. O crómio atingiu um máximo de 112,14 $mgkg^{-1}$, enquanto o níquel registou um pico de 56,01 $mgkg^{-1}$. Estes valores foram acompanhados por níveis moderados de cobre (Cu), variando de 19,63 a 28,38 $mgkg^{-1}$. O cobalto (Co) apresentou uma variação entre 12,96 e 16,98 mg/kg, com média de 14,97 $mgkg^{-1}$. Já os elementos menos representativos em termos absolutos foram a prata (Ag), com concentrações entre 0,05 e 0,12 $mgkg^{-1}$, e o tálio (Tl), com valores entre 0,09 e 0,19 $mgkg^{-1}$. Outros elementos presentes em menor concentração, mas com variabilidade notável, incluem o chumbo (Pb), variando entre 10,11 e 21,10 $mgkg^{-1}$, o bário (Ba) entre 28,10 e 103,81 $mgkg^{-1}$, e o arsénio (As), com valores entre <1,79 e 3,99 $mgkg^{-1}$. O urânio (U) foi detetado em todas as amostras com valores relativamente homogéneos (1,07 - 1,43 $mgkg^{-1}$; DP = 0,14).

Tabela 4. Os máximos, mínimos, percentis, média, mediana e desvios padrão (DP) das concentrações de elementos traços ($mgKg^{-1}$) da fração sedimentar <63 µm do canal de acesso ao Porto da Beira.

Elementos traços [$mgKg^{-1}$]	Máximo	P_{75}	Mínimo	P_{25}	Média	Mediana	DP
V	53,80	51,74	37,68	45,60	47,69	49,65	6,11
Cr	112,14	109,80	54,37	76,49	89,85	96,44	23,23
Mn	763,30	609,22	476,70	529,25	586,16	552,32	106,90
Co	16,98	15,83	12,96	14,12	14,97	14,98	1,46
Ni	56,01	52,65	34,00	38,78	45,48	45,96	8,74
Cu	28,38	26,86	19,63	21,37	24,08	24,15	3,46
Zn	79,28	67,40	25,48	39,61	53,13	53,88	20,20
As	3,99	3,64	2,98	3,14	3,42	3,30	0,42
Mo	2,12	1,99	1,41	1,78	1,84	1,92	0,26
Ag	0,12	0,10	0,05	0,06	0,08	0,08	0,03
Cd	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,00
Ba	103,81	72,25	28,10	36,05	58,08	50,21	29,07
Tl	0,19	0,18	0,09	0,14	0,15	0,17	0,04
Pb	21,10	18,47	10,11	11,49	15,19	14,77	4,39
U	1,43	1,37	1,07	1,15	1,25	1,26	0,14

Análise Estatística Multivariada (PCA e agrupamento)

A Análise de Componentes Principais (PCA), aplicada às concentrações dos elementos maiores, elementos traço e parâmetros texturais dos sedimentos, permitiu identificar os principais eixos de variação entre as quatro estações amostradas (E6, E8, E9 e E10). Os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicam conjuntamente 91,5% da variância total dos dados, sendo que o PC1 representa 60% e o PC2 31,5% (Figura 4).

O primeiro componente principal (PC1) capta a maior parte da variância dos dados (60%) e está fortemente correlacionado com os elementos metálicos crómio (Cr), níquel (Ni), cobre (Cu), zinco (Zn) e ferro (Fe), bem como com os elementos maiores potássio (K) e magnésio (Mg). Além disso, variáveis texturais como o diâmetro médio (Dm), D10, D50 e D90 apresentam também cargas factoriais positivas elevadas neste eixo. Esta combinação de variáveis sugere que o PC1 representa um gradiente geoquímico e textural, associado a

sedimentos de granulometria média a grossa e com maior teor de metais. Neste contexto, scores positivos de PC1 indicam estações com maior proporção de areia (um reflexo de ambientes com maior energia hidrodinâmica) e enriquecimento geoquímico, enquanto scores negativos reflectem sedimentos mais finos e menos enriquecidos. O gráfico de scores (Figura 5, score do PC1) mostra que as estações E9 e E10 apresentam os valores mais elevados, evidenciando uma forte associação com sedimentos arenosos e concentrações elevadas de metais. Em contraste, as estações E6 e E8 possuem scores negativos, o que sugere a predominância de materiais mais finos e menor carga metálica, ainda que algumas variáveis texturais, como a assimetria e a curtose, possam moderar esta interpretação, dado que estas características da distribuição granulométrica influenciam a resposta multivariada dos sedimentos.

O segundo componente (PC2), responsável por 31,5% da variância, destaca-se pelas elevadas cargas factoriais associadas à assimetria, curtose, e aos elementos bário (Ba), arsénio (As) e molibdénio (Mo), sendo que prata (Ag) e cádmio (Cd) também contribuem, ainda que em menor grau. Este componente parece reflectir padrões sedimentares mais relacionados com a distribuição granulométrica (forma da distribuição) e possíveis influências de fontes específicas, como actividades antrópicas ou variações naturais locais. A análise dos scores de PC2 revela que a estação E6 apresenta o valor mais elevado, sugerindo uma textura sedimentar mais assimétrica ou heterogénea. Por outro lado, E8 destaca-se com o score mais negativo, compatível com sedimentos mais homogéneos ou dominados por partículas finas com baixa variabilidade granulométrica (Figura 5, score do PC2).

O gráfico de cargas factoriais (Figura 4) confirma, assim, a existência de dois eixos de variação principais: um eixo associado à granulometria e ao enriquecimento metálico (PC1) e outro à distribuição granulométrica e à presença de elementos traço com origem potencialmente específica (PC2). Estes resultados permitem discriminar espacialmente as estações e identificar processos sedimentares e geoquímicos distintos ao longo do canal.

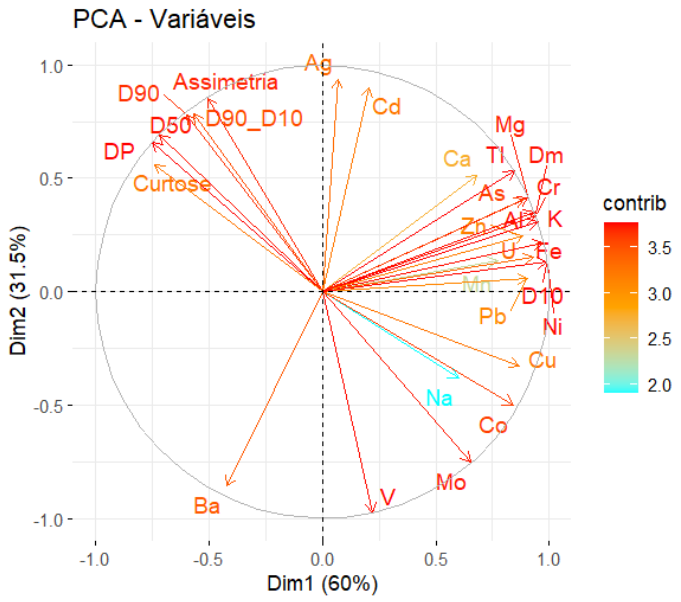


Figura 3. Gráfico de Cargas Factoriais da PCA, indicando a contribuição relativa das variáveis para os eixos principais (PC1 e PC2).

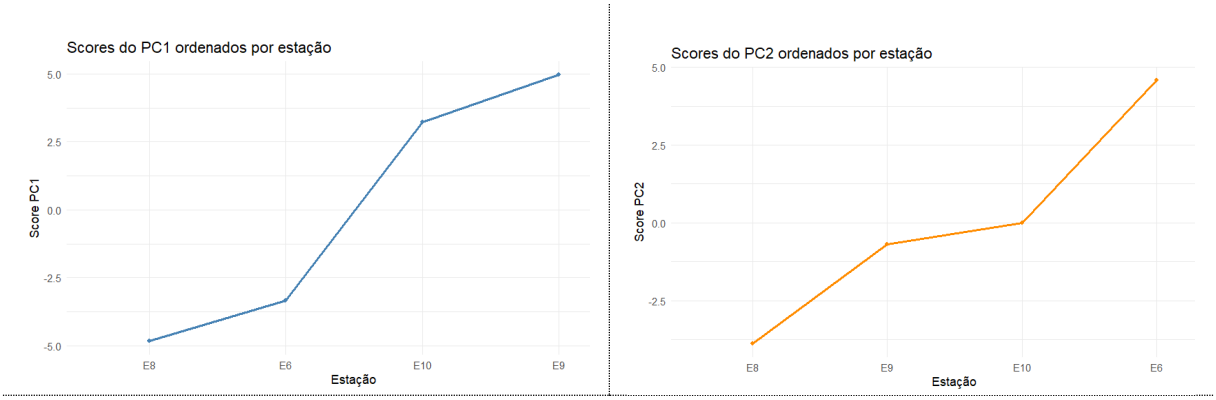


Figura 4. Gráfico de Scores da PCA (componentes PC1 e PC2) representando a distribuição das amostras com base nos dois principais eixos de variância., e dendrograma de agrupamento hierárquico das estações amostrais com base nas concentrações de elementos traço.

O dendrograma obtido a partir da análise de agrupamento hierárquico revelou a existência de dois grupos principais de estações, com base nas semelhanças das suas características geoquímicas e texturais. As estações E6 e E8 agruparam-se devido à sua semelhança, marcada por sedimentos mais finos e teores metálicos relativamente baixos. A proximidade entre estas estações sugere condições deposicionais semelhantes e menor influência de fontes antrópicas directas. Por outro lado, E9 e E10 formaram um segundo grupo distinto, associado a sedimentos mais arenosos e enriquecidos em metais como crómio (Cr), níquel (Ni) e cobre (Cu). Esta associação aponta para ambientes com maior energia hidrodinâmica e possível influência de processos como a dragagem ou deposição orientada por correntes dominantes. Este padrão de agrupamento reforça os resultados obtidos pela PCA, validando a separação espacial das estações e permitindo uma interpretação mais robusta da dinâmica sedimentar e da distribuição geoquímica ao longo do canal de acesso ao porto da Beira (Figura 5).

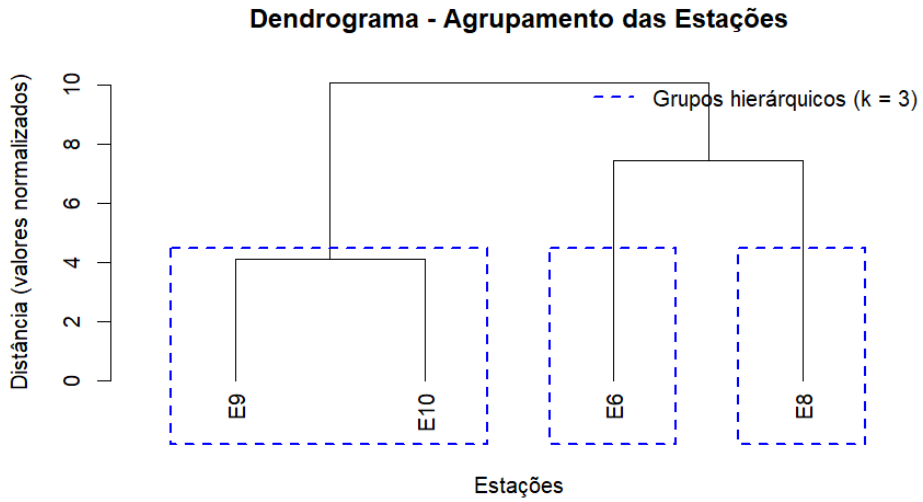


Figura 5. Dendrograma de agrupamento hierárquico das estações amostrais com base nas concentrações de elementos-traço.

Interpretação Integrada da Geoquímica, Textura e Dinâmica Sedimentar

A interpretação integrada dos dados sedimentares e geoquímicos revela uma estrutura espacial clara ao longo do canal de acesso ao porto da Beira, associando-se texturas mais arenosas a concentrações mais elevadas de elementos metálicos como Cr, Ni e Cu, contrariamente ao padrão frequentemente descrito na literatura, que aponta para a acumulação destes metais em sedimentos finos com elevado teor de matéria orgânica. No presente estudo, este padrão não se verifica de forma significativa, possivelmente devido à influência da actividade de dragagem e à dinâmica hidrodinâmica local, que favorece a deposição de sedimentos mais grossos associados a concentrações metálicas mais elevadas, como verificado nas estações E9 e E10 (Figura 6).

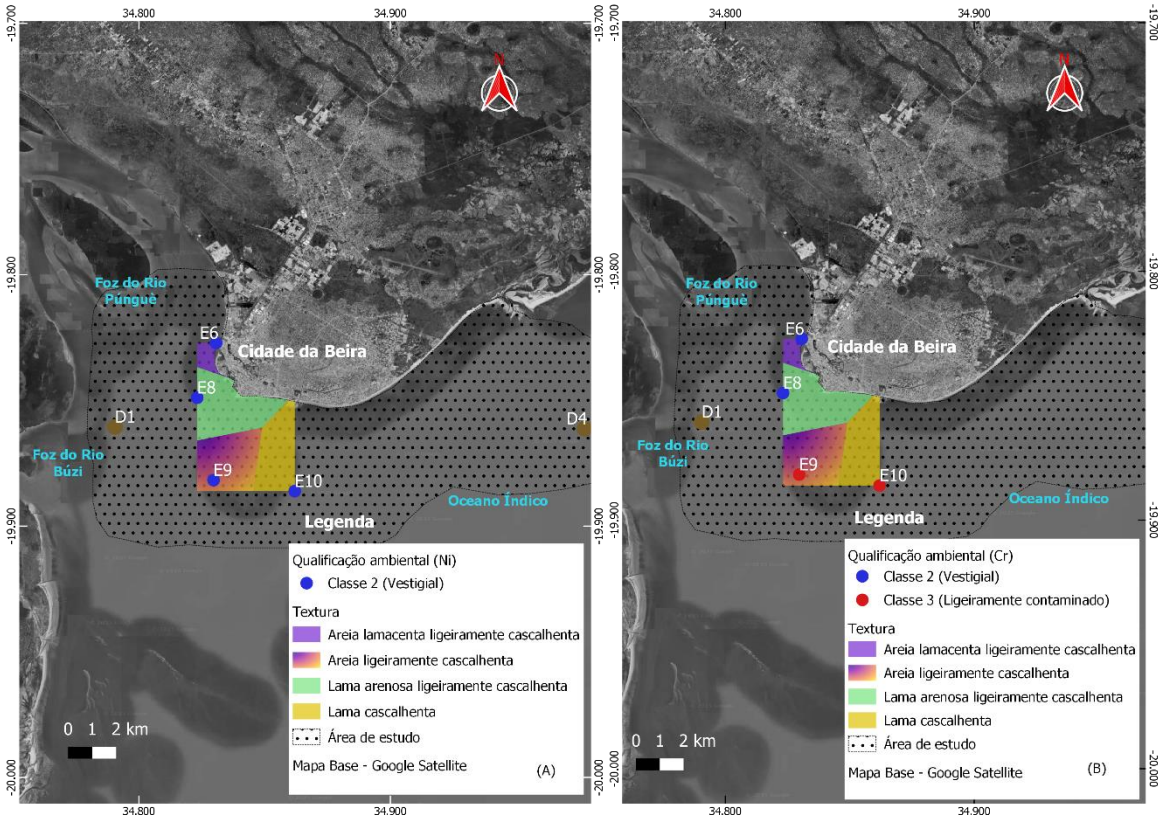


Figura 6. Distribuição espacial da textura sedimentar e qualificação ambiental no canal de acesso ao Porto da Beira: (A) Níquel (Ni); (B) Crómio (Cr).

A inversão do padrão clássico, no qual sedimentos finos são geralmente associados a maiores concentrações de metais traço, pode ser explicada pela reintrodução e redistribuição de partículas durante as operações de dragagem, como demonstrado por Sitoe et al. (2021), que modelaram a dispersão da pluma de sedimentos (Figura 7). A estação E9, próxima da zona urbana e do terminal de drenagem do bairro das Palmeiras, sugere a influência de aportes antrópicos directos. Por sua vez, a estação E10, situada mais a jusante e numa posição distal do canal, reflecte um padrão típico de acumulação em ambientes de baixa energia, onde partículas em suspensão se depositam gradualmente. A coincidência espacial entre os teores mais elevados de crómio e níquel e a zona de deposição simulada sugere que o enriquecimento geoquímico nesta região pode resultar da remobilização e transporte de sedimentos finos contaminados, que são posteriormente redistribuídos pela acção hidrodinâmica.

Em contraste, as estações E6 e E8 apresentam sedimentos mais finos e menor carga metálica. Embora não se localizem directamente nas embocaduras dos rios Púnguè e Búzi, a orientação

e a morfologia dessas fozes favorecem a advecção lateral de sedimentos terrígenos transportados em suspensão, que se dispersam ao longo do canal. A deposição tende a ocorrer em zonas de menor energia hidrodinâmica, o que justifica a granulometria fina e a maior homogeneidade observada nessas estações. A análise integrada reforça, assim, a hipótese de que a combinação entre actividade de dragagem, dinâmica fluvial e padrões urbanos exerce um papel determinante na distribuição geoquímica dos sedimentos.

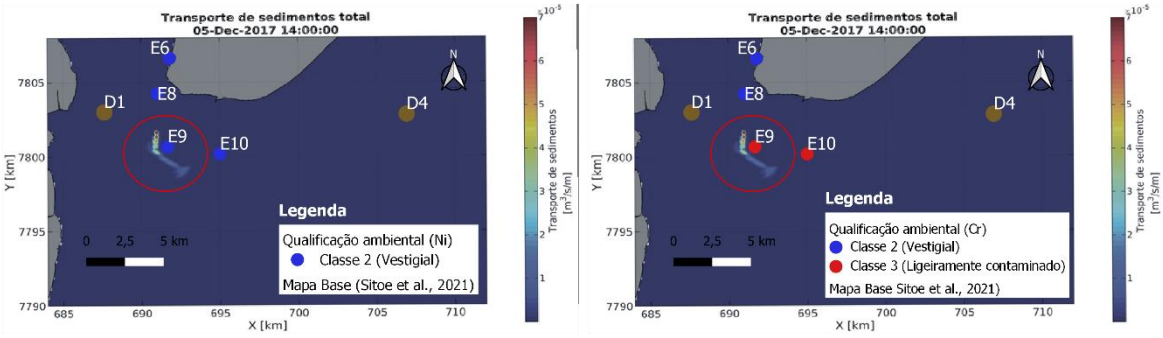


Figura 7. Sobreposição da qualificação ambiental de Ni (à esquerdo) e Cr (à direito) com a pluma de sedimentos modelada por Sitoe et al. (2021), com destaque para a área de coincidência entre contaminação, dinâmica sedimentar e deposição induzida por dragagem.

Avaliação da Aptidão Ambiental dos Sedimentos Dragados no Canal de Acesso ao Porto da Beira

A classificação ambiental dos sedimentos dragados no estuário da Beira foi efectuada com base na comparação das concentrações máximas dos elementos traço com os valores de referência definidos por três normas internacionais reconhecidas. Os resultados permitem enquadrar os teores detectados dentro de categorias de qualidade ambiental estabelecidas, destacando os elementos que apresentam maior risco potencial. As Tabelas 5 e 6 apresentam, respectivamente, a qualificação geral dos elementos traço analisados e a distribuição espacial dos teores de níquel (Ni) e crómio (Cr), que se destacaram por atingirem classes de alerta superiores.

Tabela 5. Avaliação de elementos-traço nos sedimentos dragados no canal de acesso ao porto da Beira (Estuário da Beira), com base em valores de referência internacionais.

Elemento	Concentração máxima ($mgkg^{-1}$)	Qualificação Portaria 1450/2007	Qualificação NOAA (TEL-PEL)	Qualificação CSIRO
V	53,8	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Cr	112,14	Classe 3 (Ligeiramente contaminado)	Acima do PEL	Alto risco, requer investigação adicional
Mn	763,3	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Co	16,98	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Ni	56,01	Classe 2 (Vestigial)	Entre TEL e PEL	Moderado, requer confirmação por bioensaios
Cu	28,38	Classe 1 (Limpo)	Abaixo TEL	Baixo risco
Zn	79,28	Classe 1 (Limpo)	Abaixo TEL	Baixo risco
As	3,99	Classe 1 (Limpo)	Abaixo TEL	Baixo risco

Mo	2,12	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Ag	0,12	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Cd	0,08	Classe 1 (Limpo)	Abaixo TEL	Baixo risco
Ba	103,81	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Tl	0,19	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma
Pb	21,1	Classe 1 (Limpo)	Abaixo TEL	Baixo risco
U	1,43	Não definido pela norma	Não definido pela norma	Não definido pela norma

Tabela 6. Teores de Níquel e Crómio na fração sedimentar (<63 µm) comparados a partir de valores de referências da Portaria n.º 1450/2007 de 12 de Novembro.

Estação	Tipo de sedimento	Concentração Ni	Classificação Ni (Portaria 1450/2007)	Concentração Cr	Classificação Cr (Portaria 1450/2007)
E6	Areia fina silto-argilosa	40,38	Classe 2 (Vestigial)	83,87	Classe 2 (Vestigial)
E8	Silte muito fino com areia média	34,00	Classe 2 (Vestigial)	54,37	Classe 2 (Vestigial)
E9	Areia média ligeiramente cascalhenta	56,01	Classe 2 (Vestigial)	112,14	Classe 3 (Ligeiramente contaminado)
E10	Silte fino cascalhento	51,54	Classe 2 (Vestigial)	109,02	Classe 3 (Ligeiramente contaminado)

De forma geral, os resultados geoquímicos indicam que os sedimentos dragados ao longo do canal apresentam características compatíveis com materiais ambientalmente aptos para deposição em meio aquático, desde que acompanhados por monitorização adequada. A maioria dos elementos-traço encontram-se dentro dos limites estabelecidos para as Classes 1 (limpo) e 2 (vestigial), com destaque para o cobre (Cu), zinco (Zn), arsénio (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e urânio (U), que não ultrapassam os níveis que exigiriam medidas restritivas adicionais.

Contudo, os elementos Cr e Ni exigem atenção particular, pois registaram enriquecimento em todas as estações, com picos nas estações E9 e E10. O níquel (Ni) atingiu 56,01 $mgkg^{-1}$ em E9 e 51,54 $mgkg^{-1}$ em E10, sendo todas as estações classificadas como Classe 2 (vestigial). O crómio (Cr) apresentou concentrações de 112,14 $mgkg^{-1}$ em E9 e 109,02 $mgkg^{-1}$ em E10, ambas classificadas como Classe 3 (ligeiramente contaminado).

No caso do Cr, estes valores colocam os sedimentos da região distal do canal num patamar que requer avaliação ambiental mais aprofundada, sobretudo em locais sensíveis à deposição, como zonas estuarinas ou áreas com actividade piscatória ou de recreio.

Segundo os critérios da NOAA, os teores de Cr ultrapassam o nível PEL (Probable Effect Level), implicando risco potencial de efeitos adversos à biota. Os valores de Ni situam-se entre os níveis TEL (Threshold Effect Level) e PEL, indicando risco moderado. A classificação da CSIRO reforça estas conclusões: o Cr é enquadrado como de risco elevado, e o Ni como de

risco moderado, recomendando-se, para ambos os casos, a realização de bioensaios e investigação adicional antes da deposição final.

Estes resultados reforçam a necessidade de aplicar planos de monitorização ambiental contínua, especialmente quando os sedimentos forem destinados a deposição em ambientes marinhos ou estuarinos como a Baía de Sofala. De facto, em estudos análogos realizados em Portugal, sedimentos enquadrados até à Classe 3 foram aceites para deposição marinha, desde que sujeitos a vigilância ambiental sistemática e monitorização da qualidade do meio receptor (Pena et al., 2017).

Importa também salientar que tanto o níquel como o crómio, apesar de potencialmente tóxicos, são também oligoelementos essenciais ao metabolismo em organismos superiores. Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 1996), a presença desses metais em concentrações próximas dos limiares de referência não implica, por si só, risco imediato, sendo fundamental considerar factores como a bioacessibilidade dos metais, a especiação química no sedimento, bem como as condições físico-químicas do meio receptor. Adicionalmente, embora este estudo não tenha incluído bioensaios, os teores registados de crómio e níquel, em especial nas estações E9 e E10, situam-se em faixas de concentração que, segundo as directrizes da NOAA e da CSIRO, podem justificar a realização de estudos de bioacumulação em organismos bentónicos. Estes ensaios são recomendados quando os contaminantes, mesmo em concentrações moderadas, apresentam alta bioacessibilidade, o que poderá implicar riscos ecológicos não detectáveis apenas pela análise química total.

CONCLUSÕES

Este estudo permitiu caracterizar a composição textural e geoquímica dos sedimentos dragados no canal de acesso ao Porto da Beira, integrando análises laboratoriais, métodos estatísticos e interpretação espacial em ambiente SIG. Os sedimentos apresentaram variações granulométricas marcadas, com predomínio de frações arenosas e siltosas, determinadas pela energia hidrodinâmica local e pela morfologia do canal.

Do ponto de vista geoquímico, a maioria dos elementos traço apresentou teores compatíveis com as classes ambientais menos restritivas segundo a Portaria n.º 1450/2007, sendo o cobre (Cu), zinco (Zn), arsénio (As), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e urânio (U) classificados como ambientalmente limpos. Destacam-se, contudo, os teores mais elevados de crómio (Cr) e níquel (Ni), registados nas estações E9 e E10, com classificações de ligeiramente contaminado e vestigial, respectivamente. Os níveis de Cr, em particular, ultrapassaram o limiar PEL da NOAA, sugerindo risco potencial para organismos bentónicos.

A análise estatística multivariada, por meio de PCA e agrupamento hierárquico, revelou dois eixos principais de variação: um relacionado com o teor de metais e granulometria relativamente mais grossa (PC1), e outro associado à distribuição granulométrica e variáveis de origem potencialmente antrópica (PC2). A interpretação espacial, suportada por mapas SIG, confirmou a existência de padrões diferenciados de deposição. A estação E9 revelou forte influência urbana e sobreposição com a pluma modelada de dragagem, enquanto E10 reflecte uma zona distal de acumulação natural em ambiente de baixa energia. Em oposição, E6 e E8 apresentaram sedimentos mais finos e homogéneos, influenciados pela advecção lateral de partículas terrígenas associadas à dinâmica das embocaduras dos rios Púnguè e Búzi.

A avaliação da aptidão ambiental indica que os sedimentos são, na sua maioria, adequados para deposição marinha controlada. No entanto, os teores de Cr e Ni justificam a implementação de planos de vigilância ambiental contínua, especialmente em áreas de deposição activa, e

recomendam-se análises complementares de risco ecotoxicológico, como bioensaios e estudos de bioacumulação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio prestado pela EMODRAGA – Empresa Moçambicana de Dragagens, particularmente no acesso e participação na campanha de dragagem ocorrida em 2015, bem como no fornecimento das amostras pontuais de sedimentos dragados.

REFERÊNCIAS

Alaska Department of Environmental Conservation. Sediment Quality Guidelines (TEL/PEL): Technical Memorandum, 2013.

Brito, A., & Pena, A. Population Structure and Recruitment of Penaeid Shrimpsfrom the Pungué River Estuary to the Sofala Bank Fishery, Mozambique. Western Indian Ocean J. Mar. Sci., Vol.6(2), pp.147–158, 2007.

Buchman, M. F. NOAA Screening Quick Reference Tables. Em Coastal Protection and Restoration Division, 1999.

Conceição, R. Gestão de Dragagens Portuárias – alguns aspectos geotécnicos e geoambientais. Universidade Nova de Lisboa, 2016.

Consortium GTK. (2006a). Geology Notícia Explicativa / Map Explanation Tome / Volume 2 Folhas / Sheets Mecumbura, Chioco, Tete, Tambara, Guro, Chemba, Manica, Catandica, Gorongosa, Rotanda, Chimoio And Beira, Mozambique, 2006a.

Consortium GTK. Notícia Explicativa / Map Explanation Tome / Volume 1: Sheets 2032 – 2632. Geology of Degree Sheets, Espungabera/Chibabava, Nova/Mambone, Massangena, Chidoco, Save/Bazaruto, Chicualacuala, Machaila, Chigubo, Mabote/Vilanculos, Rio Singuédzi/Massingir, Rio, 2006b.

CONSULTEC. Estudo Ambiental simplificada de dragagem no Canal de Acesso ao Porto da Beira. Em Direcção De Engenharia dos Portos e Caminhos de Ferro de Mocambique, Vol.1, 2007.

Folk, R. R. L., & Ward, W. W. C. Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters. Em SEPM Journal of Sedimentary Research, Vol. 27, nº.1, pp. 3–26, 1957.

Hoguane, A. M. Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. Revista da Gestão Costeira Integrada, Vol.7(1), pp.69–82, 2007.

Mahanjane, E. S. (2012). A geotectonic history of the northern Mozambique Basin including the Beira High - A contribution for the understanding of its development. Marine and Petroleum Geology, Vol.36(1), pp.1–12, 2012.

Marques, J. S. J., Rangel, T. P., Brito, F. P., Almeida, M. G., Salomão, M. S. M. B., Gobo, A. A. R., Souza-Santos, L. P., Araújo-Castro, C. M. V., Costa, M. F., & Rezende, C. E. Geoquímica de Metais em Sedimentos da Zona Estuarina do Complexo Industrial Porto de Suape, PE - Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada, Vol.11(4), pp.379–387, 2011.

Martins, M. V. A., Laut, L., Duleba, W., Zaaboub, N., Aleya, L., Terroso, D. L., Sequeira, C., Pena, A., Rodrigues, M. A., & Rocha, F. Sediment Quality and Possible Uses of Dredged Materials: the Ria De Aveiro Lagoon Mouth Area (Portugal). Journal of Sedimentary Environments, Vol.2(2), pp.149–166, 2017

Muchangos, A. dos. MOÇAMBIQUE: Paisagens e Regiões Naturais, 1999.

Mueller, C. O., & Jokat, W. Geophysical evidence for the crustal variation and distribution of magmatism along the central coast of Mozambique. Tectonophysics, Vol.712–713, pp.684–703, 2017.

Mueller, C. O., Jokat, W., & Schreckenberger, B. The crustal structure of Beira High, central Mozambique - Combined investigation of wide-angle seismic and potential field data. Tectonophysics, Vol.683, pp.233–254, 2016.

Mussa, A. Caracterização da matéria orgânica da sequência sedimentar intercetada pela Sondagem NEMO-1X (Bacia de Moçambique). Potencial para a geração de hidrocarbonetos [Universidade do Porto], 2014.

Mussa, A., Flores, D., Ribeiro, J., Mizusaki, A. M. P., Chamussa, M., Filho, J. G. M., & Kalkreuth, W. D. Characterization of organic matter from a stratigraphic sequence intercepted by the Nemo-1X well, Mozambique: Potential for hydrocarbon generation. Energy Exploration and Exploitation, Vol.36(5), pp.1157–1171, 2018.

Pacheco, J. A. A. Análise Geoecológica Direcionada ao Planejamento e Gestão Ambiental da Provincia de Sofala - Moçambique [Univrsidade federal do Ceará]. Em Universidade Federal de Ceará, Brasil, 2014.

Paulino, F., Vasconcelos, L., & Marques, J. Estratigrafia do Karoo em Moçambique, Novas Unidades (Karoo Stratigraphy in Mozambique. New Units). Em Universidade do Porto (Ed.), X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa XVI Semana de Geoquímica. Universidade do Porto, Porto, Portugal. Memórias 14, 2010.

Pena, A. L., Munhembye, M., & Soares, A. de O. Superficial Bottom Sediments, Easy and Depositional Models from the Beira Port Region tothe Pungwe River Estuary, Part of the Mozambique Basin, Sofala. Book of Abstracts DCE23-Symposium in Mining Engineering and Geo-Resources, pp.69–69, 2023.

Pena, A. L., Waene, M. J., & Alves Martins, M. V. Study of the Karst Process Dynamics in Khózuè: Calcareous Massif of Cheringoma Plateau (Mozambique). Journal of Sedimentary Environments, Vol.4(4), pp.421–433, 2019.

Pena, A., Martins, M. V. A., Miranda, P., Terroso, D. L., & Rocha, F. Sediments quality and potential uses of dredged material: a case study (Portugal), 2017.

PIANC. Biological Assessment Guidance for Dredged Material. PIANC – The World Association for Waterborne Transport Infrastructure, 2006.

Pomerol, C., Lagabrielle, Y., Renard, M., & Guillot, S. Princípios de Geologia: técnicas, modelos e teorias (M. L. Lelarge, P. F. C. Lelarge, & R. Menegat (eds.); 14.a ed.). Bookman, 2013.

Ponte, J. P., Robin, C., Guillocheau, F., Popescu, S., Suc, J. P., Dall'Asta, M., Melinte-Dobrinescu, M. C., Bubik, M., Dupont, G., & Gaillot, J. The Zambezi delta (Mozambique channel, East Africa): High resolution dating combining bio- orbital and seismic stratigraphies to determine climate (palaeoprecipitation) and tectonic controls on a passive margin. Marine and Petroleum Geology, Vol.105, pp.293–312, 2019.

Portaria n.o1450/2007, 1.a Série Diário da República, 8372, 2007.

Preu, B., Spieß, V., Schwenk, T., & Schneider, R. Evidence for current-controlled sedimentation along the southern Mozambique continental margin since Early Miocene times. Geo-Marine Letters, Vol.31(5–6), pp.427–435, 2011.

Salman, G., & Abdula, I. Development of the Mozambique and Ruvuma sedimentary basins, offshore Mozambique. Sedimentary Geology, Vol. 96(1–2), pp.7–41, 1995.

Sebagenzi, M. N., & Kaputo, K. Geophysical evidences of continental break up in the southeast of the Democratic Republic of Congo and Zambia (Central Africa). Stephan Mueller Special Publication Series, Vol.2, pp.193–206, 2002.

Sillva, A. F. da. Caracteristicas Hidrodinamicas do Estuário da Beira, Moçambique [Universidade Federal de Rio de Janeiro]. Em Journal of Chemical Information and Modeling, Vol. 53, nº 9, 2011.

Silva, P. A. da, Coelho, C., Abreu, T., Baptista, P., Bernardes, C., Fontan Bouzas, Á., Dias, J., Pinheiro, L., Ferreira, C., Garrido, C., Pereira, C., Pinto, A., Rua, J., Lima, L. T., & Vaz, N. Contribuição para o estudo da dinâmica sedimentar da embocadura do porto da Figueira da Foz, Portugal. Em P. A. da Silva, C. Coelho, T. Abreu, P. Baptista, C. Bernardes, Á. Fontan Bouzas, J. Dias, L. Pinheiro, C. Ferreira, C. Garrido, C. Pereira, A. Pinto, J. Rua, L. T. Lima, & N. Vaz (Eds.), VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, pp.1–15, 2015

Simpson, S., & Batley, G. Sediment Quality Assessment. Em S. SIMPSON & G. BATLEY (Eds.), Sediment Quality Assessment (SECOND EDI). CSIRO Publishing (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation), 2016.

Sitoe, N. das N. O., Langa, A. A. A., Pinho, J. L., & Vieira, L. V. Dinâmica da pluma de sedimentos oriundos de atividades de dragagens no estuário da Beira - Moçambique. Revista Recursos Hídricos, Vol.42(1), pp.71–79, 2021.

USEPA. Method 3050B - Acid digestion of sediments, sludges, and soils. Em U.S. Environmental Protection Agency (Número December), 1996.

Van der Lubbe, J. H. J. L., Tjallingii, R., Prins, M. A., Brummer, G. J. A., Jung, S. J. A., Kroon, D., & Schneider, R. R. Sedimentation patterns off the Zambezi River over the last 20,000 years. Marine Geology, Vol.355, pp.189–201, 2014.

Vasconcelos, L., & Jamal, D. A Nova Geologia de Moçambique. Em D. Flores & M. Marques (Eds.), Memórias no14, XVI Semana de Geoquímica/X Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, pp. 53–66, 2010.

Vormann, M., & Jokat, W. Crustal variability along the rifted/sheared East African margin: a review. Geo-Marine Letters, Vol.41(2), 2021.

WHO. Trace elements in human nutrition and health World Health Organization. Em World Health Organization, 1996.

ARTIGO Nº23547

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SOCIO-AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NA BACIA DO RIO INFULENE: ANÁLISE DO PROCESSO DE EUTROFIZAÇÃO

Sarlina Bernardo Mazive[1] , Estêvão Pondja[2] , Mery Beatriz M. Rodrigues[3]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química – Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Pós-graduação – Maputo, Moçambique
[3]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Biologia – Maputo, Moçambique
Email: [1]sarlinabernardo@gmail.com; [2]tindjombo@gmail.com; [3] mery.bmr@gmail.com

RESUMO

O objectivo deste trabalho é a avaliação dos impactos socio-ambientais da agricultura na Bacia do Rio Infulene, com foco para o processo de eutrofização. São apresentadas todas as variáveis poluidoras deste Rio, mas com foco principal para a actividade agrícola, devido ao uso elevado de adubos e fertilizantes por parte dos camponeses a beira do mesmo. O acúmulo de nutrientes como fósforo e nitrogénio criam sobre a água do Rio, uma camada verde que dificulta a passagem dos raios solares, como consequência há desequilíbrio da flora e fauna marinha: mortes de espécies e crescimento excessivo de plantas. Para se alcançar o objectivo principal, serão feitas análises laboratoriais para medição de parâmetros de qualidade de água: físicos, químicos e biológicos. De seguida, será feita uma análise comparativa com o Diploma Ministerial nº. 180/2004 de 15 de Setembro e a Norma FAO – Qualidade da Água e Segurança Alimentar. Pretende-se apresentar medidas de mitigação do ponto de vista de engenharia e com real aplicabilidade para este problema, pois, há crise hídrica é uma realidade e é um problema ambiental que afecta todo planeta.

Palavras-chave: Eutrofização, rio Infulene, agricultura, nutrientes.

INTRODUÇÃO

A poluição e a degradação dos recursos hídricos, principalmente por actividades antrópicas, constituem alguns dos maiores desafios da gestão da água. O avanço da agricultura e da pecuária em áreas de vegetação natural pode comprometer o fornecimento de água em quantidade e de qualidade.

Em Moçambique, a agricultura é considerada como base do desenvolvimento Nacional, é também meio de subsistência para inúmeras famílias. Para a sua prática, muitas famílias, estabelecem as suas terras de cultivo em locais próximos a rios ou lagos para facilitar a irrigação das culturas. No entanto, esse método, ainda que seja estratégico, contribui para a contaminação das águas subterrâneas e superficiais devido ao uso de adubos e fertilizantes, resultando na infiltração de componentes como metais e ametais durante a irrigação, que com o passar do tempo pode ocasionar o processo de eutrofização.

A poluição de rios e lagos devido a prática da actividade agrícola constitui uma das maiores preocupações da actualidade para a comunidade académica devido aos seus impactos na saúde humana e disponibilidade de recursos hídricos.

Segundo Fellenberg (1980) citado por (Dellagiustina, De Queiroz, & da Silva, 2000) , pode-se constatar que o consumo de água não cresce paralelamente ao padrão de vida da população, mas o consumo *per capita* nas grandes cidades é 2 a 3 vezes maior que o consumo nas comunidades pequenas. Isto significa necessitamos cada vez mais de água tratada e se os rios e lagos estiverem cada vez mais contaminados, mais dispendioso e mais difícil será o tratamento.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo – Bacia o Rio Infulene

Este trabalho tem como área de estudo a Bacia do Rio Infulene, localizada em Maputo, com nascente no Bairro Intaka. Desagua no Estuário do Espírito Santo, servindo de limite entre os municípios de Maputo e Matola. Possui cerca de 20 km de extensão, 500 m de largura média, com uma área de 185km2 e uma descarga total que varia de 0.2 a 7m3/s.

O Estuário do Espírito Santo é um braço-de-mar na margem ocidental da Baía de Maputo onde desaguam 4 rios: o Tembe, o Umbeluzi, o Matola e o Infulene. Sua profundidade máxima é de 11 metros, com os canais dragados.

A margem norte deste estuário apresenta uma grande actividade económica, terminando num grande porto comercial e de pesca. A parte que se encontra no município da Matola é altamente industrializada, incluindo uma antiga refinaria de petróleo, uma fábrica de cimento, salinas e outras actividades.

A parte das margens não modificada pelo homem é povoada por mangais e encontra-se submetida a enorme pressão pelas referidas actividades económicas. No entanto, o estuário é ainda utilizado por muitos pescadores, uma vez que ali abunda camarão e outros mariscos.

A principal origem da água do Rio Infulene é a das infiltrações das encostas arenosas, muito explorada pelo sector familiar, privado e cooperativo para irrigação de hortifruticulturas. Verificando – se assim, elevadas quantidades de nutrientes na água causando o processo de Eutrofização.

Amostragem

A recolha de amostra decorreu entre Julho de 2024 a Fevereiro de 2025,foram feitas 3 campanhas, apresentando variações temporais de acordo com o período do ano em que as análises foram realizadas, com as estações do ano e alterações climáticas. Os pontos para recolha de amostras de água foram selecionados em função da coloração da água (verde escuro/ castanho carregado), crescimento excessivo de plantas, presença de plantas e aparecimento de peixes mortos.

As amostras foram colocadas em garrafas plásticas e devidamente seladas, foram introduzidas num colman com gelo, para preservação da amostra.

Determinação da temperatura, potencial hidrogeniónico, condutividade, oxigénio dissolvido

São parâmetros caracterizados in-situ, devido a alteração que podem sofrer se medidos foram do local de amostragem. Foi utilizada uma sonda multi-parâmetros.

Determinação de Nitrogénio, Fósforo, Alcalinidade, Coliformes, Turvação, Clorofila-a, Demanda Bioquímica de Oxigénio e Demanda Química de Oxigénio

A determinação de nitrogénio, fósforo, alcalinidade foi por meio de kits TNT plus ® Reagents, e a leitura do código de barras foi feito com auxílio do espetrofotómetro Hach – DR3900.

Coliformes foram determinados por meios de Kits *Quanty tray/2000;* é adicionado 10ml da amostra de água num copo de Becker, de seguida adiciona-se o reagente *Colilert-18*, mistura-se e adiciona-se a mistura em um cartão contendo 50 poços e por fim o cartão é celado. De seguida é feita a contagem de poços amarelos (grandes e pequenos) e posterior correlação na tabela *NMP Quanty tray/2000.*

A turvação foi determinada através do Turbidímetro da marca Hach 2100P. No qual deve ser lido o menor valor de turvação.

Para determinação da clorofila-a, primeiramente a água foi filtrada com recurso a um papel filtro de 5mm; o papel é depois retirado e conservado em papel alumínio na geleira por 24h a temperatura de 4ºC. Passadas 24h, o filtro é macerado até que se forme uma pasta, na qual é adicionada 9ml de acetona 90%. Mistura-se muito bem e a mistura é depois colocada em um tubo de ensaio e selado com papel filme e envolto em papel alumínio. Conserva-se o tubo em uma geleira a temperatura de 4ºC por 20-24h, e depois é feita a leitura com auxílio de um espectrofotómetro. Para leitura, o tubo é colocado a diferentes comprimentos de onda: 630nm, 645nm, 665nm e 750nm (comprimento de onda para correcção). Depois de obtidos os valores, são aplicados na seguinte fórmula:

Chl-a (µg/L) = (11,6*D_{665} – 0,14D_{630} – 1,31D_{645}) * v / L*V (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014)

D_{nm} = $A_{nm\ (mta)}$ – $A_{750\ (mta)}$

Onde:

v – volume de acetona (9ml);
V – volume da amostra de água (L);
L – largura da cuveta (5cm);
D_{nm} – diferença de comprimento de onda;

A demanda bioquímica de oxigénio (DBO) foi determinada por incubação por um período de 5 dias e a demanda química de oxigénio (DQO) foi determinada através da relação entre DBO e DQO.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1: Resultados dos dados laboratoriais das 3 campanhas nos pontos com maior índice de poluição.

Parâmetros	1ª Campanha	2ª Campanha	3ª Campanha	Limite máximo admissível
OD (mg/L)	3,26	1,91	1,32	-
pH	7,96	7,80	8,14	6,5-8,5
Temp (ºC)	21,1	30,8	26,46	-
Coliformes fecais	60,9	307,6	344,8	Ausente
Nitrogénio (mg/L)	17,5	16,5	18,1	50
Fósforo (mg/L)	0,52	0,878	0,136	0,1
Turvação (NTU)	6,32	11,6	13,13	5
Condutividade	1215,67	1021	1919	50-2000
Clorofila-a	0,42	0,15	0,06	-
Sólidos Totais (mg/L)	1260	1090	693	1000
DBO (mg/L)	6,15	11,55	2,78	-
DQO (mg/L)	6,83	12,83	4,64	-

Por meio dos resultados obtidos da caracterização dos parâmetros é possível constatar que ao longo do período de amostragem, os parâmetros sofreram diversas alterações. Os valores de oxigénio dissolvido variam de 1,32mg/L a 4,84 mg/L, este parâmetro sofre variações em função da temperatura do meio e da pressão atmosférica (CESTEB, 2006). Os valores menores que 2mg/L de oxigénio dissolvido na água indicam uma condição perigosa, denominada Hipoxia, ou seja baixa, concentração de oxigénio dissolvido na água, o que causa a morte de algumas espécies aquáticas e reduz a capacidade de autodepuração do sistema aquático natural.

Os valores de pH, encontram-se dentro dos limites estabelecidos pelo Diploma Ministerial de 18 de Setembro sobre Qualidade da Água para o Consumo Humano, mas é também possível observar a variância dos valores o que indica que o rio está poluído. Segundo (Water Rangers Organization , 2015), valores de pH, na faixa de 8,2 a 8,7 favorecem a floração de algas e quando as algas crescem os níveis de pH podem aumentar e podem atingir valores acima de 10 no verão, e resultaria na morte de todos os peixes.

Em regiões de climas quentes e húmidos, a temperatura dos rios pode atingir 30ºC, dependendo de factores como temperatura do ar, profundidade da água, exposição solar, presença de correntes e a proximidade de fontes de calor como actividades industriais (Panizza, 2022). A temperatura ao longo da Bacia do Rio Infulene varia de 21,1 °C a 30ºC, a temperatura máxima foi medida nas proximidades da fábrica 2M e a temperatura mínima foi medida na nascente da Bacia.

É comum a contaminação de águas por coliformes fecais, indicando que a presença destes microorganismos podem ser utilizados como bioindicadores da qualidade da água para o consumo Humano (Oliveira, Santos, & Calil, 2015). A *Escherichia coli* é um dos microorganismos mais comuns do corpo humano, principalmente no trato digestivo. Não é um patógeno comum, alguns produzem enterotoxinas que causam a diarreia, doença de origem alimentar grave (Carneiro, et al., 2015). Este parâmetro foi analisado devido aos dutos de fezes construídos pelos moradores ao longo do Rio, isto nas proximidades do mangal. Segundo o Diploma Ministerial nº. 180/2004 de 15 de Setembro a água da Bacia do Rio Infulene apresenta limites não admissíveis de coliformes fecais.

A turvação corresponde à redução da transparência da água, ocasionada pelo material em suspensão que reflete a luz, dificultando a sua passagem pela solução, este parâmetro deixou de ser um parâmetro estético para ser correlacionado com partículas coloidais em suspensão (Tomazoni, Mantovani, Bittencourt, & Filho, 2005). A turvação da Bacia do Rio Infulene varia de 6,32 NTU a 13,13 NTU, fora do limite máximo admissível que são 5 NTU, o que implica presença de partículas coloidais em grande escala.

Sólidos totais dissolvidos (TDS) são um indicador importante de qualidade da água, pois afectam o sabor, cor e odor e são constituídos na maior parte sais inorgânicos, como, cálcio, magnésio, potássio, sódio, bicarbonatos, cloretos e sulfatos, podem também sofrer influência por actividades humanas como descargas de efluentes industriais e aplicação de fertilizantes agrícolas (Zonta, Zonta, Silva Rodrigues, & Reis, 2008). Os valores de TDS ao longo da Bacia do Rio Infulene variam de 693 mg/L a 1260 mg/L; os maiores valores foram lidos entre as fábricas Fapacar e 2M e alguns estão fora do limite máximo admissível pelo Diploma Ministerial nº. 180/2004 de 15 de Setembro sobre Qualidade de Água para Consumo Humano.

Para se avaliar a condutividade elétrica, deve-se levar em consideração factores como local, época de colecta e origem da amostra analisada, pois a mesma é variável de acordo com tais características (Ribeiro, Maia, & de Medeiros, 2005) citado por (Nolasco, Reis, Reis, Gomes, & Matos, 2020). Um menor traço de uma impureza iônica leva a um grande aumento da condutividade, é notório que os valores da Bacia do Rio Infulene estão aproximadamente bem

próximos do limite máximo admissível. No entanto, a preocupação prevalece, pois com o passar dos anos verificaremos o crescimento exponencial dos mesmos.

Segundo os agricultores, os fertilizantes mais usados nas machambas ao longo da Bacia do Rio Infulene são NPK e bagaço de cevada, que compõem grande quantidade de nitrogénio e fósforo, razão pela qual a concentração destes aparece um pouco acima dos limites máximos admissíveis. A presença destes compostos, nos corpos de água, tem como consequência a proliferação de algas, crescimento excessivo de plantas que quando morrem e decompõem – se, consomem o oxigénio da água, criando zonas mortas onde a vida aquática não consegue sobreviver (Gadelha, Ferreira, Marcionílio, & Castro, 2022/2023). Na saúde, o excesso de nitratos na água, se usada para o consumo humano, pode causar problemas graves, como câncer e a metemoglobinemia infantil.

Oxigénio dissolvido (OD), demanda bioquímica do oxigénio (DBO) e demanda química do oxigénio (DQO) são utilizados como parâmetros para se avaliar o grau e capacidade de autodepuração de rios (SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS, 1997). De forma geral, valores de DBO entre 1 a 2 mg/L são considerados característicos de rios limpos, enquanto valores mais elevados (10 a 300 mg/L ou mais) indicam poluição orgânica, e valores de DQO acima de 120 mg/L podem indicar a necessidade de tratamento biológico (do Vasco, et al., 2011).

Os valores de DBO apresentam uma pequena variação (2,78 – 6,15 mg/L) entre o período chuvoso e seco, no período chuvoso os valores foram baixos devido a diluição proporcionada pelo aumento da vazão, no período seco, o valor (11,55mg/L) é explicado pela presença de matéria orgânica de indústrias e de vegetais em decomposição.

Os resultados de DQO (4,64 – 12,63 mg/L) indicaram grandes variações entre os valores tanto no período chuvoso quanto no período seco. As causas que podem provocar essa variação são a influência do comportamento hidrológico, características do lançamento de efluentes domésticos, agrícolas e industriais no rio.

Relacionando DBO:DQO podemos constatar que o a Bacia do Rio Infulene recebe esgotos oriundos de várias fontes (doméstica, comercial e industrial) que potencialmente contribuem tanto com compostos biodegradáveis quanto com uma parcela de compostos orgânicos de difícil degradação biológica (Bollmann & Marques, 2006) citado por (do Vasco, et al., 2011).

CONCLUSÃO

Com a realização deste trabalho, foi possível constatar que a Bacia do Rio Infulene não é apenas poluído pela actividade agrícola, mas esta actividade contribui significativamente com o aumento da concentração de nitrogénio e fósforo, que são os maiores acusadores da eutrofização, processo este que dificulta a penetração dos raios solares para fotossíntese das plantas e espécies aquáticas. Por outro lado, concluiu-se que conhecer a qualidade da água disponível é fundamental para a gestão dos recursos hídricos.

Medidas de mitigação

Data/Fase para sua implementação	Causas	Decisão	Resultados esperados
Primeira fase (1 mês e 2semanas)	Excesso de nutrientes no Rio.	Remoção de plantas ao longo do rio.	Aumentar a incidência da luz solar no rio, aumentando as trocas gasosas.
Segunda fase (1 mês e 2 semanas)	Acúmulo de resíduos que impedem o fluxo normal do Rio.	Remoção de lamas onde o rio perdeu o fluxo.	Aumentar o fluxo do rio e a capacidade de autodepuração.
Terceira fase (1 mês e 2 semanas)	Quantidade excessiva de resíduos no Rio.	Colocar placas de filtração da água nos ductos ligados diretamente ao rio, das casas e das empresas próximas ao rio.	Reduzir por algum tempo a quantidade excessiva de nutrientes existentes no rio e melhorar a coloração da água, o odor e o sabor.
Quarta fase (1 mês e 2 semanas)	Excesso de Nitrogénio e Fósforo no Rio.	Estudar a possibilidade de uso de outros adubos, como o bagaço de cevada e excrementos de animais.	Reduzir o uso de adubos industrializados e a bioacumulação na camada do solo.
Todas fases	Excesso de Nitrogénio e Fósforo no Rio.	Monitoramento dos adubos usados pelos agricultores ao longo do rio.	Reduzir o uso excessivo de NPK.

Para combater a eutrofização, técnicas preventivas ou correctivas podem ser aplicadas; as medidas preventivas se baseiam na redução do fornecimento de nutrientes nocivos ao rio de fontes externas, no controle do esgoto domestico, no tratamento de efluentes industriais e na redução do uso de adubos e fertilizantes e as medidas correctivas actuam no corpo de água já eutrófico, utilizando práticas que permita reduzir a disponibilidade de fósforo e nitrogénio e eliminando as plantas existentes no rio.

Recomendações

- Fazer o controlo periódico e minucioso das descargas no Rio, proveniente das fábricas;
- Constante formação para os agricultores em relação ao uso e aplicação dos adubos.

Agradecimentos

Os autores agradecem todo suporte dado pelo Departamento de Civil na disposição de reagentes para as análises laboratoriais e também ao Departamento de Ciências Biológicas pela colaboração nas análises de parâmetros biológicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. (2014). *Determinação de Clorofila a e Feofotina a: Método Espectrofotométrico.* CETESB - NORMA TÉCNICA .

Bollmann, H. A., & Marques, D. M. (2006). *Influência da Densidade Populacional nas Relações entre Matéria Orgânica Carbonácea, Nitrogénio e Fósforo em Rios Urbanos Situados em Áreas com Baixa Cobertura Sannitária .*

Carneiro, H. A., Oliveira, K. d., De Brito, L. G., Da Silva, S. G., Silva, J. M., & De Miranda, J. C. (2015). *Monitoramento de Qualidade da Água de Cinco Rios do Litoral da Paraíba: Coliformes Fecais.* Revista Brasileira de Gestão e Sustentabilidade.

CESTEB, C. A. (2006). *Mortandade de Peixes .*

Dellagiustina, A., De Queiroz, R. R., & da Silva, M. R. (2000). *DETERMINAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE NITROGÉNIO E FÓSFORO DISSOLVIDOS EM DIFERENTES LOCAIS DO RIO ITAJAÍ - AÇU.* Estado de Santa Catarina .

do Vasco, A. N., Britto, F. B., Pereira, A. P., Júnior, A. V., Garcia, C. A., & Nogueira, L. C. (2011). *Avaliação Espacial e Temporal da Qualidade da Água na Sub-bacia do Rio Poxim, Sergipe, Brasil.* Taubaté, Brasil: Revista Ambiente e Água.

Gadelha, J. E., Ferreira, K. d., Marcionílio, d. O., & Castro, R. M. (2022/2023). *Consequências da Eutrofização em Corpos Hídricos.* Rio Verde - Goiânia: Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro.

Nolasco, G. M., Reis, B. M., Reis, A. C., Gomes, F. J., & Matos, R. P. (2020). Análise da Alcalinidade, Cloretos, Dureza, Temperatura e Condutividade em Amostras de Água do Município de Almenara - MG. *Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara - MG*.

Oliveira, A. J., Santos, M. C., & Calil, R. M. (2015). *Coliformes Termotolerantes: Bioinicadores da Qualidade da Água Destinada ao Consumo Humano.* São Paulo: ASA - Atas de Saúde Ambiental.

Panizza, G. R. (2022). *Efeito da Temperatura sobre o Metabolismo e Excreção de Scleromystax Macropterus e Macrobachium Petronioi na Bacia do Rio Preto.* Universidade Estadual Paulista Unesp, Ciências Biológicas -CLP. Universidade Estadual Paulista Unesp.

Ribeiro, G. m., Maia, C. E., & de Medeiros, J. F. (2005). *Uso de Regressão Linear para Estimativa da Relação entre a Condutividade Eléctrica e a Composição iónica da Água de Irrigação .* Revista Brasileira de Engenharia Agrária e Ambiental .

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. (1997). *Oxigénio Dissolvido (OD), Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO) e Demanda Química de Oxigénio (DQO) como Parâmetros de Poluição do Ribeirão Lavapés/Botucatu - SP.* São Paulo : Eclética Química .

Tomazoni, J. C., Mantovani, L. E., Bittencourt, A. V., & Filho, E. F. (2005). *Utilização de Medidas de Turbidez na Quantificação da Movimentação de Sólidos por Veiculação Hídrica nas Bacias dos Rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau - Sudoeste do Estado do Paraná.* Boletim Paranaense de Geociências .

Water Rangers Organization . (2015). Keys Tests For Quality Water.

Zonta, J. H., Zonta, J. B., Silva Rodrigues, J. I., & Reis, E. D. (2008). Qualidade das Águas do Rio Alegre - Espírito Santo. *Revista Ciência Agronômica*.

ARTIGO Nº23549

AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DAS DESCARGAS DOS EFLUENTES DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DO INFULENE NO RIO MULAÚZE

Eugénia da Glória Zacarias[1(*)] e Estêvão Pondja[2]

Departamento de Engenharia Química[1;2], Faculdade de Engenharias, UEM, Moçambique, Maputo.
(*) *Email*: eugeniazacariasnhampossa@gmail.com[1]; tindjombo@gmail.com[2]

RESUMO

O objectivo deste trabalho é avaliar os impactos das descargas dos Efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais do Infulene sobre o Rio Mulaúze, este, vem em resposta as constantes reclamações dos agricultores devido a poluição da água do rio que estes usam para a irrigação, daí o interesse pela realização do presente estudo. Para o efeito, foi realizado o trabalho de campo que consistiu na identificação de 5 pontos estratégicos para a colecta de amostras de água, de seguida recolheu-se as amostras e imediatamente mediu-se os parâmetros de campo: pH, temperatura, oxigénio dissolvido e Condutividade eléctrica, e de seguida transportou-se as amostras para posteriores análises dos seguintes parâmetros: nitratos, fosfatos, demanda bioquímica de oxigénio, turbidez, coliformes totais e fecais. O pH em todos pontos variou de *7 a 7.14*, os pontos *1(a montante da ETAR); 3(entre a fabrica e a ETAR) e 5* (a jusante da ETAR) mostraram níveis de oxigénio dissolvido relativamente altos em relação aos pontos 2 (descarga da fabrica) e 4 (descarga da ETAR) que tendiam a reduzir cada vez mais, tendo atingido *0.73 mg/l e 1.28 mg/l* respectivamente. A demanda bioquímica de oxigénio apresentou valores relativamente mais altos para estes dois pontos, variado de *8.9 mg/l a 18.15 mg/l*, o que já era de se esperar, por causa dos baixos valores de oxigénio dissolvido. A qualidade da água do Rio Mulaúze apresenta degradação progressiva ao longo do seu curso, especialmente nos pontos situados nas descargas da fábrica de cerveja e da ETAR de Infulene. A degradação é evidenciada pela presença de nitratos, fosfatos, coliformes fecais e *E. coli*.

Palavras Chave: Águas residuais, Poluição de água de rios, ETAR, Rio Mulaúze

1. INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais mais importantes no planeta e até pouco tempo era considerado um recurso praticamente inesgotável. Com o passar do tempo, o crescimento populacional e desenvolvimento industrial tornaram o precioso líquido cada vez mais usado e desta forma, escasso por conta das suas múltiplas utilidades, destacando entre elas o abastecimento público, a agricultura, a pecuária, a indústria, a geração de energia, a recreação, o lazer, o saneamento básico, entre outras. Associado a esses factores, surgem problemas do uso inadequado da água e contaminação dos recursos hídricos.

Actualmente, a questão dos problemas ambientais tem merecido uma especial atenção, não somente por estar a prejudicar o ambiente, mas por igualmente colocar em causa a vida do Homem e dos demais seres vivos. Na discussão destes problemas, está em causa a questão da contaminação dos recursos hídricos. De acordo com a legislação Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) de 2005, a definição de qualidade de água tem a ver com o fim a que se destina e os parâmetros são definidos em limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água.

Em países em via de desenvolvimento, como os da África, a questão de poluição hídrica ganha destaque devido a falta de conscientização sobre a importância do uso racional e conservação da água, e igualmente reduzidos sistemas de tratamento de água para o seu reaproveitamento. A bacia hidrográfica do Infulene, é uma pequena bacia que se localiza na capital de Moçambique (Maputo), ao longo do rio Infulene, com uma área de 185km^2 a qual faz limite com uma Estação de Tratamento de Águas Residuais, que trata águas provenientes de vários pontos da cidade de Maputo e Matola. Esta é usada por centenas de agricultores para irrigação das culturas que alimentam as cidades de Maputo e Matola, entretanto, a má qualidade de água suscitou reclamações por parte dos agricultores que julgam tratar-se da ETAR a poluir a bacia.

Portanto, no presente trabalho faz-se a avaliação do impacto das descargas dos efluentes da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Infulene sobre o Rio Mulaúze e a determinação dos parâmetros de qualidade da Água do Rio Mulaúze após a descarga da ETAR a fim de saber até que ponto as águas devolvidas a este reservatório obedecem os parâmetros preestabelecidos na legislação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente trabalho foram realizadas duas actividades a saber: de campo e laboratoriais.

Trabalho de Campo

Consistiu na identificação dos pontos estratégicos para a colecta de amostras de água, após a identificação destes, recolheu-se amostras de água nos locais previamente identificados, de seguida, mediu-se os parâmetros de campo e transportou-se as amostras para o laboratório. O trabalho de campo foi efectuado com recurso a seguintes materiais:

- Luvas de latex;
- Frasco colector e garrafa plástica para armazenamento de amostras;
- Marcador permanente, para rotular as amostras;
- Uma sonda Trace 2O-AQUAMETER para medir os parâmetros de campo (temperatura, pH, oxigénio dissolvido, condutividade eléctrica);
- Bloco de notas para registo de dados;
- Caixa térmica (Colman) para melhor conservação das amostras.

A colecta das amostras foi realizada em 5 pontos ao longo do rio Mulaúze seguindo as técnicas descritas no Stan-dard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) para amostragem de efluentes líquidos, conforme ilustra a Tabela 1.

Tabela 7: Descrição dos Pontos

Pontos	Descrição	Latitude	Longitude
P 1	Antes da descarga de efluentes da 2M e ETAR	-25˚55’ 11’’	32˚ 32’ 29’’
P 2	Descarga da fabrica cervejeira	-25˚55’ 10’’	32˚ 32’ 32’’
P 3	Entre a descarga de efluentes tratados da 2M e do ponto da descarga da ETAR	-25˚55’ 22’’	32˚ 32’ 16’’
P 4	Descarga de efluentes tratados da ETAR	-25˚55’ 23’’	32˚ 32’ 14’’
P 5	Depois da descarga de efluentes tratados da ETAR	-25˚55’ 24’	32˚ 32’ 11’’

2.1 Parâmetros de Campo

Os parâmetros medidos no campo foram temperatura (T), Potencial Hidrogénio (pH), Oxigénio Dissolvido (OD) e Condutividade elétrica. Estas medições, foram feitas em 3 campanhas para garantir melhores resultados nas análises, e os ensaios foram feitos em triplicado.

Para o efeito, foi retirada uma amostra em cada um dos pontos e em seguida, introduziu-se sondas Trace 2O-AQUAMETER para medir a temperatura, pH, oxigénio dissolvido e condutividade eléctrica), conforme ilustra a Figura 1.



Figure 1: Sondas Trace 2O-AQUAMETER

2.2 Parâmetros laboratoriais

As amostras colectadas no campo foram analisadas no laboratório Águas do Departamento de Engenharia Química (FEUEM) para determinação de parâmetros biológicos (coliformes totais e fecais), e de Hidráulica Sanitária no Departamento da Engenharia Civil para determinação de parâmetros químicos e físicos, nomeadamente nitratos, fosfatos, DBO e turbidez. Estes foram determinados seguindo os procedimentos experimentais do manual Starndard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA & WEF, 2017). Os coliformes totais e fecais foram determinados pelo teste Colilert-18 de acordo com os procedimentos recomendados pelo fabricante.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Durante o processo de avaliação dos impactos das descargas dos efluentes da ETAR do Infulene, por meio da determinação dos parâmetros físico-químicas e microbiológicos, foram realizadas três campanhas de coletas das amostras.

Para se determinar os valores dos parâmetros da qualidade da água em todos os pontos estudados, foi feita uma comparação dos valores obtidos com os valores máximos estabelecidos no Regulamento Sobre Padrões de Qualidade Ambiental e de Emissão de Efluentes do Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho e no Decreto n.º 30/2003 de 1 de Julho Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais , visto que a água da ETAR do Infulene e a cervejeira desaguam no rio Mulaúze e todos agricultores seja da montante ou jusante dos pontos da descarga, utilizam a mesma para irrigação das suas machambas.

3.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro importante, devido a sua influência nos demais parâmetros. Valores altos de temperatura, podem impactar negativamente no OD na água reduzindo o mesmo, na condutividade eléctrica, no pH, na DBO, em nutrientes como nitrogénio e fósforo, entre outros parâmetros. Este parâmetro, apresentou-se estável em todas campanhas tendo variado de 20,73 a 29°C, para primeira campanha variou de 25,70 a 27,40°C, para segunda de 20,73 a 24,90°C e para terceira campanha 26,23 a 29°C, conforme ilustra a Figura 2. Estes valores atendem aos limites estabelecidos pelo Decreto 30/2003 de 01 de Julho tanto para descargas no meio receptor como para descargas no sistema de drenagem.

3.2 pH

O pH foi o parâmetro que menos variações apresentou em todas campanhas. Este, em águas superficiais é considerado estável se obedecer o intervalo de 6 à 8, nota-se que em todos os pontos excede 7, tendo variado na primeira campanha de 7,04 a 7,13, na segunda de 7,01 a 7,03 e terceira campanha 7,04 a 7,11.

3.3 Oxigénio dissolvido

A solubilidade do oxigénio em água em medida em mg/l. em temperaturas altas, o OD diminui. Em condições normais de um rio livre de contaminantes, a concentração de OD a uma temperatura de 0˚C, é de14mg/l, e na temperatura de 20 ºC, a sua concentração é igual a 9,1 mg/l, sendo que valores bem inferiores a esse indicam presença de matéria orgânica (provavelmente esgoto), o que significa maior temperatura propicia menor concentração de OD em água.

Os pontos 1,3 e 5 mostram níveis de OD relativamente altas em relação aos pontos 2 e 4 que tendem cada vez mais a reduzir, isto, pode dever-se ao facto de existência de excesso de matéria orgânica proveniente da descarga da ETARES, o uso de fertilizantes agrícolas que aumenta o excesso de nutrientes na água e os microrganismos chegam a precisar de usar maior quantidade de oxigénio para a degradação destes nutrientes.

3.4 Condutividade eléctrica

Quanto a condutividade é possível notar que ela aumenta bruscamente nos pontos 2 e 4, o ponto da descarga da cervejeira e da descarga da ETAR respectivamente, tendo o ponto 2 atingido 2030 *µS/cm* e o ponto da ETAR 1689,83 *µS/cm* o que corresponde 1299,2 *mg/l* e 1081,47 *mg/l* de TDS respectivamente.

Costa (2015), afirma que as oscilações na condutividade da água, ainda que não causem danos imediatos ao ser humano, podem indicar tanto uma contaminação do meio aquático por efluentes industriais como o assoreamento acelerado de rios. Em todos pontos amostrais, com excepção do ponto 1 na terceira campanha, apresentam valores acima dos limites previamente estabelecidos, classificados como de risco para rega de acordo com o decreto nº 18/2004 de 2 de Junho. O ponto 2 atingiu o limite classificado como de alto risco para a rega, podendo causar de leve as mais graves queimaduras nas folhas das plantas, dependendo da sensibilidade destas aos sais, Vieira (2008), Conforme ilustra a Figura 2.

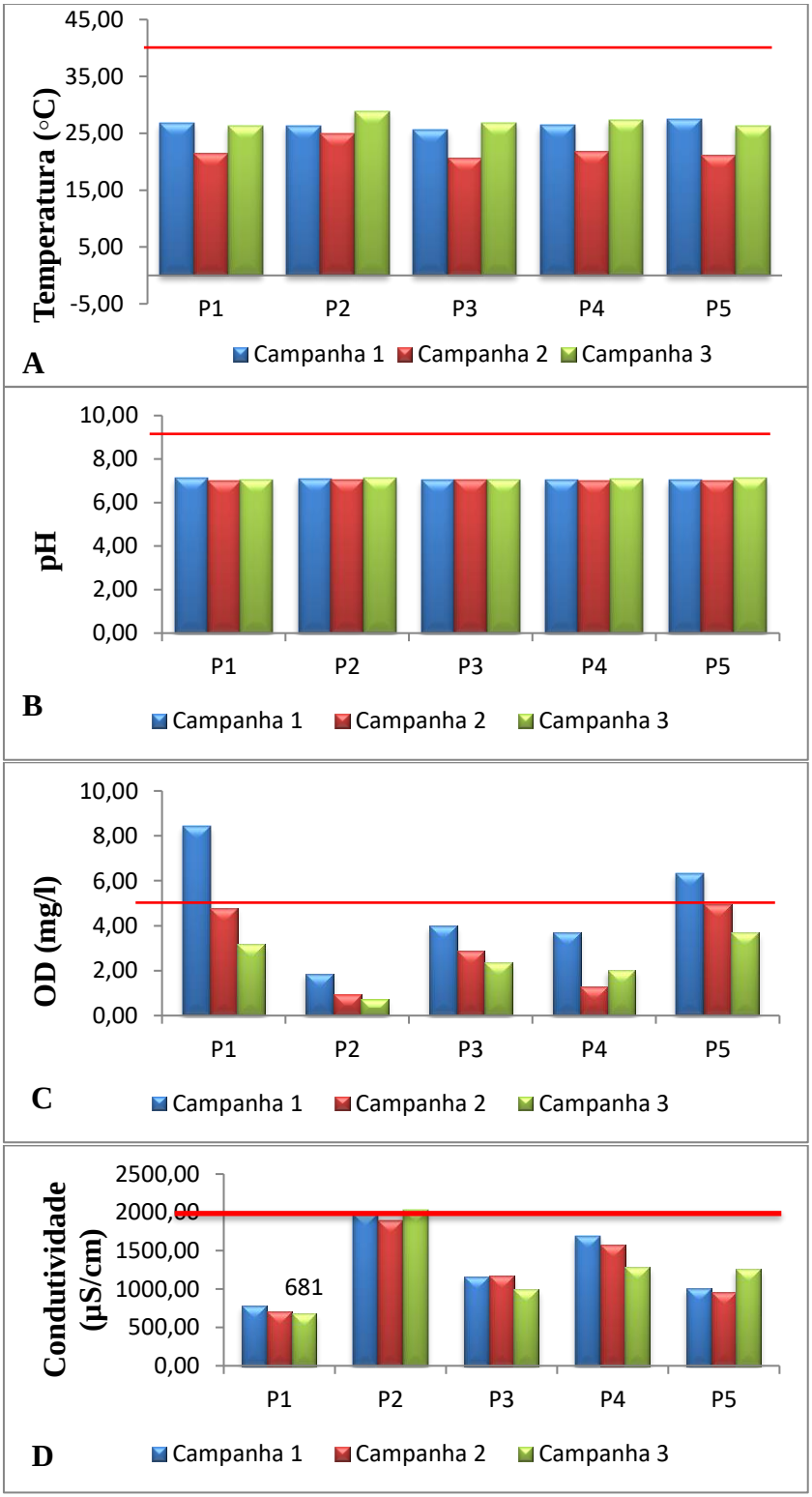


Figure 2:Gráficos de parâmetros do campo

3.5 Demanda Bioquímica do Oxigénio

Conforme ilustra a Figura 3, é notório que a concentração da DBO nos pontos 2 que é o ponto descarga da cervejeira e 4 que é o ponto de descarga da ETAR, é elevada devendo se ao facto de que nestes pontos em todas campanhas apresentaram baixa concentração do Oxigénio

Dissolvido, facto que era previsível este nível de poluição da água. A DBO deste ponto é extremamente elevada pois segundo (Fiorucci & Filho, 2005) águas com DBO maior que 8mg/L estão altamente poluídas. Este ponto apresenta grandíssima influência sobre o rio uma vez que ao longo do rio todo não temos valores semelhantes de nenhum dos parâmetros que influenciam a DBO. Nota-se igualmente que mesmo sendo o ponto 4 um dos que mais concentração de DBO apresentou, para última campanha mostrou valor mais baixo de DBO, pode justificar-se pelo facto de que na última campanha a ETAR não estava fazendo descargas sobre o rio. Os pontos 1, 2, e 3 a concentração de OD era mais elevado daí apresentaram valores de DBO mais baixos. Trabalhos feitos como o da Sífia Janete Rapulua, chegaram a mesma conclusão tendo obtido valores bem próximos.

3.6 Turbidez

Para Turbidez, o ponto 4, indicou valores altos de unidade de turbidez, chegando a atingir até 44,80 NTU. A legislação vigente para padrões de potabilidade da água, a Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de Maio de 2021 publicada pelo Ministério da Saúde, estipula valor máximo admissível de turvação de 5NTU.
Este caso, em particular, deveu se ao facto de que a quando da realização deste trabalho, a ETAR do Infulene, encontrava se em reabilitação o que fazia com que o processo de tratamento fosse interrompido em alguns pontos, fazendo-se desta forma Bypass.

3.7 Nitratos e Fosfatos

As concentrações obtidas para fosfatos assim como nitratos apresentaram um comportamento decrescente, tendo sido observado os maiores valores na primeira campanha. Facto que pode estar relacionado com a ausência de chuva em todas campanhas que foram feitas as colectas de amostras, porque a precipitação permite o arraste de fertilizantes e outras partículas e estes são compostos por estes nutrientes, e em valores elevados tornam se contaminantes ao meio receptor o que pode propiciar o crescimento de algas e consequentemente o processo de eutrofização.

Com base no Decreto nº 18/2004 de 2 de Junho, que regula a qualidade da água para fins de irrigação, os valores obtidos na primeira campanha para fosfatos, com excepção do ponto 1 e 2 estão acima do limite recomendado pelo decreto sendo que todos os pontos com excepção do ponto 3 reduziram significativamente obedecendo os parâmetros descritos no anexo E.

Para nitratos, apenas na primeira campanha e concretamente no ponto 4 apresentou valor muito alto, tendo excedido o intervalo de 5 – 30 previsto pelo decreto, chegando a atingir uma concentração de até 49,4*mg/l*, isto pode justificar-se pelo facto de que a origem de excessos de nitrogénio na água está normalmente associado ao lançamento esgotos domésticos e industriais, excremento de animais e uso de fertilizantes (Borges, 2021), os outros pontos apresentaram se estáveis com excepção do ponto 2. Na segunda e terceira campanha o comportamento foi deveras diferente, pois apresentou valores baixíssimos que não chegaram de atingir o valor mínimo previsto.

3.8 Coliformes Totais e E-coli

Para coliformes totais, a variação foi de $0{,}538*10^6$ NMP/100*ml* até $304*10^6$ NMP/100*ml*. Ainda que este comportamento não seja visto em todos pontos, porem nos pontos 2 e 4 os valores

mostraram extremamente altos. O Decreto 18/2004 de 2 de Junho sugere que para as industrias cervejeiras não devem exceder 400NMP/100ml e para fins de consumo humano, a World Health Organisation (2017) recomenda níveis de coliformes totais que não devem ser detetáveis em nenhuma amostra de 100 *ml*, isto é 0/100 *ml*.

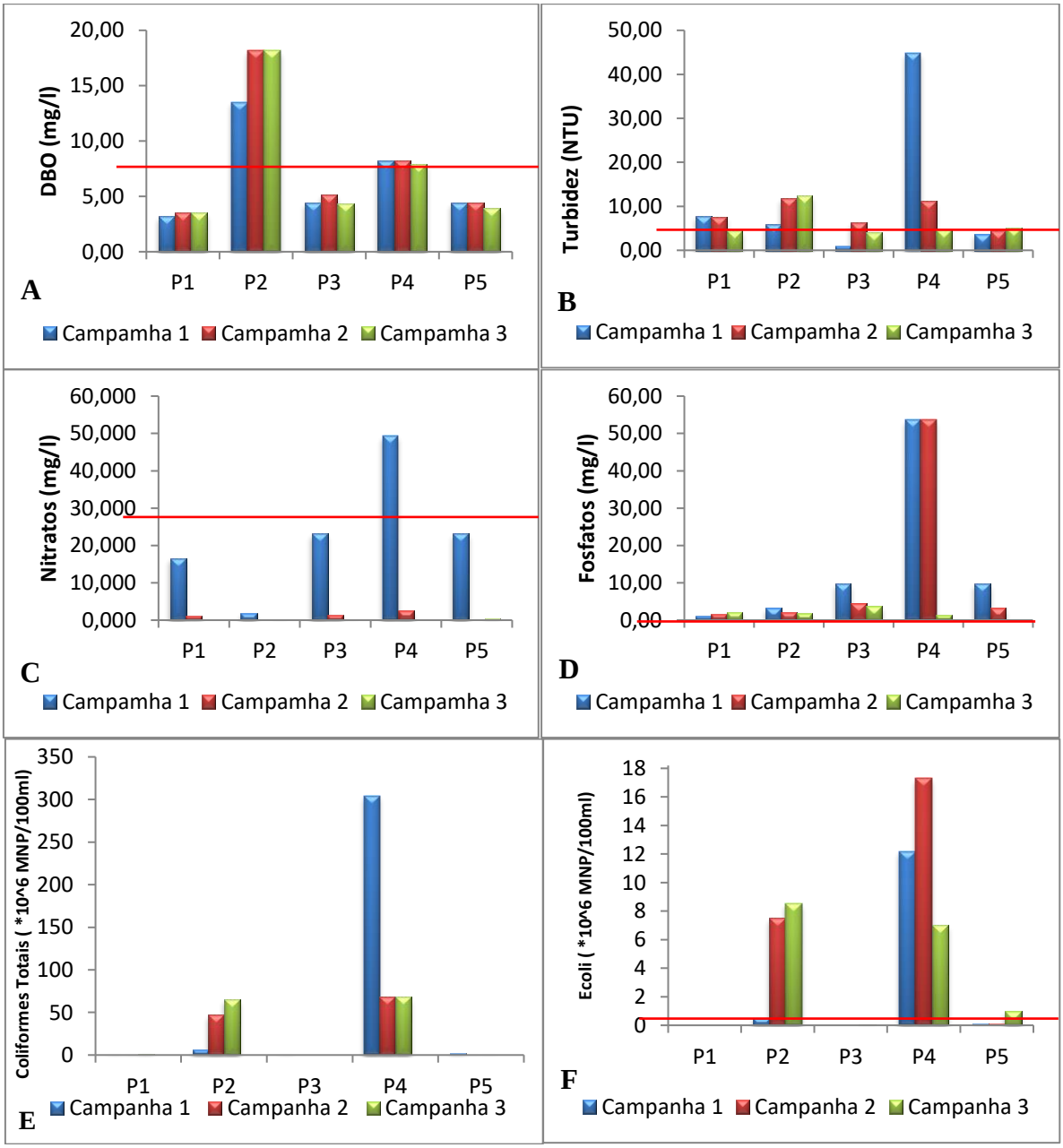


Figure 3: Gráficos de parâmetros laboratoriais

Entretanto pode se explicar esses valores elevados de ponto 2 por se tratar de esgoto industrial, e ponto 4 por ser ponto de descarga de efluentes tratados de esgotos de múltipla natureza. Para coliformes fecais ou E-coli, a variação foi de 10^4 NMP/100ml 1ate 17.3 *10^6NMP/100L. Para coliformes fecais o decreto 18/2004 de 2 de Junho prevê que para irrigação a água não deve exceder a 10^4 NMP/100*ml*, valores estes que o ponto 2 e 4 ultrapassam significativamente principalmente no ponto 4 por se tratar de um ponto onde descarrega se efluentes tratados de

origem pluvial, domestico até mesmo de fossas sépticas (fezes), daí justificar-se a presença de elevado índice de bactérias.

3.9 Sólidos Totais Dissolvidos

Assumindo o limite recomendado pelo Decreto nº 18/2004 para fins de irrigação, os valores de sólidos totais dissolvidos (TDS) em quase todos pontos, com exceção do ponto 1 em todas campanhas, não atendem o limite (500 mg/L). O facto pode dever se a escassez de chuva neste período, porque quanto maior fluxo de água, aumenta a capacidade autodepurativa do rio, não permitindo desta forma maior tempo de residência e retenção da água.

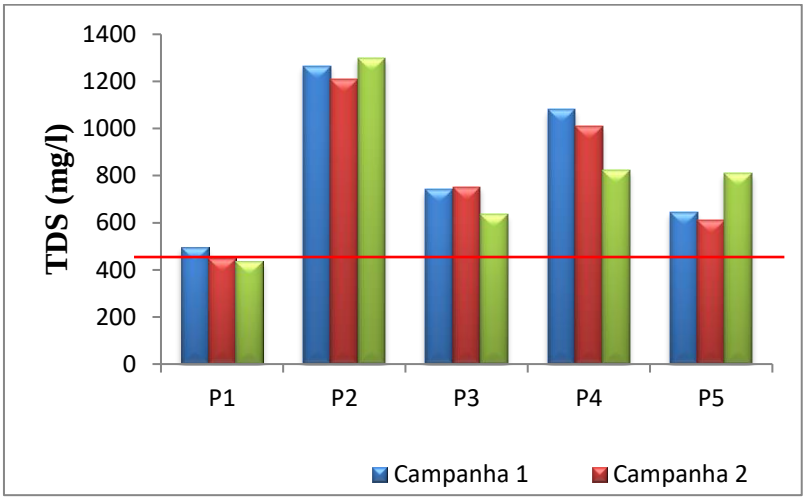


Figure 4: Gráficos de sólidos totais dissolvidos

4. CORRELAÇÃO DE PERSON

O coeficiente de correlação de Pearson(γ), igualmente chamado de coeficiente de correlação produto-momento, é um método estatístico que explora a intensidade e o comportamento mútuo entre as variáveis. Este coeficiente pode tomar valores compreendidos de -1 a 1. Miot (2018).

A correlação, indica a interdependência entre duas variáveis. O cálculo do coeficiente de correlação de Pearson, serve para detetar o grau de correlação entre as variáveis, quando não, se é facilmente compreendida sua interdependência. Este, indica que, à medida que uma variável for alterada, a outra variável terá um comportamento linear e previsível. Araújo, Caran e Souza (2016).

- $\gamma = 1$, a correlação é perfeita positiva, o que significa que, quando uma variável aumenta, a outra também aumenta proporcionalmente.
- $\gamma = -1$, a correlação é perfeita negativa, o que significa que, quando uma variável diminui, a outra diminui proporcionalmente.
- $\gamma = 0$, não existe nenhuma correlação, isto é, as variáveis, não tem relação linear significativa.

Para valores intermediários, indicam diferentes graus de correlação:

- $0.7 \leq \gamma \leq 1.0$ a correlação é muito forte;
- $0.4 \leq \gamma < 0.7$ a correlação é moderada;
- $0.2 \leq \gamma < 0.4$ a correlação é fraca;
- $0.0 \leq \gamma < 0.2$ a correlação é muito fraca ou desprezível.

4.1 Análise de dados do ponto 1 (Ponto antes da descarga de efluentes da 2M e ETAR

Tabela 8: Matriz do ponto 1

Variables	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura ˚C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	1	-0.111	-0.017	-0.161	-0.118	0.185	-0.281	-0.144	-0.036	-0.025	-0.025
Nitratos (mg/l)	-0.111	1	-0.884	-0.503	0.322	0.531	0.558	0.910	0.954	0.931	0.931
Fosfatos (mg/l)	-0.017	-0.884	1	0.846	-0.884	-0.846	-0.112	-0.727	-0.983	-0.913	-0.913
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.161	-0.503	0.846	1	-0.502	-0.955	0.430	-0.290	-0.738	-0.650	-0.650
Ecoli (MNP/100ml)	-0.118	0.322	-0.884	-0.502	1	0.530	0.559	0.910	0.954	0.931	0.931
Turbidez (NTU)	0.185	0.531	-0.846	-0.955	0.530	1	-0.363	0.325	0.745	0.641	0.641
Temperatura ˚C	-0.281	0.558	-0.112	0.430	0.559	-0.363	1	0.675	0.288	0.323	0.323
pH	-0.144	0.910	-0.727	-0.290	0.910	0.325	0.675	1	0.810	0.728	0.728
OD (mg/l)	-0.036	0.954	-0.983	-0.738	0.954	0.745	0.288	0.810	1	0.540	0.949
Condutividade (µS/cm)	-0.025	0.931	-0.913	-0.650	0.931	0.641	0.323	0.728	0.540	1	0.496
TDS (mg/L)	-0.025	0.931	-0.913	-0.650	0.931	0.641	0.323	0.728	0.949	0.496	1

Interpretação

Este é o ponto de referência do estudo, pois teoricamente representa a qualidade da água mais "natural" do rio antes de qualquer influência direta das ETARs. Porém, a região é rodeada de machambas (áreas agrícolas), o que pode influenciar a qualidade da água por escoamento superficial, com adubos, pesticidas ou matéria orgânica.

Nutrientes:

- **Nitratos x OD (r = 0,954)** e **Nitratos x pH (r = 0,910)** Indicam que os nitratos estão presentes em águas mais oxigenadas e com pH mais alto, sugerindo que vêm de escoamento agrícola (não esgoto), com pouca matéria orgânica em decomposição.
- **Fosfatos x OD (r = -0,983)** Forte correlação negativa: quando o fósforo aumenta, o oxigênio diminui. Isso pode indicar que o fósforo vem de fontes mais poluentes (como detergentes ou restos orgânicos), que consomem oxigênio na decomposição.
- As correlações observadas entre **nitratos e oxigênio dissolvido (r = 0,954)**, bem como com o **pH (r = 0,910)**, sugerem que os nitratos presentes têm origem agrícola, sendo dissolvidos em águas com bom nível de oxigênio, sem indicativos fortes de carga orgânica bruta. Por outro lado, a **correlação negativa entre fosfatos e OD (r = -0,983)** pode indicar que parte do fósforo detetado está associado a processos de decomposição mais ativos, talvez relacionados ao uso de fertilizantes orgânicos ou à decomposição de matéria vegetal.
- A **ausência de correlações fortes e positivas com E. coli e coliformes totais** reforça a hipótese de que este trecho ainda não sofre influência direta de esgotos domésticos, mantendo-se como um ponto de referência de melhor qualidade. Além disso, a **forte correlação entre condutividade e nitratos (r = 0,931)** indica que os sais minerais

dissolvidos acompanham o padrão dos nutrientes oriundos de práticas agrícolas. Assim, o Ponto 1 serve como base de comparação para os demais pontos do estudo, permitindo observar com clareza os efeitos da entrada de efluentes das duas ETAR's ao longo do rio

4.2 Análise de dados do ponto 2 (Ponto de descarga da cervejeira)

Tabela 9: Matriz do ponto 2

Variables	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100ml)	Ecoli (MNP/100 ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura ˚C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	**1**	0.705	0.680	0.146	0.211	0.797	-0.133	-0.492	-0.126	-0.328	-0.328
Nitratos (mg/l)	0.705	**1**	0.636	-0.941	-0.985	-0.952	-0.119	0.327	-0.972	0.153	0.153
Fosfatos (mg/l)	0.680	0.636	**1**	-0.945	-0.988	-0.963	-0.124	0.319	0.975	0.653	0.556
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.146	-0.941	-0.945	**1**	0.456	0.948	0.439	0.004	-0.988	0.147	0.147
Ecoli (MNP/100ml)	-0.211	-0.985	-0.988	0.456	**1**	0.969	0.272	-0.173	-0.995	-0.016	-0.016
Turbidez (NTU)	0.797	-0.952	-0.963	0.948	0.969	**1**	0.221	-0.193	-0.966	0.865	-0.081
Temperatura ˚C	-0.133	-0.119	-0.124	0.439	0.272	0.221	**1**	0.890	-0.319	0.901	0.901
pH	-0.492	0.327	0.319	0.004	-0.173	-0.193	0.890	**1**	0.127	0.929	0.929
OD (mg/l)	-0.126	-0.972	0.975	-0.988	0.995	-0.966	-0.319	0.127	**1**	-0.015	-0.015
Condutividade (µS/cm)	-0.328	0.153	0.653	0.147	-0.016	0.865	0.901	0.929	-0.015	**1**	0.879
TDS (mg/L)	-0.328	0.153	0.556	0.147	-0.016	-0.081	0.901	0.929	-0.015	0.879	**1**

Interpretação

O ponto 2 representa a descarga da Estação de Tratamento de Águas da indústria cervejeira 2M, e os dados coletados nesse ponto fornecem informações sobre a qualidade da água após o tratamento dos efluentes da indústria.

DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

- **Correlação com Nitratos (r =0.705)** e **Fosfatos (r =0.680)**: A DBO apresenta correlação positiva com nitratos e fosfatos, indicando que, à medida que esses nutrientes aumentam, também há um aumento na carga orgânica (DBO), sugerindo que a presença de nitratos e fosfatos pode ser um reflexo de poluição orgânica. Esse comportamento é típico, pois a DBO está relacionada à degradação da matéria orgânica presente na água.
- **Correlação negativa com Coliformes Totais (r =-0.146) e Ecoli (r =-0.211):** A DBO mostra uma correlação negativa mais fraca com os coliformes, o que é esperado, pois a DBO é mais influenciada por matéria orgânica, enquanto os coliformes são indicativos de contaminação fecal.

A matriz de correlação para o **ponto 2** revela que a descarga da estação de tratamento de águas da cervejeira influencia a qualidade da água de várias maneiras, principalmente aumentando a concentração de nutrientes como nitratos e fosfatos, que têm uma correlação positiva com DBO. Além disso, a turbidez e os coliformes, que são indicadores de poluição orgânica e microbiológica, também estão presentes em quantidades significativas. No entanto, a correlação

negativa entre os parâmetros de qualidade da água e o OD sugere que, enquanto a DBO e os patógenos aumentam, o oxigênio dissolvido tende a diminuir, um comportamento típico em águas mais poluídas. Esse ponto serve como um indicativo de como a estação de tratamento da 2M impacta a qualidade da água em termos de nutrientes e poluição orgânica. A presença de turbidez e microrganismos também é relevante e deve ser considerada na análise do impacto da indústria no ambiente local.

4.3 Análise de dados do ponto 3 (Ponto entre a descarga da 2M e da ETAR)

Tabela 10: Matriz do ponto 3

Variables	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100 ml)	Ecoli (MNP/ 100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura ˚C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	**1**	0.630	0.574	-0.154	-0.187	0.087	-0.278	0.008	0.126	0.065	0.065
Nitratos (mg/l)	0.630	**1**	0.877	0.844	-0.503	-0.879	0.335	0.756	0.850	0.415	0.415
Fosfatos (mg/l)	0.574	0,877	**1**	0.657	-0.512	-0.875	0.324	-0.008	0.948	0.425	0.425
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.154	0.844	0.657	**1**	0.492	-0.884	0.346	0.004	0.941	0.404	0.404
Ecoli (MNP/100ml)	-0.187	-0.503	-0.512	0.492	**1**	0.098	0.637	0.378	-0.740	-0.957	-0.957
Turbidez (NTU)	0.087	-0.879	-0.875	-0.884	0.098	**1**	-0.691	-0.191	-0.704	0.044	0.044
Temperatura ˚C	-0.278	0.335	0.324	0.346	0.637	-0.691	**1**	0.355	0.030	-0.704	-0.704
pH	0.008	0.756	-0.008	0.004	0.378	-0.191	0.355	**1**	-0.078	-0.331	-0.331
OD (mg/l)	0.126	0,850	0.948	0.941	-0.740	-0.704	0.030	-0.078	**1**	0.657	0.657
Condutividade (µS/cm)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	**1**	0.872
TDS (mg/L)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	0.872	**1**

Interpretação

- **Nitratos e Fosfatos (r = 0,877):** Correlação positiva forte entre nitratos e fosfatos, o que sugere que ambos os nutrientes têm fontes comuns de poluição. Isso é consistente com fontes agrícolas ou industriais, que frequentemente liberam esses compostos na água. Estes nutrientes, continuam a ser indicadores de poluição, provavelmente de origem agrícola ou industrial.
- **Nitratos e Oxigênio Dissolvido (OD) (r =0,850):** A correlação positiva forte entre nitratos e oxigênio dissolvido sugere que a água nesse ponto ainda possui um nível razoável de oxigênio, apesar da presença de nitratos. Isso pode indicar que os nitratos não estão associados a processos de decomposição orgânica
- **E. coli e Condutividade (r = -0,957):** Correlação muito forte e negativa entre E. coli e condutividade. Isso pode indicar que, em áreas com maior contaminação fecal (E. coli), a carga de sólidos dissolvidos tende a ser baixa, sugerindo que a poluição microbiológica não está acompanhada por altos níveis de poluição química.
- A **DBO** (Demanda Bioquímica de Oxigênio) tem uma correlação fraca com os **coliformes** (r = -0,154), sugerindo que a carga orgânica e a carga fecal não estão tão fortemente relacionadas neste ponto, indicando que a carga orgânica pode vir de fontes diferentes.

- **Coliformes e E. coli** são claros indicadores de contaminação fecal, mas a correlação com a **condutividade** é negativa, indicando que as áreas com alta contaminação microbiológica possuem menor presença de **sais dissolvidos**.

O **Ponto 3** parece representar uma **zona de transição** entre o impacto da 2M e o início do impacto da ETAR do Infulene. Embora a presença de **nitratos** e **fosfatos** sugira que ainda há uma poluição química significativa (provavelmente de fontes agrícolas ou industriais), os **coliformes e E. coli** indicam que a contaminação fecal também começa a ser perceptível. A correlação entre **temperatura e E. coli** sugere que a proliferação microbiana pode ser influenciada pela temperatura, e a correlação negativa entre **turbidez e coliformes** indica que a poluição fecal não está associada a grandes concentrações de material em suspensão. Portanto, este p**onto 3** é um indicador de que a qualidade da água está começando a se degradar devido à mistura das influências da poluição industrial e urbana, com sinais de contaminação orgânica e microbiológica.

4.4 Análise de dados do ponto 4 (Ponto de descarga da ETAR)

Tabela 11: Matriz do ponto 4

Variables	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/100 ml)	Ecoli (MNP/100ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura ˚C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	**1**	0.630	0.574	-0.154	-0.187	0.087	-0.278	0.008	0.126	0.065	0.065
Nitratos (mg/l)	0.630	**1**	0.877	0.844	-0.503	-0.879	0.335	0.756	0.850	0.415	0.415
Fosfatos (mg/l)	0.574	0,877	**1**	0.657	-0.512	-0.875	0.324	-0.008	0.948	0.425	0.425
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.154	0.844	0.657	**1**	0.492	-0.884	0.346	0.004	0.941	0.404	0.404
Ecoli (MNP/100ml)	-0.187	-0.503	-0.512	0.492	**1**	0.098	0.637	0.378	-0.740	-0.957	-0.957
Turbidez (NTU)	0.087	-0.879	-0.875	-0.884	0.098	**1**	-0.691	-0.191	-0.704	0.044	0.044
Temperatura ˚C	-0.278	0.335	0.324	0.346	0.637	-0.691	**1**	0.355	0.030	-0.704	-0.704
pH	0.008	0.756	-0.008	0.004	0.378	-0.191	0.355	**1**	-0.078	-0.331	-0.331
OD (mg/l)	0.126	0,850	0.948	0.941	-0.740	-0.704	0.030	-0.078	**1**	0.657	0.657
Condutividade (µS/cm)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	**1**	0.872
TDS (mg/L)	0.065	0.415	0.425	0.404	-0.957	0.044	-0.704	-0.331	0.657	0.872	**1**

Interpretação

- **DBO x OD (ɤ = -0,987)** Forte correlação negativa: quanto maior a DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), menor o OD. Isso indica que há uma alta carga de matéria orgânica em decomposição, consumindo intensamente o oxigênio da água. Este cenário, é típico de esgoto bruto ou pouco tratado, que chega à água com alta concentração de compostos biodegradáveis.
- **DBO x E. coli (ɤ = 0,967)** Mostra que a matéria orgânica está associada à contaminação fecal, sinal claro de poluição urbana direta.
- **E. coli x Coliformes Totais (ɤ = 1,000)** Correlação perfeita: indica uma contaminação fecal expressiva e recente característico de esgoto doméstico não tratado.
- **Temperatura x Coliformes Totais (ɤ = 0,947)** Temperaturas mais elevadas favorecem o crescimento microbiano. Pode indicar que o esgoto lançado estava a uma

temperatura mais alta, ou que o clima no período favoreceu a **proliferação bacteriana**.

- **E. coli x OD (r = -0,876)** Mostra que a atividade bacteriana (decomposição) também está reduzindo os níveis de oxigênio dissolvido.
- **Nitratos x Fosfatos (r = 0,954)** Alta correlação: indica fonte comum, provavelmente uma mistura de efluente doméstico mais algum resíduo agrícola.

O Ponto 4 representa um cenário de degradação alta da qualidade da água, que pode estar directamente relacionado ao **bypass da ETAR do Infulene** durante obras de reabilitação. Os dados mostram: altíssima contaminação fecal e orgânica, redução crítica do oxigénio dissolvido, presença de nutrientes que podem alimentar processos eutróficos, esgoto doméstico lançado com baixa remoção biológica ou microbiológica, que podem trazer implicações ambientais como: risco para saúde pública e vida aquática, potencial de eutrofização e colapso ecológico localizado.

4.5 Análise de dados do ponto 5 (Ponto depois da descarga da ETAR)

Tabela 12:Matriz do ponto 5

Variables	DBO (mg/l)	Nitratos (mg/l)	Fosfatos (mg/l)	Coliformes Totais (MNP/ 100 ml)	Ecoli (MNP/ 100 ml)	Turbidez (NTU)	Temperatura ˚C	pH	OD (mg/l)	Condutividade (µS/cm)	TDS (mg/L)
DBO (mg/l)	**1**	0.233	0.212	-0.402	-0.417	-0.422	-0.111	-0.331	0.506	-0.386	-0.386
Nitratos (mg/l)	0.233	**1**	0.999	-0.321	-0.501	-0.673	0.644	-0.309	0.877	0.223	-0.354
Fosfatos (mg/l)	0.212	0.999	**1**	-0.296	-0.478	-0.673	0.662	-0.430	0.864	0.567	-0.332
Coliformes Totais (MNP/100ml)	-0.402	-0.321	-0.296	**1**	0.980	0.479	0.516	0.989	-0.735	0.976	0.976
Ecoli (MNP/100ml)	-0.417	-0.501	-0.478	0.980	**1**	0.578	-0.338	0.968	-0.853	0.966	0.966
Turbidez (NTU)	-0.422	-0.673	-0.673	0.479	0.578	**1**	-0.197	0.506	-0.722	0.508	0.508
Temperatura ˚C	-0.111	0.644	0.662	0.516	-0.338	-0.197	**1**	0.520	0.198	0.469	0.469
pH	-0.331	-0.309	-0.430	0.989	0.968	0.506	0.520	**1**	-0.719	0.963	0.963
OD (mg/l)	0.506	0.877	0.864	-0.735	-0.853	-0.722	0.198	-0.719	**1**	-0.743	-0.743
Condutividade (µS/cm)	-0.386	0.223	0.567	0.976	0.966	0.508	0.469	0.963	-0.743	**1**	1.000
TDS (mg/L)	-0.386	-0.354	-0.332	0.976	0.966	0.508	0.469	0.963	-0.743	1.000	**1**

Interpretação

DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio)

- **Nitratos (r = 0.233)** e **Fosfatos (r = 0.212)**: A correlação positiva entre a DBO e esses nutrientes sugere que a água ainda contém uma carga orgânica que se correlaciona com os níveis de nitratos e fosfatos. Embora o valor seja relativamente baixo, indica que a matéria orgânica ainda está presente no sistema e pode estar em processo de degradação.
- **Coliformes Totais (r = -0.402)** e **E. coli (r = -0.417)**: A DBO tem correlações negativas moderadas com os coliformes e E. coli, sugerindo que, embora a carga orgânica ainda esteja presente, a poluição fecal não está diretamente relacionada à demanda de

oxigênio, o que pode indicar uma redução na poluição fecal ou a eficiência da autodepuração no ponto 5.

- **OD (r = 0.506)**: A DBO tem uma correlação positiva moderada com o oxigênio dissolvido, sugerindo que a decomposição orgânica não está consumindo excessivamente o oxigênio disponível, o que pode ser uma indicação de que o corpo d'água está se recuperando parcialmente.

Em suma, a presença de nitratos, fosfatos, coliformes e E. coli indica que a poluição é de natureza orgânica e fecal. No entanto, a correlação moderada com a **DBO** e a correlação negativa com o OD indicam que, embora haja contaminação, o impacto é menos intenso do que em pontos mais próximos das fontes de poluição. A correlação entre **DBO** e **OD** sugere que, mesmo com a presença de nutrientes e matéria orgânica, a água está conseguindo manter níveis razoáveis de oxigênio, indicando que a **autodepuração** pode estar começando a atuar a situação.

A **turbidez** associada à **E. coli** e a **DBO** sugere que ainda há uma certa quantidade de matéria orgânica em suspensão, mas o sistema pode estar processando essa matéria de forma mais eficiente do que em pontos anteriores. Este ponto, no caso o 5, indica que o corpo d'água está em uma fase de recuperação, com a presença de nutrientes e poluição ainda percetíveis, mas com sinais claros de que a água está sendo capaz de reduzir a contaminação fecal e manter um equilíbrio no oxigênio dissolvido.

Apesar da presença de alguns indicadores de poluição, a correlação entre os parâmetros sugere que a água está começando a recuperar-se da carga de poluentes, com um processo de **autodepuração** começando a atuar, reduzindo gradualmente os impactos da poluição.

5. CONCLUSÕES

Feito trabalho, concluiu-se que, a qualidade da água do rio apresenta degradação progressiva ao longo do seu curso, especialmente nos pontos situados a jusante das descargas da Cervejeira e da ETAR de Infulene. Esta degradação é evidenciada por alterações nos parâmetros físico-químicos (como o aumento de nutrientes – nitratos e fosfatos – e a variação do OD) e biológicos (presença de coliformes fecais e *E. coli*). A descarga da indústria cervejeira também mostrou impactos relevantes, sobretudo na carga de nutrientes (DBO, nitratos e fosfatos), embora com menor impacto directo em termos de contaminação fecal. Isso indica poluição essencialmente química e orgânica, com provável origem industrial e agrícola. A agricultura nas margens do rio contribui para a carga de nutrientes através do escoamento superficial com fertilizantes e pesticidas. Essa influência está presente desde o ponto 1, que deveria representar a qualidade mais "natural" da água. A poluição tem várias origens e que ambos os factores – Cervejeira e ETAR de Infulene – têm influência na qualidade da água, mas também enfatiza a capacidade de recuperação natural do rio. Pode ajudar os agricultores a entender que o problema é complexo e multifacetado, e exige esforços conjuntos para melhorar a qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia Quimica (DEQ), a Técnica de Laboratório Maria pelo auxílio nas operações laboratoriais, os autores agradecem também ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) por disponibilizar seu laboratório para algumas análises como de nitratos, fosfatos, e turbidez.

REFERÊNCIAS

APHA, A. & W. (2017) – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23a Edição). Washington, DC: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

ARAÚJO, R. F.; CARAN. G. M.; SOUZA. I. V. P. (2016) – Orientação temática e coeficiente de correlação para análise comparativa entre dados altmétricos e citações: uma análise da revista DataGramaZero. Porto Alegre.

BORGES, M. G. (2021) – Água e contaminantes químicos: avaliação da qualidade da água nos 5 municípios mais populosos do Rio Grande do Sul.

COSTA, I. A., Nogueira, F. F., & PereirA, U. A. (2015) – Análise de parâmetros físico-químicos da água e do uso e ocupação do solo na sub-bacia do Córrego da Água Branca no município de Nerópolis – Goiás.

FIORUCCI, A. R., & FILHO, E. B. (2005) – Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecosistemas Aquáticos. *Química e Sociedade*.

MIOT, H. A. (2018) Out-Dez – Correlation analysis in clinical and experimental studies.

ARTIGO Nº23551

TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUAL DO SEPARADOR DE HIDROCARBONETOS DA PETROMOC POR ELECTROCOAGULAÇÃO

Arcanjo R. Cuamba[1(*)]; Morais M. Jone[1(*)]; Estêvão Pondja[2] & Maria Eduardo[2]

[1]*Departamento de Pós-graduação, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Moçambique, Maputo*
[2]*Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Moçambique, Maputo*
(*) *E-mail*: arcanjocuamba9@gmail.com; moraisjone68@gmail.com

RESUMO

O objectivo deste trabalho é avaliar a eficácia do tratamento de efluentes provenientes do separador de hidrocarbonetos da Petromoc por meio da técnica de electrocoagulação, visando reduzir os impactos ambientais causados por compostos tóxicos. Apresenta-se uma metodologia experimental baseada no uso de elétrodos de alumínio e ferro, com condições optimizadas de corrente, tensão e distância entre eléctrodos. Pretende-se obter uma análise comparativa da qualidade da água antes e após o tratamento, com ênfase na remoção de óleos e gorduras, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos (TDS) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5). Para garantir resultados confiáveis, foram realizadas caracterizações físico-químicas das amostras brutas e tratadas. Os resultados demonstram uma redução significativa dos poluentes, com destaque para eficiências de remoção superiores a 94%. Conclui-se que a electrocoagulação é um método eficaz para o tratamento desses efluentes, contribuindo para a minimização de danos ambientais.

Palavras-chave: Electrocoagulação, água residual, hidrocarbonetos, Petromoc.

ABSTRACT

The objective of this study is to evaluate the effectiveness of treating effluent from Petromoc's hydrocarbon separator using the electrocoagulation technique, aiming to reduce the environmental impact caused by toxic compounds. An experimental methodology is presented, based on the use of aluminium and iron electrodes, with optimised conditions for current, voltage, and distance between electrodes. The study seeks to provide a comparative analysis of water quality before and after treatment, with emphasis on the removal of oils and fats, turbidity, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS) and biochemical oxygen demand (BOD). To ensure reliable results, physicochemical characterisations of raw and treated samples were conducted. The results demonstrate a significant reduction in pollutants, with removal efficiencies exceeding 94%. It is concluded that electrocoagulation is an effective method for treating this effluent, contributing to the mitigation of environmental damage.

Keywords: Electrocoagulation, wastewater, hydrocarbons, Petromoc.

INTRODUÇÃO

O reaproveitamento de efluentes tem ganhado crescente relevância em diversos segmentos industriais, destacando-se como uma prática essencial para a sustentabilidade operacional (Souza *et al*., 2021). No setor petrolífero, onde grandes volumes de água são gerados em todas as etapas da cadeia produtiva, a reutilização de recursos hídricos surge como uma alternativa estratégica. No entanto, a presença de contaminantes sólidos e líquidos nesses efluentes exige processos de tratamento eficazes para mitigar impactos ambientais e operacionais.

A indústria petrolífera desempenha um papel fundamental na sociedade moderna, seja como fonte de energia, seja como fornecedora de matérias-primas para uma vasta gama de produtos. Contudo, suas atividades apresentam elevado potencial de impacto ambiental, especialmente devido ao descarte inadequado de efluentes. A água residual proveniente de separadores de hidrocarbonetos em terminais de combustíveis, por exemplo, contém compostos orgânicos e inorgânicos, gases dissolvidos e aditivos químicos que, se não tratados adequadamente, podem contaminar corpos hídricos, solos e ecossistemas (Silva, 2000).

Diante desse cenário, torna-se imperativo o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias avançadas para o tratamento desses efluentes. Diversas metodologias são descritas na literatura para o tratamento de águas residuais com características semelhantes às dos efluentes da indústria petrolífera. Os tratamentos físico-químicos convencionais incluem etapas preliminares como coagulação, floculação, sedimentação e o processamento do lodo gerado. Além disso, processos secundários e terciários, como o uso de filtros biológicos e sistemas de lodos ativados, também podem ser aplicados. No entanto, esses métodos apresentam baixa eficiência quando o efluente possui baixa concentração de partículas coloidais em suspensão e elevada carga de matéria orgânica.

Uma alternativa aos métodos de tratamento convencionais é o uso de processos eletroquímicos, capazes de promover a oxidação completa das moléculas orgânicas presentes nos efluentes, convertendo-as em dióxido de carbono e água. Esse alto grau de oxidação é obtido por meio da geração eletroquímica de agentes oxidantes potentes, que transformam os poluentes orgânicos em compostos menos nocivos. Para que as reacções eletroquímicas ocorram de forma eficiente, é essencial a utilização de materiais ou de eléctrodos que favoreçam a oxidação directa (semelhante à combustão eletroquímica) ou a remoção de contaminantes, via electrocoagulação/eletrofloculação. Esses eléctrodos actuam como catalisadores, acumulando espécies oxigenadas ativas em suas superfícies, as quais são responsáveis pelos mecanismos de degradação da matéria orgânica (Mansour *et al.*, 2008).

A electrocoagulação (EC)/ eletrofloculação, é um processo eletroquímico baseado na geração *in situ* de agentes coagulantes e floculantes, por meio de reações que ocorrem nos eléctrodos – ânodo e cátodo – substituindo os aditivos químicos tradicionalmente utilizados em processos convencionais (reacções eletroquímicas 1 a 4). Durante o processo, eléctrodos de ferro ou alumínio são submetidos a uma corrente elétrica, promovendo a liberação de espécies coagulantes diretamente no meio reacional. O equipamento utilizado é considerado seguro e confiável, pois opera com baixos potenciais eletroquímicos, geralmente na faixa de 5 a 20 V. No entanto, a quantidade relativa de gases gerados, como hidrogênio e oxigênio, pode variar em função da intensidade da corrente aplicada e, em alguns casos, da salinidade da solução. O

funcionamento do processo de EC é regido por dois mecanismos principais, conforme descrito nas reações eletroquímicas 1 a 4 (Sahu *et al.*, 2014).

No ânodo:

$$M_{(s)} \rightarrow M_{(aq)}^{n+} + ne^{-} \ (1)$$

$$2H_2O_{(l)} \rightarrow 4H_{(aq)}^{+} + O_{2(g)} + 4e^{-} \ (2)$$

No cátodo:

$$M_{(aq)}^{n+} + ne^{-} \rightarrow M_{(s)} \ (3)$$

$$2H_2O_{(l)} + 2e^{-} \rightarrow 2H_{2(g)} + 2OH^{-} \ (4)$$

Apesar dos avanços, ainda há lacunas no conhecimento científico sobre a aplicação da electrocoagulação no tratamento de efluentes petrolíferos, particularmente em águas residuais de separadores de hidrocarbonetos. Assim, este estudo tem como objetivo **avaliar a eficiência do processo de electrocoagulação no tratamento de águas residuais provenientes do separador de hidrocarbonetos da Petromoc**, contribuindo para o desenvolvimento de soluções sustentáveis no setor.

PARTE EXPERIMENTAL

As amostras foram coletadas no Porto da Matola, na Terminal Oceânica de Combustíveis (Petromoc), em 15 de maio de 2025, diretamente no separador de hidrocarbonetos. O procedimento de amostragem seguiu as diretrizes estabelecidas pelas normas vigentes em Moçambique, com base nos padrões internacionais, tais como a ISO 5667-10 (Diretrizes para a amostragem de efluentes industriais) e a ISO 5667-3 (Preservação e manuseio de amostras de água). Essas normas garantem a representatividade, a integridade e a rastreabilidade das amostras coletadas em corpos hídricos e efluentes líquidos.

Projecto e configuração do sistema de electrocoagulação

Para realização do procedimento experimental foi construído um reactor de acrílico com 33 cm de comprimento, 9 cm de altura e 9 cm largura. Dentro do reactor foram colocadas as células electrolíticas, formadas por 10 placas de alumínio/ferro com 1 mm de espessura, espaçadas 3 mm uma da outra, formando uma área superficial submersa total de 225 cm², sendo a área de cada eléctrodo (cátodo e ânodo) de 112.5 cm^2. O conjunto formado possui 2 coletores distribuidores da energia elétrica, um alimentado com carga elétrica positiva (+) e outro com negativa (-), arranjados de forma que cada placa tivesse como vizinha outra placa com carga eléctrica oposta, formando um circuito em paralelo (Figura 1).

Para a aplicação da diferença de potencial no reactor, utilizou-se uma fonte retificadora da marca HQ POWER, modelo PS5005. O equipamento possui controlo de tensão por meio de um circuito eletrônico com chaveamento por transístores, permitindo ajuste manual da diferença de potencial através de um potenciômetro, operando na faixa de 0 a 50 V. A fonte é equipada com um amperímetro e um voltímetro, que possibilitam o monitoramento em tempo real dos parâmetros eléctricos aplicados.

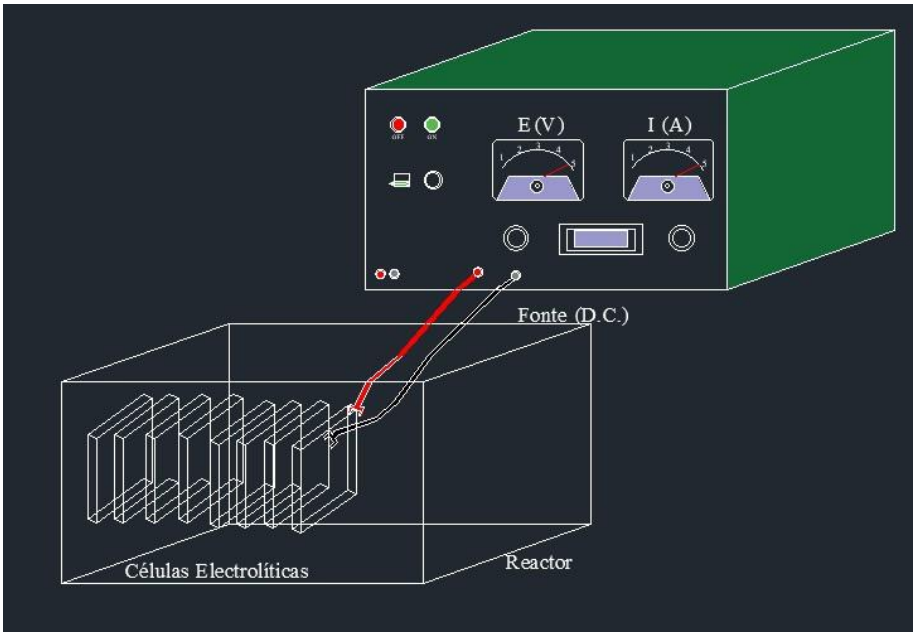


Figura 1. Representação esquemática do sistema de electrocoagulação

A primeira etapa dos ensaios consistiu na definição da faixa de tensão a ser aplicada aos eléctrodos. A seleção dos valores ótimos baseou-se na observação da geração de bolhas gasosas durante a eletrólise, correlacionando a intensidade do desprendimento com o potencial eléctrico aplicado. Para garantir a segurança do sistema, os limites operacionais da fonte retificadora foram rigorosamente respeitados, prevenindo sobrecargas ou curtos-circuitos nos componentes eletrônicos.

Posteriormente, fixou-se um tempo de reação de 30 minutos para o tratamento, determinado como o período necessário para alcançar a clarificação completa do efluente. Este intervalo foi estabelecido com base em testes preliminares que avaliaram a eficiência de remoção de contaminantes em função do tempo de processamento.

Procedimentos de tratamento e condições operacionais

A água residual bruta (efluente líquido) foi coletada diretamente no separador de hidrocarbonetos da Petromoc, sem qualquer tratamento preliminar. Os ensaios de electrocoagulação (EC) foram realizados em laboratório, utilizando 1,5 L da amostra previamente homogeneizada. O potencial eléctrico aplicado no reator variou entre 18 e 30 volts, em incrementos de 6 unidades, com um tempo de exposição fixo de 30 minutos.

Durante o processo de EC, não foi realizada homogeneização mecânica; a agitação ocorreu de forma natural, promovida pela formação e liberação de bolhas de gases geradas durante as reações eletroquímicas. A eficiência do sistema foi avaliada por meio de análises físico-químicas do efluente antes e após o tratamento.

A melhor condição operacional foi selecionada com base em ensaios de cor aparente e turbidez (NTU), utilizando um turbidímetro portátil WTW Turb 430T. Também foram analisados outros parâmetros relevantes, incluindo pH e conductividade eléctrica, utilizando um multiparâmetro portátil Revio, sólidos totais dissolvidos (TDS), demanda bioquímica de oxigênio em cinco dias (DBO_5), e óleos e gordura.

Caracterização físico-química das amostras

As análises físico-químicas da água residual bruta e tratada foram realizadas de acordo com os procedimentos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22ª edição, segundo protocolos reconhecidos internacionalmente para a caracterização de efluentes.

Tratamento estatístico dos dados

Para a comparação entre as médias dos tratamentos, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade com nível de confiança igual a 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água residual

Análises físico-químicas

A avaliação da qualidade da água residual tratada por EC foi realizada por meio de análises de cor aparente, pH, turbidez, conductividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos (TDS) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5) em diferentes correntes. Todas as determinações foram realizadas em triplicata.

Tabela 1. Resultados obtidos para água residual bruta e tratado utilizando diferentes correntes eletroquímicas, 0.6, 0.9 e 1 A

		Amostra	pH	Turbidez (NTU)	Conductividade (µS/cm)	TDS (mg/L)	DBO_5 (mg/L)
		Bruta	6,96 a (0)	60,87 a (0,8)	381,33 a (0,5)	343,20 a (0,4)	122 a (1,5)
Alumínio	**18 V**	**0,60 A**	8,13 b (0,1)	18,13 b (0,6)	299,33 b (3,4)	149,67 b (1,7)	10,52 b (1,7)
	24 V	**0,90 A**	7,94 c (0)	12,67 c (0,2)	284,33 c (7,3)	142,17 c (3,7)	8,48 bc (2,4)
	30 V	**1,00 A**	7,85 c (0)	8,28 d (0)	281,00 c (0)	140,50 c (0)	4,40 c (0)
Ferro	**18 V**	**0,60 A**	9,51 d (0)	69,07 e (0,8)	208,33 d (2,4)	104,17 d (1,2)	7,96 de (1,1)
	24 V	**0,90 A**	9,21 e (0)	76,23 f (0,6)	213,00 e (0)	106,50 e (0)	9,96 d (0,2)
	30 V	**1,00 A**	10,59 f (0)	57,23 g (0,2)	230,33 f (0,5)	115,17 f (0,2)	5,16 e (0,8)

De acordo com os resultados obtidos, com diferentes potenciais eletroquímicos, foi observado que ocorreu um aumento significativo do pH para todas as correntes usadas conforme a

(Tabela 1), e esse aumento foi mais expressivo para as amostras tratadas com o eléctrodo de ferro em comparação com as de alumínio. As amostras para 0.60 A não apresentaram bom desempenho no processo, o que pode ser devido à baixa corrente, pois a hidrólise do alumínio e do ferro dependem do potencial aplicado (Ge *et al.*, 2004).

Aos resultados obtidos foi aplicado o teste de Tukey. Valores seguidos da mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 1). O teste de Tukey demonstra claramente que o aumento da corrente favoreceu o tratamento proposto.

Resultados promissores foram obtidos com a corrente de 1 A com os elétrodos de alumínio, a qual reduziu significativamente, acima de 90%, quase todos os parâmetros avaliados (cor aparente, turbidez, sólidos totais dissolvidos e DBO_5). Embora o pH tenha sido aumentado de maneira significativa (do ponto de vista estatístico), ainda se encontra dentro dos parâmetros legais de descarte (pH 6 a 9) conforme estabelecido pelo Decreto n.º 52/2023 de 30 de Agosto.

A elevação do pH do meio é um comportamento esperado no tratamento de águas residuais de carácter levemente ácido (como o originado na indústria do petróleo). Outro efeito a ser considerado é que durante a dissolução química do alumínio, iões H^+ serão consumidos, ocasionando o aumento do pH. Além disso, a reacção expressa na Equação (1) será deslocada para direita, promovendo também o incremento no pH do meio (Ge *et al.*, 2004).

$$Al^{3+}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_{3(s)} + 3H^+_{(aq)} \qquad (1)$$

De forma semelhante, quando se utiliza ferro como elétrodo, ocorre a liberação de iões ferrosos (Fe^{2+}) ou férricos (Fe^{3+}), os quais também sofrem hidrólise, conforme representado na Equação (2), formando hidróxidos metálicos que actuam como coagulantes. No entanto, diferentemente do alumínio, a hidrólise do ferro tende a liberar iões H^+ no meio, podendo reduzir ligeiramente o pH ou limitar sua elevação, dependendo das condições operacionais.

$$Fe^{3+}_{(aq)} + 3H_2O \rightarrow Fe(OH)_{3(s)} + 3H^+_{(aq)} \qquad (2)$$

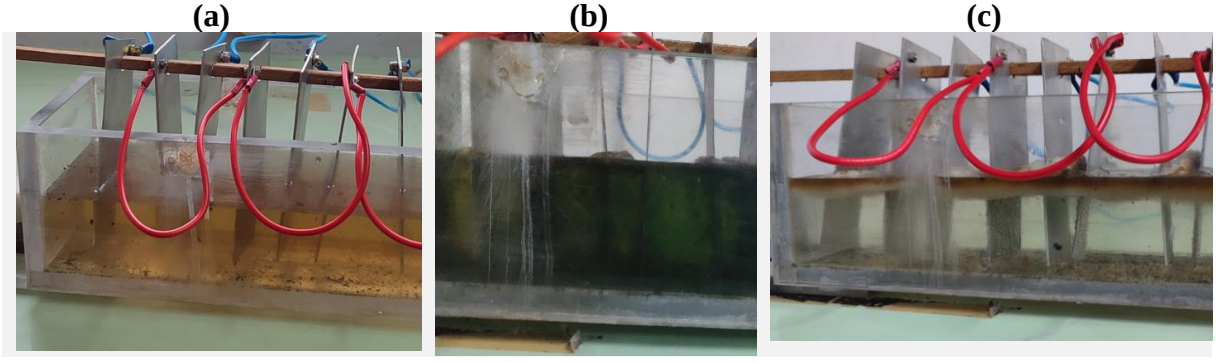


Figura 2. Tratamento por electrocoagulação: (a) tempo zero, (b) após 30 minutos com placas de ferro, (c) após 30 minutos com placas de alumínio.

Como referenciado, os melhores resultados para análise da cor aparente e turbidez foram observados com o potencial eléctrico em torno de 30 V, distância entre as placas de 3 mm e corrente de 1 A, com eléctrodos de alumínio, com geração expressiva de bolhas no sistema.

É importante ressaltar que a corrente desempenha papel fundamental no tamanho e quantidade de bolhas de gás formadas no processo. Existe uma proporcionalidade entre a corrente e a quantidade de bolhas (Chen, 2004). Em valores de potencial mais baixos não se formaram bolhas suficiente para a floculação das partículas, e em potenciais mais elevados não foi perceptível aumento expressivo na formação de bolhas, justificando, assim, o emprego do potencial de até 30 V, corrente de 1 A e distância entre as placas de 3 mm.

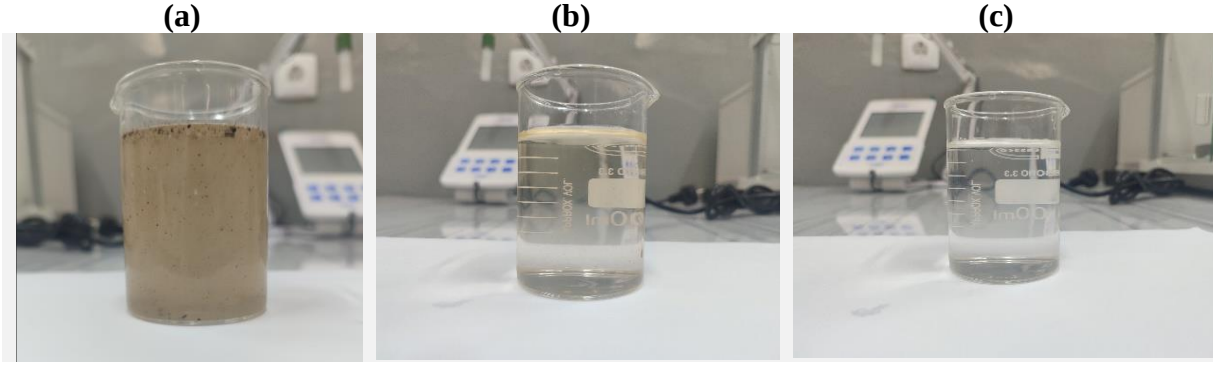


Figura 3. Tratamento por electrocoagulação: (a) tempo zero, (b) após 30 minutos com placas de ferro, (c) após 30 minutos com placas de alumínio.

As Figuras 2 e 3 apresentam a evolução visual de um efluente submetido à electrocoagulação, comparando três estágios distintos: a amostra bruta no tempo zero (Figuras 2a e 3a), após 30 minutos de tratamento com placas de ferro (Figuras 2b e 3b) e com placas de alumínio (Figuras 2c e 3c). Nas Figuras 2b e 3b, observa-se que a água adquiriu uma tonalidade esverdeada característica, indicativa da formação de óxidos e hidróxidos de ferro, como $Fe(OH)_3$, compostos típicos gerados durante a electrocoagulação com eléctrodos ferrosos que actuam como eficientes coagulantes. Em contraste, a amostra tratada com alumínio (Figuras 2c e 3c) apresenta-se visivelmente mais clara e translúcida, resultado da formação de flocos de $Al(OH)_3$ que removem eficazmente partículas coloidais e matéria orgânica dissolvida. Essa diferença cromática entre os tratamentos reflete os distintos mecanismos de acção de cada material: enquanto o ferro produz uma coloração residual devido aos seus óxidos, o alumínio proporciona uma clarificação mais acentuada da água. Os resultados visuais corroboram os dados analíticos, demonstrando que a escolha do material do eléctrodo influencia directamente tanto na eficiência do tratamento quanto nas características físicas do efluente final, sendo o alumínio mais adequado para aplicações que requerem transparência e o ferro para casos onde a presença de óxidos não representa um inconveniente.

A coloração característica de efluentes provenientes de separadores de hidrocarbonetos é, em geral, escura ou amarelada, frequentemente acompanhada por uma película oleosa visível na superfície. Essa coloração está associada à presença de compostos orgânicos dissolvidos e em suspensão, como óleos, graxas e hidrocarbonetos, resultantes da actividade industrial ou de processos de separação de contaminantes. Além da tonalidade intensa, esses efluentes apresentam elevados níveis de turbidez, o que reduz significativamente sua transparência. A matéria orgânica presente, muitas vezes oriunda da degradação de substâncias de origem animal ou vegetal, favorece o desenvolvimento de microrganismos, incluindo patógenos. Estes tendem

a se associar às partículas em suspensão, tornando sua remoção um passo essencial nos processos de tratamento de águas residuais, tanto para reduzir a carga orgânica quanto para garantir a segurança microbiológica do efluente tratado (Wong, 2013).

A Tabela 3, apresenta a média dos resultados, a eficiência de remoção de cada parâmetro analisado e os valores estabelecidos pela legislação moçambicana para efeitos de comparação.

Tabela 3. Comparação entre os parâmetros analisados para água residual bruta e tratada por electrocoagulação com corrente de 1 A e placas de alumínio.

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Eficiência(%)	LEGISLAÇÃO*
pH	6,96 (0)	7,85 (0)	-	6 a 9
Turbidez (NTU)	60,87 (0,8)	8,28 (0)	86,40	-
Conductividade (µS/cm)	381,33 (0,5)	281,00 (0)	-	-
TDS (mg/L)	343,20 (0,4)	140,50 (0)	59,06	-
DBO_5 (mg/L)	122 (1,5)	4,4 (0)	96,39	30
Óleos e gorduras (%)	2,28 (0,1)	0,12 (0)	94,95	10

*Decreto n.º 52/2023 de 30 de Agosto

De forma semelhante aos parâmetros de cor e turbidez, as análises físico-químicas revelaram uma redução mais acentuada na DBO_5 e nos teores de óleos e gorduras nas amostras tratadas com eléctrodos de alumínio, atingindo uma eficiência de remoção de aproximadamente 95% para óleos e graxas. Em contraste, os eléctrodos de ferro apresentaram desempenho ligeiramente inferior (~90%) nesse parâmetro, porém se mostraram mais eficazes na remoção de sólidos totais dissolvidos (TDS). Esses resultados reforçam a robustez e eficiência do tratamento por electrocoagulação (EC), demonstrando sua capacidade de adaptação a diferentes contaminantes conforme o material electródico utilizado. Os resultados com as percentagens de remoção são mostrados na Figura 3.

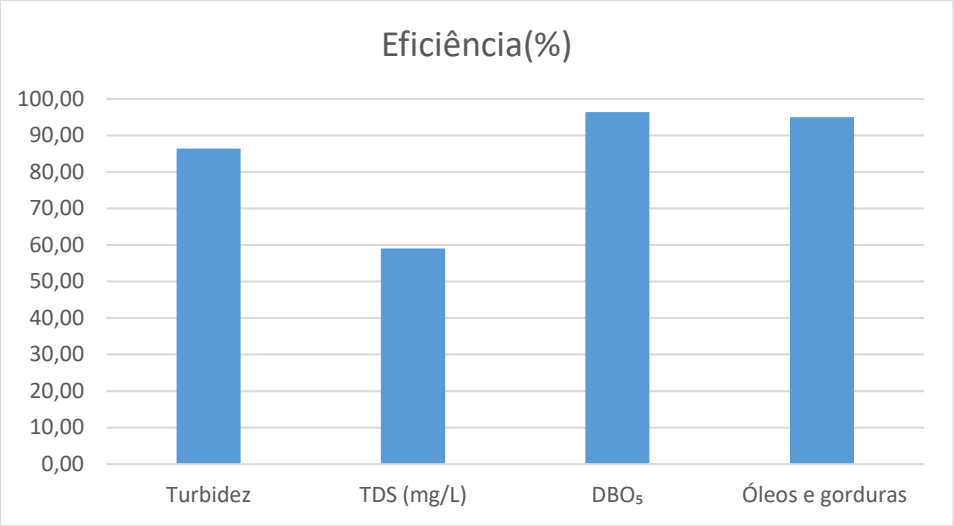


Figura 4. Eficiência de remoção dos contaminantes por EC com eléctrodos de alumínio, corrente de 1 A, tempo de 30 min.

De modo geral, conforme pode ser observado, todos os parâmetros analisados apresentaram uma eficiência média acima de 94% na remoção dos contaminantes, com excepção da turbidez e TDS.

Resultados comparáveis foram reportados na literatura, com estudos demonstrando a eficácia da electrocoagulação (EC) no tratamento de águas residuais de restaurantes (Chen, 2004) e efluentes de lavagem industrial (Wang *et al*, 2009), corroborando os achados do presente estudo. A EC apresenta particular eficácia na remoção de óleos e gorduras, com taxas médias superiores a 94%, conforme observado. Este elevado desempenho deve-se à forte interação entre as moléculas de hidrocarbonetos e o hidróxido de alumínio formado durante o processo, que promove a coagulação e subsequente formação de flocos coloidais de baixa densidade. Estes agregados tendem a migrar espontaneamente para a superfície do meio aquoso, sendo que sua flotação é significativamente potencializada pela acção das microbolhas de gás geradas electroquimicamente, as quais aumentam a velocidade de separação das fases. Como destacado por Mollah *et al.* (2004), este mecanismo combinado de coagulação-flotação torna a EC particularmente adequada para o tratamento de efluentes com elevadas cargas de óleos e gorduras, confirmando o excelente potencial da técnica para aplicações em efluentes complexos como os analisados neste trabalho.

CONCLUSÃO

A electrocoagulação (EC) consolida-se como técnica promissora e eficiente para tratamento de águas residuais, apresentando vantagens competitivas frente aos processos convencionais. Os resultados deste estudo demonstraram o elevado potencial da EC no tratamento de efluentes da indústria petrolífera, particularmente para águas residuais provenientes de separadores de hidrocarbonetos.

As condições óptimas identificadas - corrente de 1 A, potencial eléctrico de 30 V, eléctrodos de alumínio e distância intereletródica de 30 mm - proporcionaram remoções significativas de contaminantes, com destaque para 96,39% de redução na DBO_5, 84,73% na turbidez e 94,95% na concentração de óleos e gorduras. A formação de flocos estáveis de hidróxido de alumínio, facilmente removíveis por filtração, aliada à acção das microbolhas de gás geradas no processo,

resultou em efluente tratado com características visivelmente melhoradas, atendendo aos padrões de qualidade exigidos. A aplicação da EC no tratamento do efluente da Petromoc mostrou-se técnicamente viável, comprovando sua eficácia como alternativa sustentável para o gerenciamento de águas residuais complexas na indústria de petróleo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), & Water Environment Federation (WEF). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (22ª ed.). Washington, DC: APHA.
- Chen, G. (2004). Separation and purification technology. *Separation and Purification Technology*, *38*(1), 11–20. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006.
- Ge, J., Qu, J., Lei, P., & Liu, H. (2004). New developments of separation and purification processes. *Separation and Purification Technology*, *36*(1), 33–39. https://doi.org/10.1016/S1383-5866(03)00178-4
- International Organization for Standardization. (2020). *ISO 5667-10:2020: Qualidade da água — Amostragem — Parte 10: Diretrizes para amostragem de efluentes industriais*. ISO.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 5667-3:2018: Qualidade da água — Amostragem — Parte 3: Preservação e manuseio de amostras de água*. ISO.
- Mansour, L. B., & Kesentini, I. (2008). Removal of pollutants by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, *153*(3), 1067–1072. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.028
- Moçambique. Conselho de Ministros. (2023). *Decreto nº 52/2023, de 30 de agosto: Estabelece os parâmetros legais de descarte de efluentes*. Boletim da República.
- Mollah, M. Y. A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., & Cocke, D. L. (2004). Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, *114*(1–3), 199–210. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009
- Sahu, O., Mazumdar, B., & Chaudhari, P. K. (2014). Treatment of wastewater by electrocoagulation: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, *21*(4), 2397–2413. https://doi.org/10.1007/s11356-013-2208-6
- Silva, C. R. R. (2000). *Água produzida na extração de petróleo* (Monografia de Especialização). Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria, Escola Politécnica, Bahia.
- Souza, J. F., Pereira, M. L., & Almeida, R. T. (2021). *Gestão de efluentes industriais no setor petrolífero*. Editora Engenharia Sustentável.
- Wang, C., Chou, W., & Kuo, Y. (2009). Removal of COD from industrial wastewater by electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*, *164*(1), 81–86. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.07.125
- Wong, Y. C., Moganaragi, V., & Atiqah, N. A. (2013). Adsorption of dyes from aqueous solutions. *Oriental Journal of Chemistry*, *29*(4), 1421–1428.

ARTIGO Nº23558

INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS. DESAFIOS E ADAPTAÇÃO NUM CONTEXTO DE DINAMICAS RECENTES

Veloso-Gomes, Fernando
Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal
Email: velosogomesfvg@gmail.com

RESUMO

As infraestruturas portuárias estão pressionadas por crescentes dinâmicas de expansão económica e da dimensão / especialização dos navios, para além das "ações climáticas naturais" (variabilidade e alterações na ondulação, marés, ventos, correntes) inerentes a sistemas costeiros onde se localizam. Estas dinâmicas exigem infraestruturas operacionais e de segurança mais adaptadas, sustentáveis e resilientes. Considerando as dinâmicas em curso e os principais impactos previsíveis nos ecossistemas, nas infraestruturas, no território e nas populações, serão apresentados de uma forma sintética exemplos de Medidas de Adaptação dos Portos, aplicáveis a nível internacional e em particular, aos Países de Expressão Portuguesa. Constitui um desafio para os portos a adoção de estratégias incorporando um Planeamento e uma Gestão Adaptativos a considerar no modelo de Governação.

***Palavras-chave**:* portos, transportes marítimos, dimensão dos navios, variabilidade e alterações climáticas, medidas de adaptação

ENQUADRAMENTO

Os sistemas costeiros onde os portos se localizam são, pela sua natureza, muito diversificados e dinâmicos: estuários, sistemas lagunares, restingas, baías, ilhas.

Em relação aos portos e sistemas costeiros há que considerar uma complexidade, diversidade e interação de:

- Agentes, Ambientes e Sistemas Naturais.
- Sistemas Sociais / Culturais / Comunicacionais.
- Sistemas Económicos / Energéticos / Institucionais.

Dinâmicas económicas em curso a uma escala mundial, regional e local estão a originar:

- o crescimento dos fluxos dos transportes por via marítima,
- a expansão e especialização das infraestruturas portuárias e
- o aumento das capacidades de carga e dimensões dos navios.

Estes aumentos terão exigências, impactos e riscos a nível portuário e ambiental que poderão não estar a ser cabalmente previstos e assumidos.

As questões climáticas (variabilidade e alterações), o aumento dos fluxos dos transportes por via marítima e o aumento das dimensões dos navios, bem como a sua especialização, exigem medidas de adaptação.

CRESCIMENTO DOS FLUXOS DOS TRANSPORTES POR VIA MARÍTIMA E EXPANSÃO E ESPECIALIZAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS PORTUÁRIAS

Em 2024, registou-se um aumento no comércio marítimo mundial, com projeção de crescimento de 2%. A capacidade de transporte da frota mundial atingiu 2 350 milhões de toneladas de porte bruto (TPB, dwt), com petroleiros e graneleiros representando a maioria. No entanto, o setor também enfrentou desafios como o aumento dos custos de frete, conflitos geopolíticos e riscos climáticos, que tiveram impactos nas rotas comerciais e nas cadeias logísticas.

Em 2024 os portos brasileiros registaram a maior movimentação da história com 1320 milhões de toneladas. Movimentam 95% do comércio exterior sendo peças-chave na economia nacional com crescimento recorde nas exportações e importações.

Os portos públicos brasileiros tiveram um aumento de 5,13%, movimentando 474,38 milhões de toneladas (Figura 1).

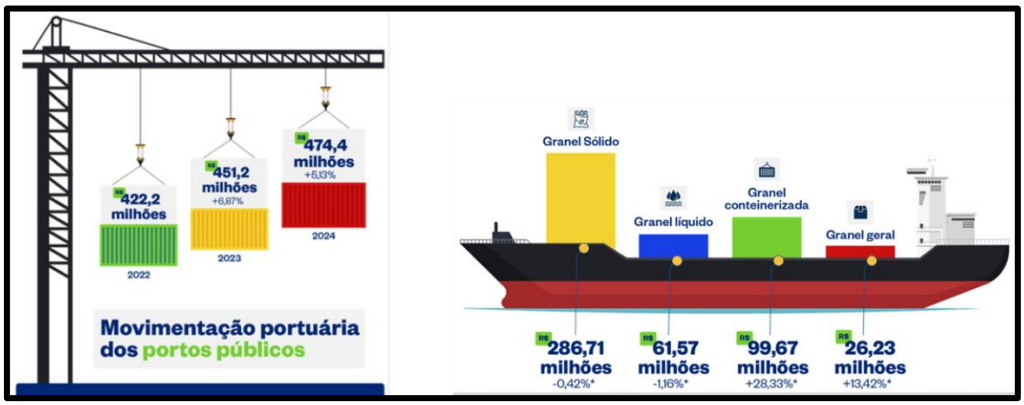


Figura 1. Movimentação nos portos públicos brasileiros entre 2022 e 2024 e distribuição por tipologia de mercadorias (fonte: Gov.br)

O sistema portuário português do continente registou um crescimento global de 6% no volume total de mercadorias movimentadas em 2024, atingindo os 88 milhões de toneladas, face aos 82,8 milhões de toneladas em 2023 (fonte: https://www.portugal.gov.pt).

Trata-se de uma inversão da tendência de declínio do movimento dos portos portugueses nos últimos anos, desde 2016/2017, altura em que se registaram movimentos de 94 e 96 milhões de toneladas, respetivamente, depois de forte crescimento desde 2012.

No aumento de movimentos registados, destacam-se os seguintes aspetos:

- A carga geral fracionada cresceu 3%, ultrapassando os 5,7 milhões de toneladas, com o contributo de Leixões, Aveiro, Figueira da Foz e Setúbal.
- A carga geral contentorizada teve um aumento de 11%, superando as 37 milhões de toneladas. O destaque vai para Sines, que movimentou mais de 23 milhões de toneladas, representando 62% do total deste tipo de carga. Na carga roll-on roll-off (Ro.Ro transporte de veículos) Setúbal registou um ligeiro crescimento (+2%).
- Os Granéis Sólidos registaram um ligeiro decréscimo. Os Granéis Líquidos apresentaram uma subida de 7%, totalizando quase 30 milhões de toneladas, com Sines na liderança com 81% da carga.

Em Moçambique são recentes ou estão em curso grandes dinâmicas e investimentos associados ao aumento dos transportes e especialização realizados por via marítima, frequentemente associados a corredores internacionais (Figura 2).

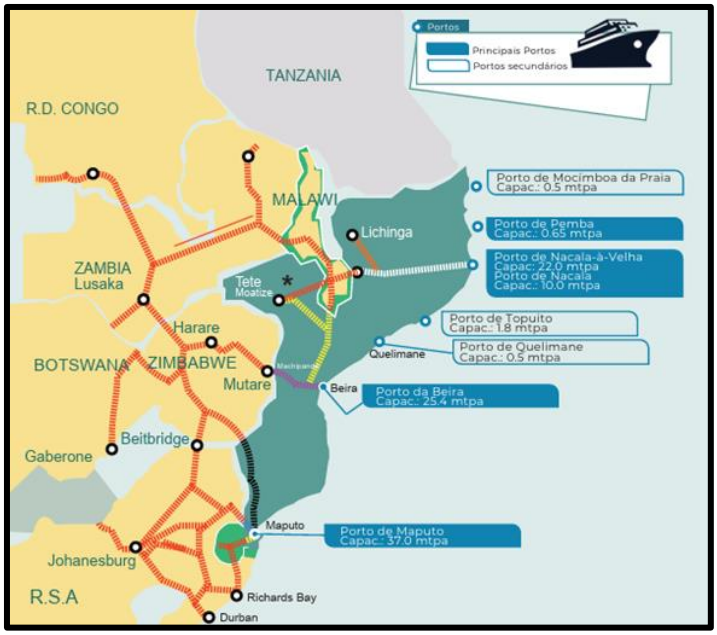


Figura 2. Portos de Moçambique e corredores internacionais

Apresentam-se exemplos dessas dinâmicas.

- Porto de Maputo, no estuário do rio Matola: Expansão do terminal de contentores com um investimento de 164 milhões de dólares, aumento de 250 m para 650 m de comprimento de cais para receber navios de até 366 m (classe pós-Panamax), aumento dos fundos acostáveis de -12 m para -16 m, aumento do parque de armazenagem de contentores para 6,48 hectares, aumento da capacidade do terminal de contentores de 255 mil TEUs para 530 mil TEUs por ano. O projeto de expansão da capacidade do terminal de cereais visa aumentar a capacidade de 170 mil para 350 mil tonelada por ano.
- Porto da Beira, no estuário do Púnguè. Canal dragado em 28 km. Movimento de carga anual: 13,9 milhões de toneladas em 2023, ano em que foi considerado o porto mais eficiente na África austral. Terminais de carga geral, contentores, petróleo. A melhoria de equipamento e informatização permitem um aumento da capacidade anual de movimentação de 4 para 5 milhões toneladas de carga geral e um aumento de 350 para 900 mil TEUs de contentores /ano.
- Porto de Nacala, a Sul da baía de Bengo, abrigado pela Península. O maior porto natural de águas profundas da costa oriental de África. Movimentou 14,8 milhões de toneladas em 2023. Em outubro 2023 concluíram-se oficialmente as obras de reabilitação, expansão e modernização do porto. Em 2024 o crescimento foi de 7,6% (1.4 milhões de toneladas) e ultrapassa os 100 mil contentores (TEU). O terminal de carga geral movimenta 2M toneladas/ano). Aumentou a capacidade de movimentação de contentores de 100 mil para 252 mil toneladas por ano.
- Porto de Pemba, baía de Pemba, abrigado pela Península de Pemba. Canal de acesso extensão 1800 m e 50 m de profundidade. Recentemente ganhou relevância com a implementação dos projetos de gás da Bacia do Rovuma e com a importação de derivados de petróleo. Cais com 135 m de extensão e fundos a -8 ZH. Projeto de expansão do cais de contentores para 500 m. Novo terminal flutuante.

AUMENTO DAS CAPACIDADES DE CARGA E DIMENSÕES DOS NAVIOS

Verifica-se uma clara tendência para o aumento da dimensão dos navios (comprimento, boca, calado) e da capacidade de carga dos mesmos (dwt *deadweight*). Estes aumentos terão exigências, impactos e riscos a nível portuário e ambiental que não estão a ser cabalmente assumidos.

A redução dos custos unitários do transporte de mercadorias não pode ser apenas alcançada através do gigantismo dos navios, sem avaliação dessas exigências e impactos.

Merece reflexão o gigantismo dos mais recentes de navios especializados no transporte de grandes equipamentos (por exemplo pás de torres eólicas), de navios de cruzeiros, de graneleiros (granéis sólidos e líquidos - superpetroleiros), de navios porta-contentores e de navios transportadores de veículos (*Ro.Ro.*).

Os navios de cruzeiro estão a atingir 365 m de comprimento, com uma capacidade de 7 600 passageiros mais 2800 tripulantes (250 000 GT) quando entre 1922 e 1999 os maiores navios tinham cerca de 290 m e transportavam cerca de 2 000 a 2 500 passageiros e 1 000 tripulantes.

Sugiram impactos negativos do aumento da dimensão e da frequência exagerada das escalas em locais turísticos, de que se destacam a excessiva pressão sobre as comunidades residentes, ecossistemas, infraestruturas, segurança…

Como casos críticos a nível internacional, destacam-se pelo mediatismo e reações adversas de populações locais:

- Veneza (Itália)
- Barcelona (Espanha)
- Dubrovnik (Croácia)
- Amesterdão (Países Baixos)
- São Diego (USA)

Os superpetroleiros (ULCC, navios com capacidade superior a 320 000 dwt) estão a ultrapassar os 550 000 dwt, 420 m de comprimento, 65 m de boca e 35 m de calado.

Este gigantismo já tinha sido previsto já na década de setenta do séc. XX.

Em Portugal motivou então a construção de um quebramar de dimensões inéditas no porto de Sines para abrigar um terminal.

Acidentes por ação de temporais resultaram na quase completa destruição desse quebramar nos finais da década de setenta. Os acidentes não podem ser dissociados de uma conceção para o projeto que foi extrapolada para situações de exposição à intensa ondulação e elevadas profundidades quando não havia experiência anterior para essas situações, a uma escala internacional.

Comparando os perfis transversais tipo do projeto inicial com os perfis tipo da reconstrução do quebramar atualmente existente (Figura 3), pode-se concluir que se aprendeu muito com o acidente a nível de projeto, mas os custos foram muito elevados!

As modificações mais relevantes verificam-se a nível de redução das inclinações dos taludes expostos, do aumento da largura do coroamento, do reforço de banquetas e da substituição dos blocos do tipo "*dolos"* de 42 tf (favoráveis sob o ponto de vista hidráulico, mas estruturalmente frágeis) por "*cubos antifer"* de 90 tf.

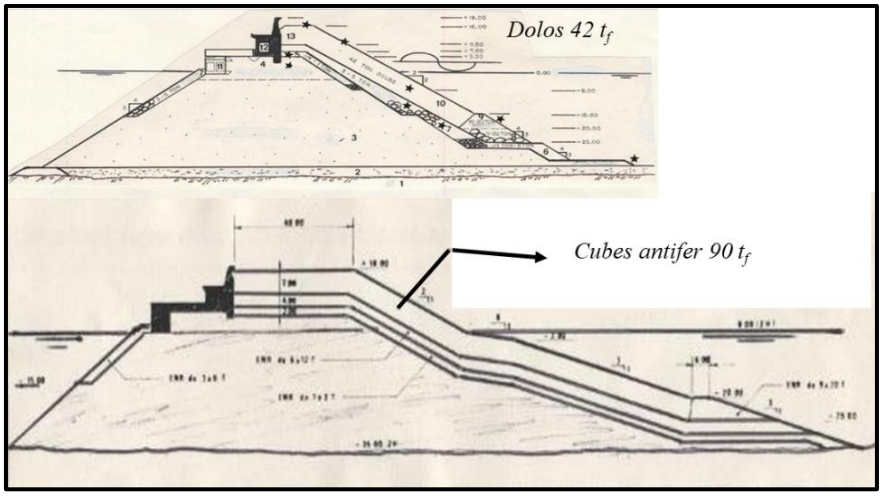


Figura 3. Comparação entre os perfis transversais tipo do quebramar do terminal de grandes petroleiros de Sines, antes dos acidentes por ação das ondas do mar e após a reconstrução.

Em ambientes marítimos menos energéticos (ondulação), a utilização de robustas boias flutuantes para a amarração e interface de descarga de petroleiros constitui uma possível medida de adaptação ao aumento das suas dimensões e capacidade de transporte.

A evolução da capacidade de transporte, em TEUs, dos navios porta-contentores está ilustrada nas Figura 4 e 5.

Este preocupante aumento das dimensões dos navios porta-contentores exige maiores extensões e profundidades de cais acostáveis, maiores áreas de parqueamento para contentores no porto e em centros logísticos, canais de navegação e bacias de rotação mais amplos, equipamentos de cais e de parque muito eficientes, automatização, reforço das redes rodoviárias e ferroviárias de acesso ao *hinterland*.

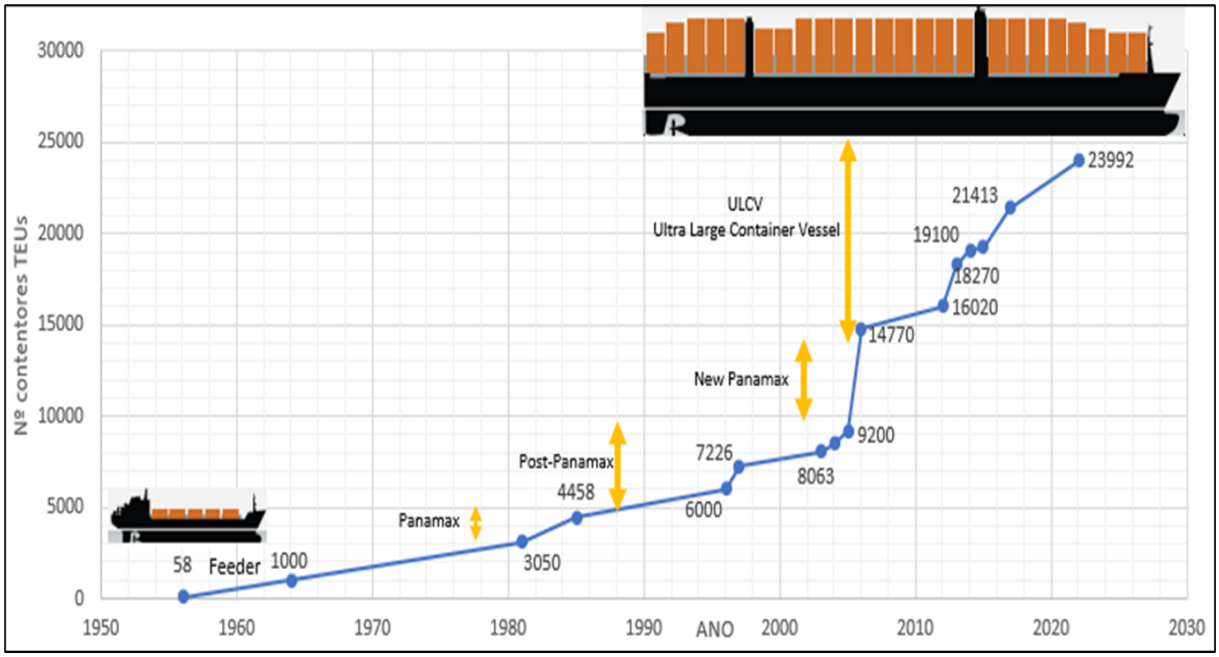


Figura 4. Evolução da capacidade de transporte, em TEUs, dos navios porta-contentores (fontes: McKinsey Analysis 2017, Container-Xchange 2022)

Geração	Designação	Comprimento [m]	Calado [m]	Capacidade [TEU]
1ª [1956-1970]	Converted Cargo Vessel	135-200	<9	500-800
2ª [1970-1980]	CellularContainership	215	10	1 000-2 500
3ª [1980-1988]	PanamaxClass	250-290	11-12	3 000-4 000
4ª [1988-2000]	PostPanamax	275-305	11-13	4 000-5 000
5ª [2000-2005]	PostPanamaxPlus	335	13-14	5 000-8 000
6ª [2006-presente]	New Panamax	397	15,5	11 000-14 500

Figura 5. Evolução das dimensões e capacidade de navios porta-contentores

O acidente de que resultou o bloqueio do canal do Suez em março de 2021 (porta-contentores com 400 m de comprimento e 60 m de boca), com impactos económicos negativos a uma escala mundial, fez soar o alarme para os riscos de navegação inerentes à manobrabilidade de navios de grandes dimensões.

O crescente aumento das dimensões de navios que escalam Angola tornou insuficiente a capacidade dos portos em baías abertas ou protegidas por restingas (Luanda, Lobito).

Surgiram já no Sec. XXI os primeiros quebramares em Angola (Figura 6).

Tiveram impactos não assumidos (erosões graves em Porto Amboim a partir de 2010) ou preocupantes problemas técnicos, atrasos de muitos anos na construção e agravamento de custos (quebramares do Tafe e terminal de águas profundas do Caio, executados em Cabinda a partir de 2018).



Figura 6. Quebramares relativamente recentes em portos angolanos.

Nos maiores portos existentes, nomeadamente Luanda e Lobito, verifica-se uma acentuada expansão portuária com aterros sobre o plano de água da baía, numa procura de cais com maiores profundidades e novas áreas de parqueamento mas também por pressão imobiliária (Figura 7).



Figura 7. Comparação da linha de costa na Baía de Luanda (porto de Luanda) entre janeiro de 2000 e fevereiro de 2016, evidenciando os aterros efetuados (POP, Veloso Gomes 2016).

VARIABILIDADE CLIMÁTICA E ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

A localização, o planeamento e o projeto de portos e infraestruturas portuárias sempre tiveram em consideração o clima ao largo e local, nomeadamente em relação a ondas, marés e correntes.

A uma escala de projeto de engenharia (20, 50, 100 anos) esse clima local evidencia uma variabilidade ao longo dos ciclos de maré, dos dias do ano, das estações e dos anos. Daí a consideração de períodos de retorno associados a eventos extremos, valores médios, significativos e extremos, espetros e distribuição de frequências de agitação marítima, rosas de ventos e correntes, entre outros. É a Variabilidade Climática.

Mas num contexto de Alterações Climáticas, para além da variabilidade natural, podem surgir alterações (manifestadas por tendências a uma escala de décadas) nos espetros, nas intensidades e nas frequências de ocorrência:

- Temperaturas da água
- Rumos dos ventos
- Rumos da agitação
- Marés meteorológicas
- Correntes (intensidade, rumos)
- Trajetórias, duração, intensidade e frequência dos temporais
- Alturas e períodos das ondas
- Balanços sedimentares
- Níveis de água superficial, incluindo nível médio das águas do mar
- Níveis de águas freáticas
- Temperaturas e salinidade das águas

- Escoamento superficial proveniente das bacias hidrográficas (caudais, sedimentos, nutrientes, composição química).

Os portos, sendo infraestruturas vitais para a esmagadora maioria dos Países, autênticos pilares estratégicos das trocas comerciais e portanto da economia, têm infraestruturas que geram ou potenciam impactes ambientais desfavoráveis: Danos e acidentes, erosões e sedimentações (alteração do balanço sedimentar), emissões sólidas, líquidas e gasosas, destruição e alteração de habitats, artificialização das paisagens, geração de tráfico terrestre, entre outros.

Estes impactes ambientais nem sempre foram assumidos na internalização dos custos de exploração portuária (Figura 8).

O mesmo estará a ocorrer com o aumento acentuado das dimensões dos navios.

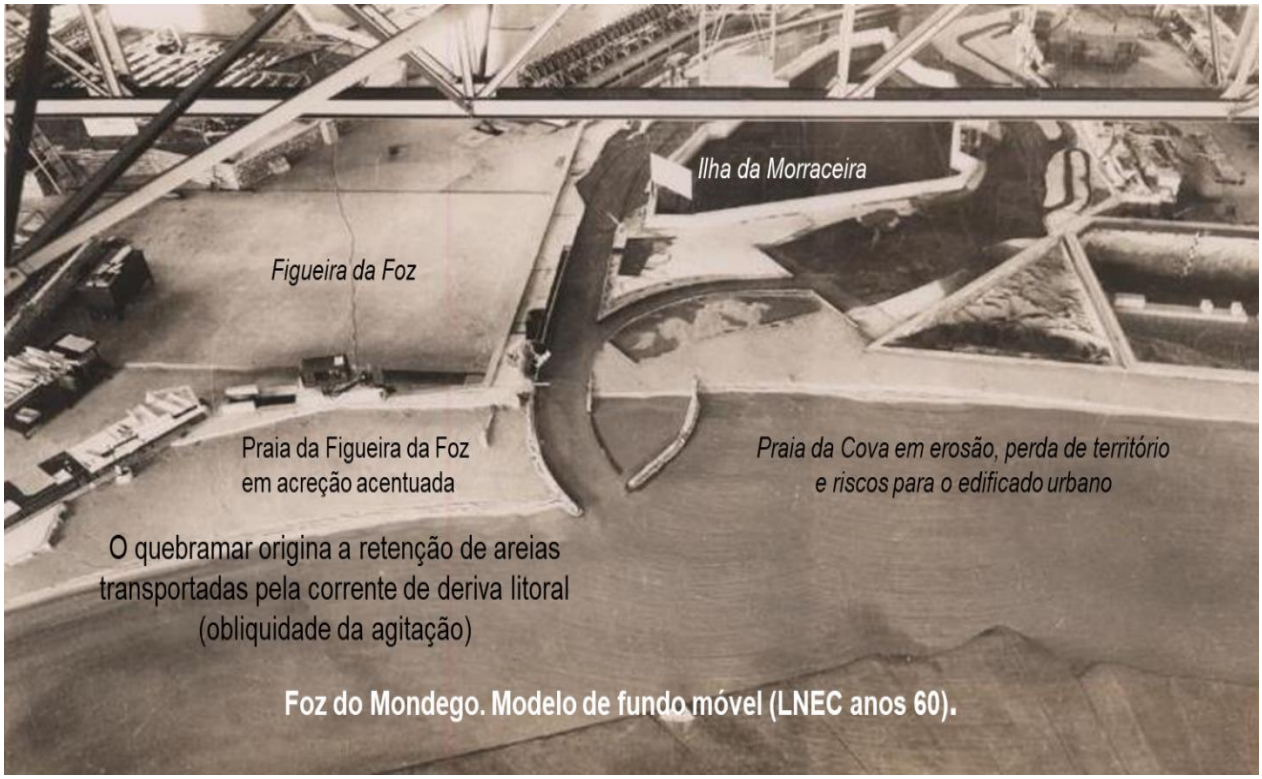


Figura 8. Apesar dos impacto fisiográficos negativos dos quebramares e canais de navegação terem sido há muito previstos e verificados, a responsabilidade da sua mitigação frequentemente não é assumida pelas entidades gestoras portuárias e autoridades nacionais.

As alterações climáticas muito provavelmente agravarão e tornarão mais imprevisíveis os problemas já existentes nas zonas costeiras e nos portos, muitos dos quais de origem antrópica local ou regional.

No Planeamento para o futuro a incerteza deverá ser considerada como uma certeza pelo que é necessário trabalhar com Cenários. Evitar crises passa por estratégias que incorporem a gestão de riscos naturais (variabilidade, alterações) e antrópicos.

A quantificação de riscos tem evoluído muito nos últimos anos mas continua a ser muito problemática face às limitações na capacidade de previsão de acontecimentos extremos (probabilidades conjuntas), na quantificação antecipada de fatalidades (vidas e feridos) e do "valor" dos sinistros, do "valor" das áreas terrestres e bens que poderão desaparecer, dos valores

cénicos e ambientais, das incidências nas atividades económicas, da eficiência a médio e longo termo de medidas estruturais de intervenção.

Mas no presente qual é a Perceção Institucional dos Riscos? E a Perceção Pública dos Riscos?

Existe uma grande diversidade de situações entre países, sociedades e instituições.

É necessária prevenção e planeamento com horizontes de projeto de médio e longo prazo.

Na Figura 9 apresentam-se possíveis cenários de alteração dos rumos da agitação marítima que incide no porto de Leixões em Portugal. O porto, através dos seus quebramares, está preparado e é muito eficaz na proteção em relação a temporais provenientes dos rumos históricos dos quadrantes W até NW. Uma mudança de rumos dos temporais poderá originar "fechos da barra à navegação", situação que muito raramente até agora ocorreu.

Também em relação às praias, a situação poderá vir a alterar-se de acordo com as representações de cenários da Figura 10.



Figura 9. Cenários de alteração dos rumos dominantes de agitação marítima numa infraestrutura portuária protegida com quebramares (porto de Leixões, Portugal).

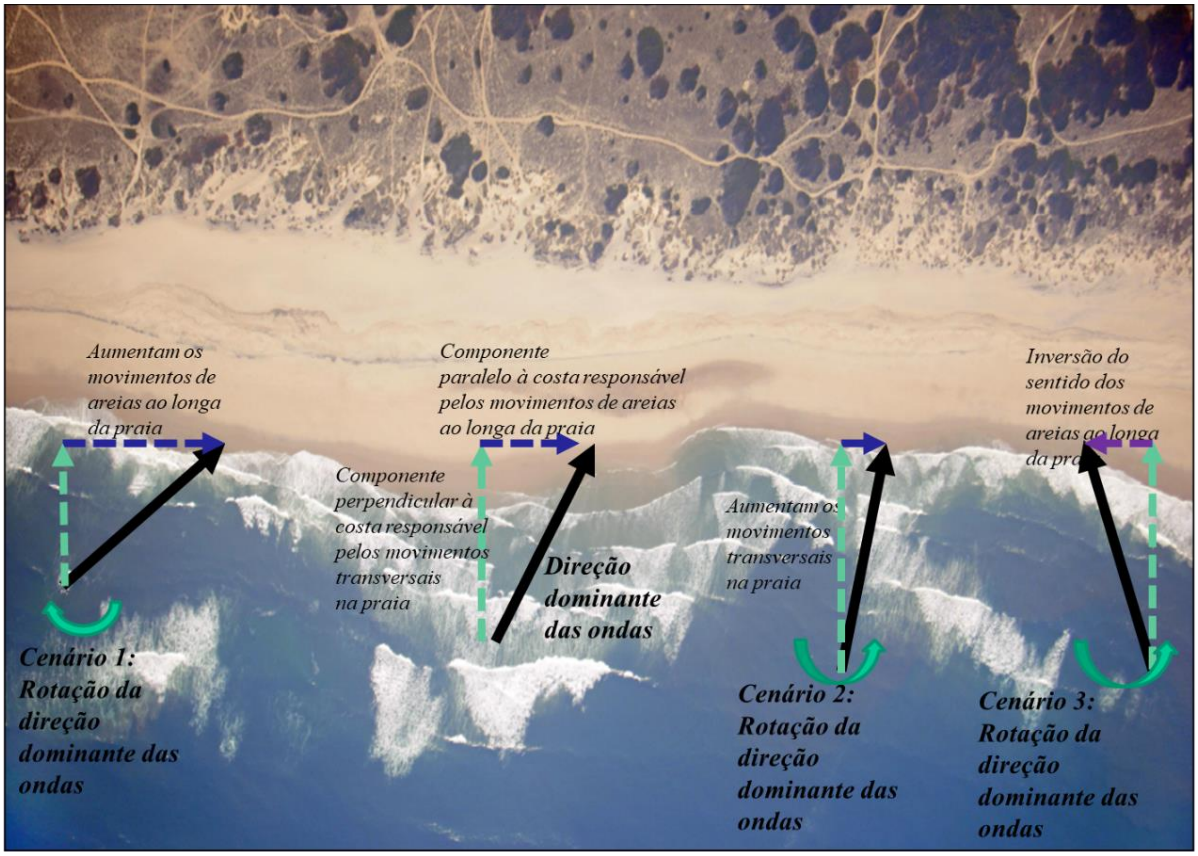


Figura 10. Cenários de alteração dos rumos dominantes de agitação marítima com incidência numa praia, com implicações nos balanços sedimentares.

Sofia Valente, Veloso-Gomes (2020) sintetizam, em artigo científico, um vastíssimo trabalho de doutoramento sobre a Adaptação Climática costeira em cidades portuárias com vista à identificação de déficits, barreiras e desafios futuros (tese de doutoramento: Adaptative Planning for Coastal Climate Adaptation in Port-Cities - Integrating Adaptation Pathways into Planning Instruments)

Isabel Iglesias et. al (2022) apresentam o desenvolvimento de modelos hidrodinâmicos, utilizando técnicas de Ensembles, para projeções de Alterações Climáticas em regiões estuarinas. Historicamente muitos dos portos localizam-se nos estuários não só beneficiando de proteção natural em relação à agitação marítima, mas também porque os estuários favorecem ligações fluviais com vastos territórios interiores (Projeto FCT EscoEnsembles, coordenador Veloso-Gomes).

Loza, P., Veloso-Gomes, F. (2023), através de uma revisão sistemática de literatura científica, identificam os trabalhos internacionais mais relevantes desenvolvidos no âmbito da incorporação de Medidas de Adaptação às Alterações Climáticas na conceção de novos portos e de outros projetos marítimos, identificando também as principais lacunas de conhecimento (tese de doutoramento).

A Figura 11 ilustra o que está em causa nos portos: são alterações ou mudanças globais.

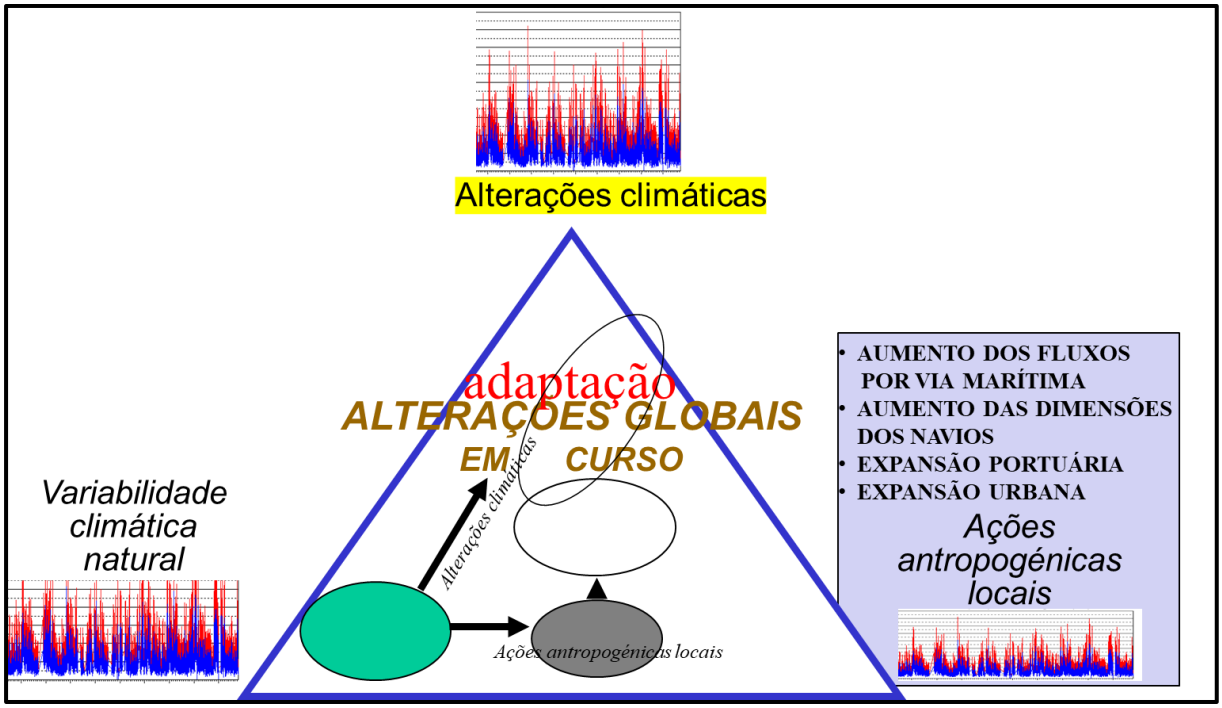


Figura 11. Alterações ou mudanças globais nos portos e zonas costeiras

ADAPTAÇÃO DOS PORTOS

A Governança dos sistemas hídricos onde estão inseridos os portos, com o suporte da educação, investigação (ciência e tecnologia) e da sensibilização, exige:

- Diagnóstico,
- Envolvimento da sociedade civil e utilizadores,
- Estabelecimento de princípios e objetivos,
- Formulação de cenários e de estratégias coerentes,
- Prioridades na decisão,
- Implementação de Políticas / Programas Adaptativos,
- Projetos,
- Planos de contingência
- Regulação e responsabilização,
- Monitorização/avaliação,
- Reformulação (ciclos evolutivos)

A pobreza, a corrupção, a incompetência e a falta de recursos humanos não possibilitam um modelo de Governança eficaz. Aprende-se com as Boas Práticas e com as Más Práticas.

A Adaptação deve fazer parte do processo decisório, do planeamento e dos projetos.

Considerando as dinâmicas em curso e os principais impactos previsíveis, as Figuras 12 e 13 apresentam de uma forma sintética exemplos de possíveis Medidas de Adaptação dos Portos, aplicáveis a nível internacional e em particular, aos Países de Expressão Portuguesa.

Estas Medidas enquadram-se em Domínios como:

- Planeamento e Ordenamento Estratégicos e Adaptativos.
- Engenharia e Gestão portuária,
- Cadeias Logísticas.

- Segurança e Gestão de Riscos.
- Integração nos ambientes naturais e edificados envolventes.
- Eficiência Energética
- Governança.

Medidas de Adaptação a considerar nos portos. Exemplos.

DOMÍNIOS	MEDIDAS
Planeamento Ordenamento	Estratégico de médio e longo prazo
	Adaptativo às Alterações Climáticas e às Dinâmicas Económicas
	Avaliação Ambiental Estratégica de alternativas
	Análises integradas custo / benefício / eficácia
Infraestruturas e edificações existentes	remoção / reconversão / relocalização (se mais favorável)
Adoção de zonas tampão (segurança e ecossistemas)	para a edificabilidade e atividades portuárias
Consideração de cenários de projeto mais prováveis e também os mais gravosos	aumento das ações de projeto (altura de onda, espetro direcional, ….)
	consideração de ações e efeitos persistentes e cumulativos
	consideração nos projetos de "incertezas"
	Planeamento Adaptativo
Estruturas portuárias	terminais especializados
	aumento das ações de projeto
	aumento das cotas e larguras dos coroamentos das estruturas
	reforço estrutural e das fundações
	redução de ângulos de taludes
Quebramares e outras estruturas portuárias nomeadamente de acostagem e amarração	construção de novos quebramares (se necessário) ou estruturas
	alteração da conceção, extensão e das configurações em planta
Docas, canais e bacias de rotação	aumento das profundidades e larguras
Dragagens	aumento das dragagens de primeiro estabelecimento e de manutenção
	gestão racional de sedimentos dragados incorporando-os no trânsito sed imentar, nos aterros, nas praias e nos custos de gestão portuária
Terraplenos e "portos secos" para parqueamento e armazenamento	construção, aumento, relocalização
	alteração de cotas, pavimentos e sistemas de drenagem
Equipamentos de cais e estiva	modernização e especialização
	aumento da capacidade e rentabilidade

Figura 12. Medidas de adaptação dos portos a dinâmicas recentes em diversos domínios

Medidas de Adaptação a considerar nos portos. Exemplos.

DOMÍNIOS	MEDIDAS
Planeamento Ordenamento	Estratégico de médio e longo prazo
Cadeias logísticas	integração, reforço, eficiência
	melhoria das acessibilidades terrestres, fluviais e ferroviárias
	automatização, informatização
Segurança e Eficiência	aumento das exigências
	programas, planos e meios eficazes
	programas de manutenção
	prevenção e controlo da poluição
	prevenção e controlo de acidentes
	pré-alertas e proteção civil
Integração	no tecido urbano
	nos ambientes naturais envolventes e na paisagem
	recriação e recuperação de habitats
	diálogo e gestão de conflitos com os utilizadores e com as comunidades
Eficiência e transição energética	prioridade em todo o sistema portuário e cadeia logística
Gestão Governança	eficácia (visão e missão, funções e responsabilidades, coerências das políticas e coordenação, capacitação, base técnica e científica), eficiência, confiança, integridade, comprometimento

Figura 13. Medidas de adaptação dos portos a dinâmicas recentes em diversos domínios

CONCLUSÕES

A Adaptação dos portos ao trinómio (1) crescimento dos fluxos dos transportes por via marítima, (2) expansão e especialização das infraestruturas portuárias e (3) aumento das capacidades de carga e dimensões dos navios, deverá conduzir a objetivos estratégicos prioritários, exigindo abordagens e ações a nível de planeamento estratégico, ordenamento, impacto ambiental, projeto, manutenção e operacionalidade.

As ações de resposta às mudanças antrópicas locais ou regionais a atividades económicas e à ocupação de territórios ribeirinhos podem ser complexas e exigir avultados investimentos.

A Adaptação dos portos às Alterações Climáticas não pode ser dissociada da Adaptação aos outros vetores referidos já que estão a ocorrer em simultâneo, sendo difíceis de dissociar em termos de impactos previsíveis e de medidas de mitigadoras ou de adaptação.

Estas dinâmicas globais muito provavelmente agravarão e tornarão mais imprevisíveis os problemas de acessibilidade, segurança e operacionalidade nos portos (alterações hidrodinâmicas e sedimentares, morfologias, galgamentos com inundações, agitação e correntes).

Constitui um desafio para os portos a adoção de estratégias incorporando um Planeamento e uma Gestão Adaptativos a considerar no modelo de Governação.

A "variabilidade", as "alterações", as "mudanças" e, portanto, as incertezas estão e estarão cada vez mais presentes não só em resultado das "ações naturais" inerentes a sistemas costeiros, mas também devido a crescentes dinâmicas climáticas e económicas. Implicam infraestruturas operacionais e de segurança mais adaptadas e resilientes.

As Ações e as Medidas de Adaptação dos portos às Alterações Climáticas não devem ser dissociadas das Medidas de Adaptação dos portos ao progressivo aumento dos fluxos de mercadorias e das dimensões dos navios. Estes induzem impactes que deverão ser previamente avaliados e internalizados nos custos de operação portuária e nos territórios envolventes. Por conseguinte também terão impactes nos transportes marítimos e nos seus custos pelo que as formulações de otimização das dimensões dos navios terão de as equacionar.

REFERÊNCIAS

Baptista P., Coelho C., Pereira C., Benardes C., Veloso Gomes F. Beach morphology and shoreline evolution: Monitoring and modelling medium-term responses (Portuguese NW coast study site). Coastal Engineering, nº 84, 23-37, 2014.

Coelho, C., Silva, R., Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. Potential effects of climate change on northwest portuguese coastal zones. ICES Journal of Marine Science, 1497-1507, 2009.

Isabel Iglesias; José Luís Pinho; Paulo Avilez Valente; William Melo; Ana Bio; Ana Gomes; José Vieira; Luísa Bastos; Fernando Veloso Gomes. Improving Estuarine Hydrodynamic Forecasts Through Numerical Model Ensembles. Frontiers in Marine Science Vol. 11 p. 18 DOI: 10.3389/fmars.2022.812255, 2022.

Loza, Pedro; Fernando Veloso Gomes. Literature Review on Incorporating Climate Change Adaptation Measures in the Design of New Ports and Other Maritime Projects. Sustainability Vol. 15 p. 4569. DOI: 10.3390/su15054569, 2023.

Painel III: Infraestruturas De Transporte E Mobilidade Urbana

22183 CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NA CIDADE DE MAPUTO E SUAS ASSOCIAÇÕES COM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS. Belzénia Matsimbe; Sara Ferreira. 257

22213 ANÁLISE DA MOBILIDADE URBANA NA CIDADE DA BEIRA: UM ESTUDO SOBRE TRANSPORTES PÚBLICOS E SEMICOLECTIVOS. Ernesto Augusto E. Vicente; Felisberto A. Lima; Lucas S. Lucas. 259

22222 MAPEAMENTO DE TRECHOS VULNERÁVEIS A INUNDAÇÕES NA REDE VIÁRIA DE SOFALA EM MOÇAMBIQUE USANDO O PROCESSO DE HIERARQUIZAÇÃO ANÍLICA. Felisberto António Lima; Agostinho Benta. 269

22494 ANÁLISE DA SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA NA EN1, MANHIÇA. Érica R. C. Lifaniça; Amuza J. Sande. 285

22498 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS ASSOCIADOS PARA A ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. João Falcão e Cunha. 287

23268 DEGRADAÇÃO PRECOCE DE PAVIMENTOS DE PAVÊ EM MOÇAMBIQUE - POTENCIAIS CAUSAS. José A. Walters Monteiro. 289

23457 PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DA PASSAGEM DE NÍVEL DA MACHAVA, PARA OS PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM) - REGIÃO SUL. Karen F. Herculano; Fernando H. Chachaia. 291

23460 O PAPEL DA AMT E DO PROJETO MOVE-MAPUTO NO FUTURO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM MOÇAMBIQUE. António Matos; Fátima Arthur; João Falcão e Cunha. 293

23466 MODELO DE NEGÓCIO NOS TRANSPORTES PÚBLICOS EM MAPUTO. António Matos; Armando Bembele; Edilio Matsena. 301

23467 A REFORMA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS NA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. António Matos; Armando Bembele; Anulávio Máximo; Edilio Matsena. 311

23469 PLANO DIRECTOR DA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO. António Matos; Armando Bembele. 329

23476 RE-DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO DA AVENIDA DA ONU, CIDADE DE MAPUTO. G. Gimo, A. Zandamela, J. Diogo. 339

23481 UMA NOVA ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE TRÁFEGO BASEADO NOS UTILIZADORES. Cristina Vilarinho; Rosaldo Rosseti; José Pedro Tavares. 345

23483 ANÁLISE AOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM MAPUTO. António Matos; Amade Mussagy. 357

23488 MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS DE INFORMAÇÃO E PAGAMENTO PARA ÁREAS METROPOLITANAS. Marta Campos Ferreira; Joaquín Romero de Tejada; João Falcão e Cunha. 369

23506 DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA A MOBILIDADE DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS DE MAPUTO. Amuza J. Sande 371

ARTIGO Nº22183

CARACTERIZAÇÃO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NA CIDADE DE MAPUTO E SUAS ASSOCIAÇÕES COM VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Belzénia Matsimbe[1, (*)], Sara Ferreira[2]

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, CITTA - Porto, Portugal
[2] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, CITTA - Porto, Portugal
[(*)] *Email:* up202408583@up.pt

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o estudo da associação da frequência, severidade e tipologia dos acidentes de trânsito ocorridos na Cidade de Maputo, com as variáveis climáticas, temperatura e precipitação. Será efetuada uma análise estatística univariada, tanto dos dados dos acidentes, quanto das variáveis climáticas, e posteriormente avaliada a associação entre os dois conjuntos de variáveis através do coeficiente de correlação linear. Ao final, espera-se compreender as tendências de evolução dos acidentes de trânsito na Cidade de Maputo e a sua dinâmica de relacionamento com a temperatura e precipitação.

***Palavras-chave**:* acidentes de trânsito, temperatura, precipitação, correlação linear.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas podem agravar os problemas de infraestrutura rodoviária existentes em Moçambique, contribuindo para o aumento da severidade e frequência de acidentes de trânsito, tal como descrito por Sadeghi & Goli (2024).

Existe um consenso entre diversos estudos da existência de uma correlação linear significativa entre acidentes de trânsito e variáveis climáticas (Rodrigues & Fernandes, 2015; Hammad et al., 2021). Os autores divergem quanto à magnitude da associação e à tipologia de acidente mais afetada pelas variáveis climáticas, o que pode ser explicado pelas diferenças de contexto dos estudos.

Diante desse cenário, surge a necessidade de compreender as características dos acidentes de trânsito e as associações destes com as variáveis climáticas, no contexto local. A escolha da Cidade de Maputo como contexto de estudo, justifica-se pelo facto desta ter os mais elevados índices de sinistralidade rodoviária de Moçambique na atualidade. Este conhecimento pode ser útil no desenvolvimento de estratégias de prevenção de acidentes de trânsito.

REFERÊNCIAS

Hammad, M.A., Khalaf, A.M., Jabbar, A.U.R., An assessment of the climatic characteristics and their impact on the traffic accidents in the City of Ramadi, Auricle Technologies, Vol. 57, pp 5088-5095, 2021.

Rodrigues, S.A., Fernandes, P.G., Avaliação das características dos acidentes de trânsito do Município de Botucatu e suas associações com as condições climáticas, Tekhne e Logos, 2015.

Sadeghi, P., Goli, A., Investigating the impact of pavement condition and weather characteristics on road accidents, International Journal of Crashworthiness, 2024.

ARTIGO Nº22213

ANÁLISE DA MOBILIDADE URBANA NA CIDADE DA BEIRA: UM ESTUDO SOBRE TRANSPORTES PÚBLICOS E SEMICOLECTIVOS

Ernesto Augusto E. Vicente[1](*), Felisberto A. Lima[2](*), Lucas S. Lucas[3](*)

[1]Universidade Licungo – Dondo, Moçambique
[2]Universidade Licungo – Dondo, Moçambique
[3]Universidade Licungo – Dondo, Moçambique
[1] (*) *Email*: vicenteernesto330@gmail.com
[2] (*) *Email*: felisbert.lima@gmail.com
[3] (*) *Email*: llucas@unilicungo.ac.mz

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise crítica da mobilidade urbana na cidade da Beira, Moçambique, focando na eficácia dos sistemas de transporte público e semicolectivo de passageiros. Em um cenário de urbanização acelerada, infraestrutura viária deficiente e crescimento populacional, a pesquisa avaliou indicadores como acessibilidade, conectividade, qualidade do pavimento e eficiência operacional dos transportes. A metodologia adotada incluiu análises geoespaciais, levantamentos de campo, questionários e entrevistas. Os resultados revelam um sistema de mobilidade fragilizado, caracterizado por longos tempos de deslocamento, sobrecarga das rotas, degradação da infraestrutura e ausência de mecanismos tecnológicos de gestão. Diante desse diagnóstico, propõem-se intervenções multissetoriais que abrangem a requalificação da malha viária, a modernização do sistema de transporte e a incorporação de soluções digitais, visando a sustentabilidade, a inclusão social e a melhoria da qualidade de vida urbana na Beira.

Palavras-chave: Mobilidade urbana; Transporte público e semicolectivo; Indicadores urbanos; Cidade da Beira."

INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um pilar crucial para o desenvolvimento sustentável das cidades contemporâneas, assegurando o acesso equitativo da população aos serviços urbanos essenciais (Bellen, 2002). Sua eficácia depende da integração de múltiplos fatores, como infraestrutura física adequada, políticas públicas eficazes, sistemas de transporte organizados e um planeamento urbano coeso (Costa et al., 2017; Teixeira, 2014). Contudo, no contexto africano, e de forma acentuada em Moçambique, os desafios da mobilidade urbana são intensificados por uma urbanização rápida e, muitas vezes, desordenada, aliada a uma infraestrutura viária desfasada (Meneses, 2020).

A cidade da Beira, a segunda maior aglomeração urbana de Moçambique, exemplifica um cenário preocupante em relação à mobilidade. O sistema de transportes, particularmente os serviços públicos e semicolectivos, tem demonstrado ineficiências significativas que afetam a fluidez dos deslocamentos diários e comprometem diretamente a qualidade de vida dos seus cidadãos. A precariedade das vias, a sobrecarga dos veículos e a falta de um controle centralizado são fatores que contribuem para a desestruturação do ambiente urbano. Diante

deste panorama, o presente estudo propõe-se a analisar sistematicamente os padrões de mobilidade na cidade da Beira, com o objetivo de identificar os principais entraves operacionais e estruturais do sistema de transporte coletivo urbano.

O transporte formal na cidade da Beira é representado principalmente pelos autocarros municipais, como indica a Figura 1.



Figura 1: Autocarros (TMB)
Fonte: https://opais.co.mz/municipio-da-beira-adquire-cinco-autocarros

Os transportes semicolectivos, popularmente conhecidos como “chapas”, constituem a maior parte da oferta de transporte urbano, conforme ilustrado na Figura 2



Figura 2: Minibus (chapas) (Fonte: Autores, 2024)

Além dos chapas, os mototáxis também têm ganhado destaque, especialmente em áreas periféricas. A Figura 3 mostra ambos os meios em operação.



Figura 3: Mototaxis (Fonte: Autores, 2024)

METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos propostos, adotou-se uma metodologia de natureza mista, combinando abordagens quantitativas e qualitativas. A pesquisa foi desenvolvida entre dezembro de 2023 e outubro de 2024, período durante o qual foram realizadas diversas etapas

de coleta e análise de dados. Inicialmente, utilizaram-se ferramentas de geoprocessamento, com os *softwares* ArcGIS 10.5 e Google Earth Pro, para o mapeamento detalhado das rotas urbanas e a identificação de zonas críticas de acessibilidade e conectividade.

A distribuição espacial das rotas urbanas analisadas neste estudo pode ser visualizada na Figura 4, que apresenta o mapeamento gerado em SIG.

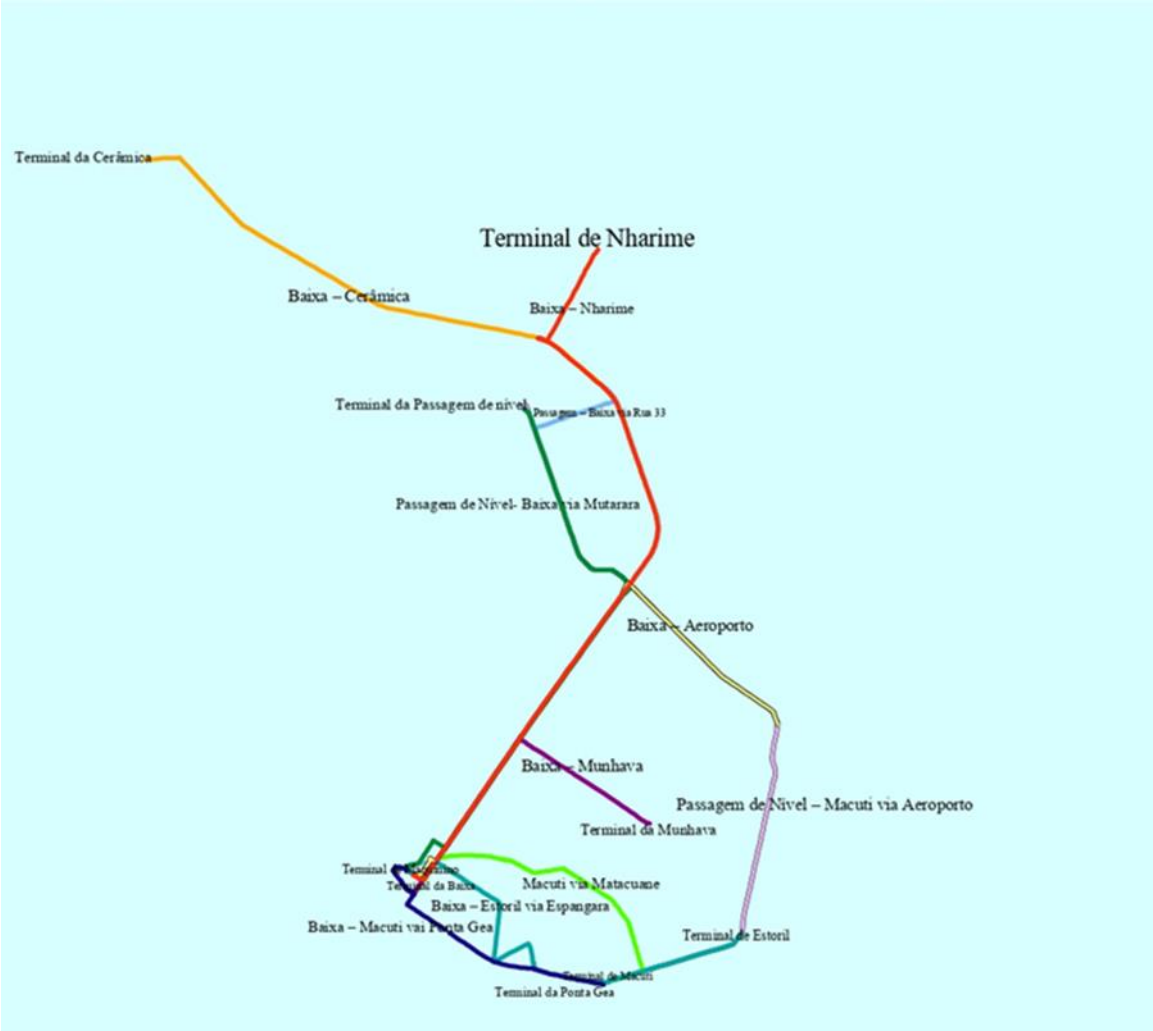


Figura 4: mapa das principais rotas da cidade da Beira

Complementarmente, a coleta de dados qualitativos e quantitativos incluiu:

- Aplicação de 130 questionários a usuários dos transportes públicos e semicolectivos, visando captar suas perceções sobre a qualidade dos serviços oferecidos.
- Realização de 26 entrevistas semiestruturadas com motoristas, para um entendimento aprofundado das condições operacionais diárias.
- Execução de observações diretas e inspeções visuais da malha viária, que subsidiaram o cálculo do Índice de Qualidade de Pavimento (IQ).

Por fim, procedeu-se à comparação entre os tempos de viagem ideais (baseados em uma velocidade média de 60 km/h) e os tempos reais observados em campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos evidenciam que a mobilidade urbana na cidade da Beira encontra-se significativamente comprometida por múltiplos fatores interativos. As análises revelaram uma disparidade substancial entre os tempos de viagem ideais e os efetivamente praticados nas principais rotas urbanas.

Em rotas como a Passagem de Nível – Baixa via Mutarara, foi observado que o tempo real de viagem chegou a ser três vezes superior ao tempo ideal estimado. Essa discrepância reflete diretamente o impacto de fatores como congestionamentos viários, a má conservação da malha rodoviária e as paragens frequentes, que afetam a fluidez do trânsito.

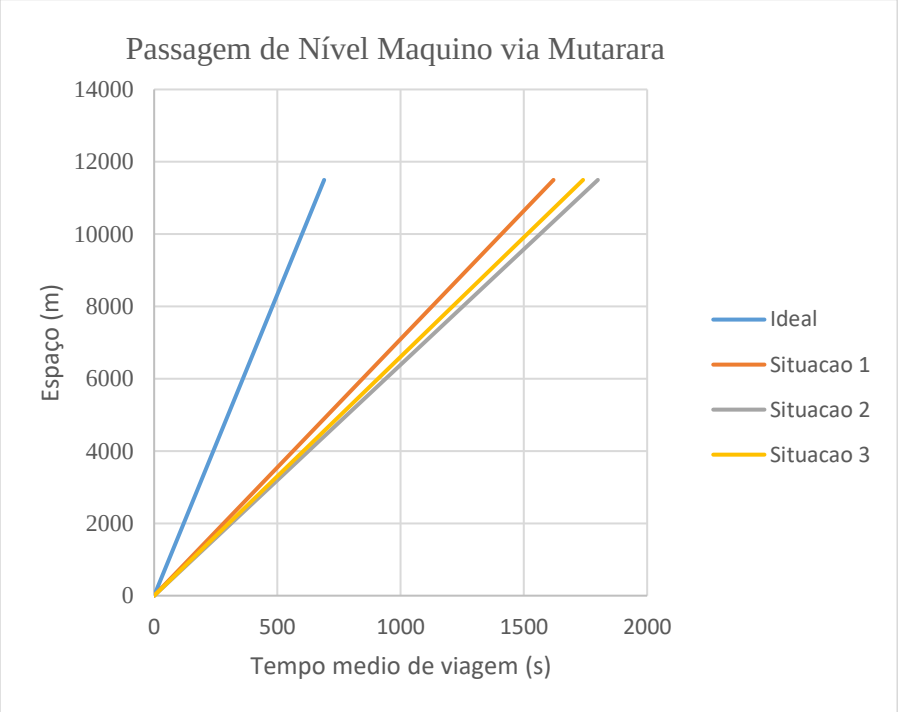


Figura 5: Tempo de viagens da rota Passagem de nível - Baixa via Mutarara

A avaliação da qualidade do pavimento, quantificada pelo Índice de Qualidade de Pavimento (IQ), revelou que aproximadamente 60% dos trechos analisados encontram-se em estado "ruim" ou "muito ruim". Essa condição é caracterizada pela presença generalizada de buracos, erosão superficial, ausência de sistemas de drenagem eficazes e desgaste acentuado do revestimento. Tais fatores não apenas comprometem diretamente a segurança e o conforto dos usuários, mas também impõem um ônus económico significativo aos operadores de transporte, resultando em custos de manutenção elevados e na redução da vida útil dos veículos.
A rota Passagem de Nível – Baixa via Mutarara foi dividida em 12 troços para análise detalhada. As Figuras 5 a 16 mostram as condições visuais de cada um desses trechos.

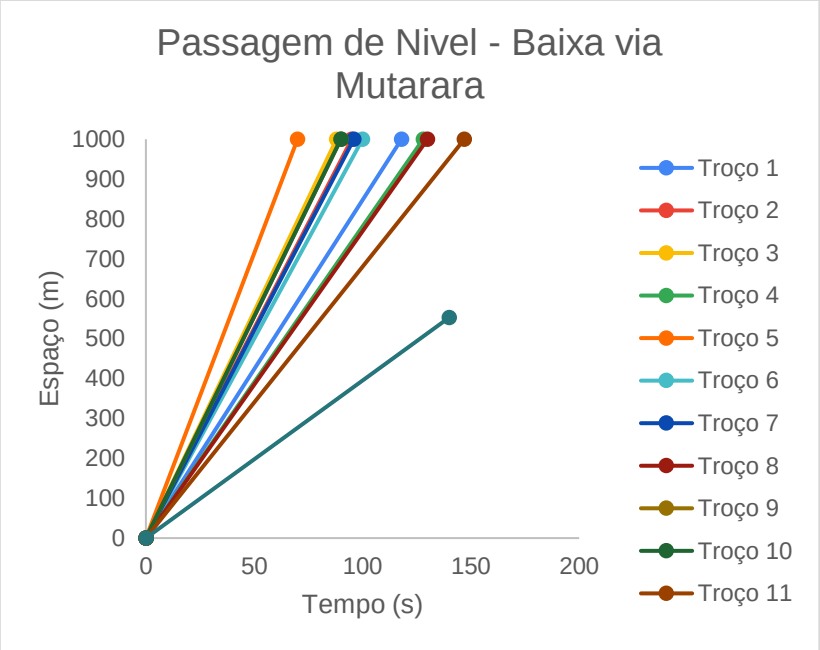


Figura 6: Tempo de Viagem por troço na Rota Passagem de Nível – Baixa via Mutarara
Fonte:Dados elaborados pelos autores a partir de medições de campo realizadas em Setembro de 2024

A análise da mobilidade urbana na cidade da Beira revela um cenário complexo, caracterizado por desafios significativos que afetam a vida quotidiana dos seus habitantes.

- **Transporte Semicolectivo e Demografia:** As zonas de Munhava, Maquinino e Manga, que concentram grande parte da população, dependem fortemente do transporte semicolectivo, conhecido localmente como "chapas". A informalidade na operação desse sistema acarreta diversos problemas: desrespeito às rotas preestabelecidas, superlotação frequente dos veículos e ausência de horários regulares. A sobreposição de linhas e a falta de um planeamento integrado saturam as vias e fomentam uma competição desleal entre os operadores.
- **Custos Operacionais:** O aumento do preço dos combustíveis entre 2023 e 2024 impactou severamente os motoristas, elevando seus custos diários em cerca de 27%. Essa situação evidencia a necessidade urgente de intervenção governamental, seja através de subsídios diretos ou da redução de taxas aplicáveis ao setor, para garantir a sustentabilidade do sistema. Conforme se pode observar nas figura 7 e 8 abaixo o consumo medio de combustível por viagem.

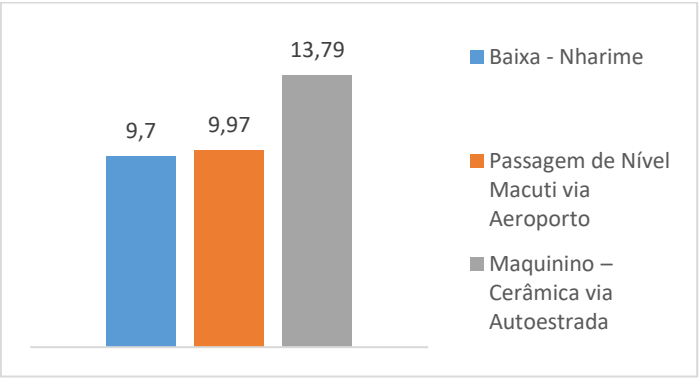


Figura 7: Transporte Municipal

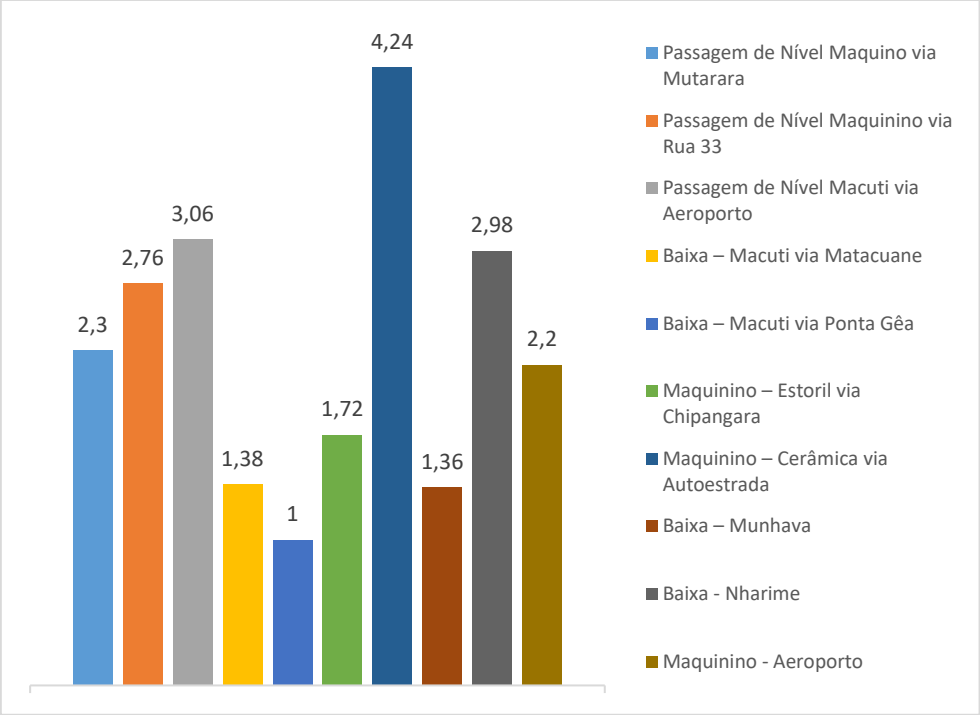


Figura 8: Transportes Semicoletivos

- **Perceção dos Utentes:** Uma pesquisa com os utilizadores do transporte público revelou um alto nível de insatisfação: 74% relataram superlotação frequente, 68% queixaram-se da falta de pontualidade e 81% afirmaram desconhecer os horários e rotas com clareza. Esses dados apontam para graves falhas na gestão da informação e na organização dos serviços. De acordo com a Figura 9 e 10

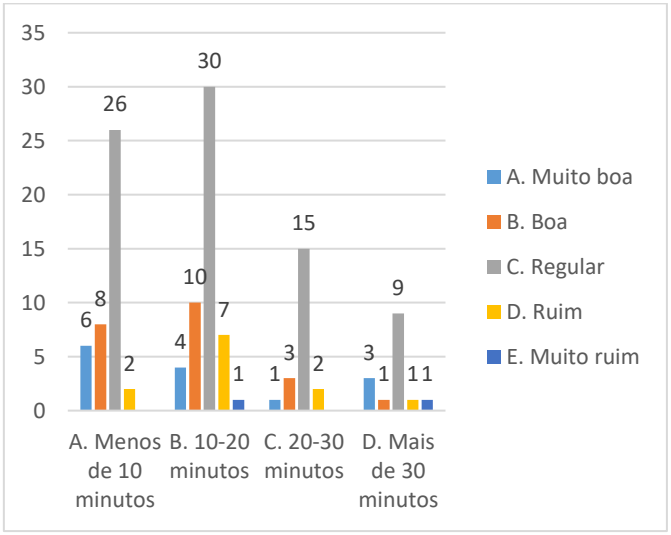


Figura 9: Tempo de espera e frequência de transportes

Fonte: Pesquisa Directa, 2024

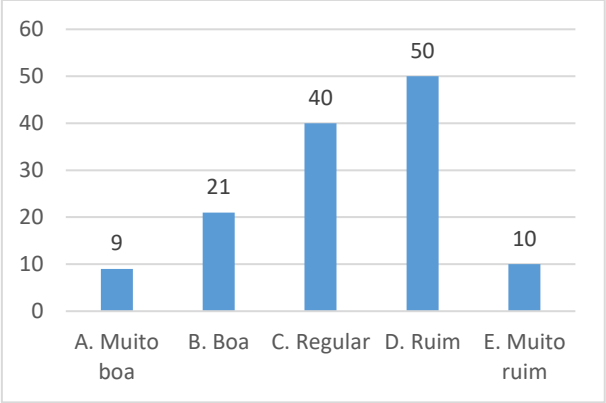


Gráfico 10: Clareza das informações sobre rotas e horários

Fonte: Pesquisa Directa, 2014

Para melhor compreensão da distribuição espacial das rotas e da população atendida pelos transportes públicos e semicolectivos, é essencial observar a divisão administrativa da cidade da Beira. O município encontra-se organizado em cinco postos administrativos (Urbano 01 a Urbano 05), que por sua vez abrangem diversos bairros, cada um com dinâmicas sociais, populacionais e de mobilidade específicas. Essa estrutura influencia diretamente a oferta e demanda de transporte coletivo.

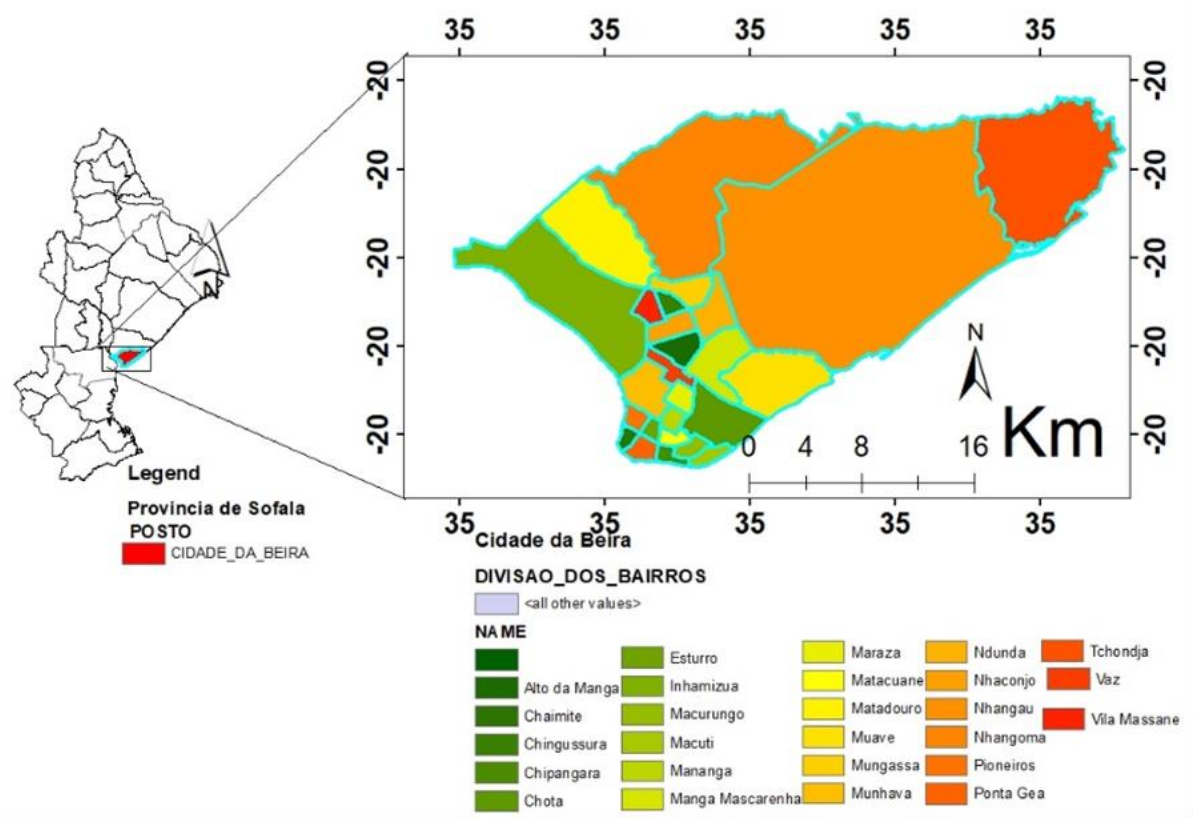


Figura 11: Mapa de divisão administrativa (Fonte: Autor, 2024, Arcgiz versão 10.5)

Recomendações:

Diante desse panorama, um redesenho estrutural do sistema de mobilidade urbana da Beira é imperativo. Esse processo deve contemplar:

- **Planeamento Integrado:** A coordenação entre as políticas de mobilidade e o ordenamento territorial é fundamental para otimizar o uso do espaço urbano e reduzir a necessidade de deslocamentos.
- **Tecnologias de Rastreamento:** A implementação de sistemas de rastreamento (como GPS) e aplicativos informativos pode melhorar a gestão da frota, fornecer informações precisas aos utentes e aumentar a eficiência do sistema.
- **Regulamentação do Setor Informal:** A formalização e regulamentação do setor de transporte semicolectivo são essenciais para garantir a segurança, a qualidade e a previsibilidade dos serviços.
- **Renovação da Frota:** O incentivo à substituição dos veículos antigos por modelos mais novos e sustentáveis pode reduzir a poluição, melhorar o conforto dos passageiros e diminuir os custos operacionais a longo prazo.

CONCLUSÃO

A partir da análise detalhada realizada, conclui-se que a mobilidade urbana na cidade da Beira confronta-se com um conjunto complexo e interligado de desafios que comprometem gravemente a sua eficiência e equidade. O sistema de transportes, particularmente os serviços públicos e semicolectivos, revela-se sobrecarregado, gerido de forma deficiente e estruturalmente inadequado, o que acarreta impactos sociais, económicos e ambientais significativos.

Para reverter este quadro, é imperativo um investimento robusto em infraestrutura viária e uma reestruturação abrangente dos serviços de transporte. Adicionalmente, a introdução de ferramentas tecnológicas avançadas de gestão e o fortalecimento da governança pública sobre o setor são indispensáveis para otimizar a fluidez e a qualidade da mobilidade.

Este estudo oferece subsídios concretos e fundamentados para a formulação de políticas públicas eficazes, visando promover uma mobilidade mais eficiente, acessível e ambientalmente sustentável na cidade da Beira. Tais intervenções serão cruciais para o desenvolvimento urbano equilibrado da cidade e poderão servir de modelo para outras metrópoles moçambicanas que enfrentam desafios semelhantes.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam sua profunda gratidão à Universidade Licungo pelo inestimável apoio institucional e científico, disponibilizado em todas as etapas da pesquisa. Tal contribuição foi fundamental para o desenvolvimento e a consolidação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

Conterno, R. C. (2013). *O transporte público coletivo a partir do conceito de mobilidade urbana sustentável: Um estudo de caso na cidade de Pato Branco/PR* [Dissertação de mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. Repositório Institucional UTFPR. https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2199

Corrêa, R. L. (1993). Aula 6 - O espaço urbano: Notas teórico-metodológicas. *Geosul*, 8(15), 13–18.

Costa, M. D. S. (2008). *Um índice de mobilidade urbana sustentável* [Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos]. Repositório USP. https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-21012009-102226/

Costa, P. B., Neto, G. C. M., & Bertolde, A. I. (2017). Urban mobility indexes: A brief review of the literature. *Transportation Research Procedia*, 25, 3645–3655. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.330

Instituto Nacional de Estatística (INE). (2017). *Manual de consulta de dados do sistema do controlo operativo de Censo de 2017*. Delegação Provincial de Sofala.

Kneib, E. C. (2014). *Projeto e cidade: Centralidades e mobilidade urbana*. Editora Appris.

Brasil. (2000). *Lei Complementar nº 434, de 26 de dezembro de 2000*. Dispõe sobre o Sistema Viário Urbano, Capítulo II, Artigo 6. Diário Oficial da União.

Lefebvre, H. (1991). The production of space. In S. K. Elden & M. E. Curry (Eds.), *The spatial turn in geography: Thinking, representing, and acting* (pp. xx–xx). Routledge. https://doi.org/10.2307/j.ctv1qmpd8w.5

Magalhães, M. T. Q., Aragão, J. J. G., & Yamashita, Y. (2013). *Definições formais de mobilidade e acessibilidade apoiadas na teoria de sistemas*. Anais do XXVII Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes - ANPET. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET). https://www.anpet.org.br

Meneses, I. (2020). *Cidade da Beira e o diálogo de suas gentes*. Fundza. http://www.fundza.co.mz

Neves, P. C. (2009). *A formação do espaço urbano*. Editora Papirus.

Picado-Santos, L., Ferreira, A., & Pereira, P. A. A. (2006). Estruturação de um sistema de gestão de pavimentos para uma rede rodoviária de carácter nacional. *Engenharia Civil*, Universidade do Minho, (26), 81–94. https://repositorium.sdum.uminho.pt/

Teixeira, O. M. J. (2014). *Mobilidade e acessibilidade urbana: Estudo de caso do Município de Viana* [Dissertação de mestrado, Escola Superior de Educação e Ciências Sociais]. Repositório RCAAP. https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/21551

Van-Bellen, H. M. (2002). *Indicadores de sustentabilidade: Uma análise comparativa* (Vol. 9) [Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico]. Repositório UFSC. https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84033

Villaça, F. (2001). *Espaço intraurbano: Urbanização, segregação e uso do solo* (2ª ed.). Studio Nobel.

ARTIGO Nº22222

MAPEAMENTO DE TRECHOS VULNERÁVEIS A INUNDAÇÕES NA REDE VIÁRIA DE SOFALA EM MOÇAMBIQUE USANDO O PROCESSO DE HIERARQUIZAÇÃO ANÍLICA

Felisberto António Lima[1 (*)], Agostinho Benta [2]

[1]Universidade de Aveiro, departamento de Dcivil-Aveiro, Portugal
[2]Universidade de Aveiro, departamento de Dcivil-Aveiro, Portugal
[1(*)] *Email:* falima@ua.pt; [2(*)] *Email:* abenta@ua.p t

RESUMO

Nos últimos 10 anos, Moçambique tem enfrentado ciclones, chuvas extremas e inundações, afetando a sua rede viária, especialmente na província de Sofala. Este estudo tem como objetivo identificar e cartografar áreas vulneráveis a inundações e cortes na rede viária, utilizando o método AHP e ferramentas SIG. Foram analisados dados geográficos como declive, altimetria e precipitação para criar um modelo espacial. Os resultados indicam que 14% do itinerário está em situação crítica, 69% com alta vulnerabilidade e 8% com vulnerabilidade moderada. O mapa gerado visa auxiliar na implementação de medidas de contingência.

***Palavras-chave**:* Mapeamento; vulnerabilidade; inundações e corte; estradas, AHP-GIS.

INTRODUÇÃO

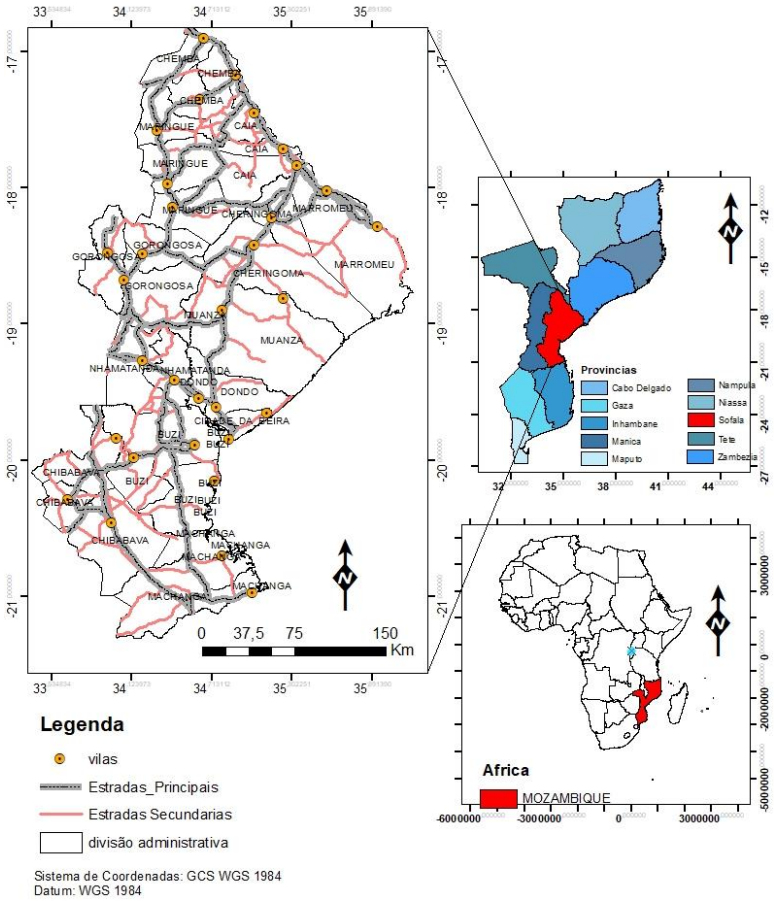
As adversidades climáticas extremas causam disfunção na rede viária da província de Sofala, com danos significativos que isolam vilas, cidades e zonas agrícolas, prejudicando a população local (Mark J. Koetse, 2009). O aumento de desastres, aliado às características físicas e climáticas(Tadesse et al., 2015), torna as vias vulneráveis a inundações, erosão e cortes, desafiando a gestão da rede viária (Koetse & Rietveld, 2009). As estradas N1 e N6, principais vias da província, atravessam bacias hidrográficas importantes(Júlio Acácio António, 2014) e mais de 50% do itinerário está em planícies de inundação, o que aumenta a vulnerabilidade a inundações repentinas e erosão (Júlio Acácio António, 2014). O mapeamento de troços críticos é essencial para priorizar intervenções e melhorar a resiliência da rede viária (EEA, 2014). O uso de SIS ((Sistema de Informação Geográfica) e métodos como análise multicritério (MCDA) permite identificar áreas vulneráveis a inundações e cortes, considerando fatores como geologia, precipitação e temperatura (Vojtek & Vojteková, 2019) (EEA, 2014). O objetivo deste estudo é mapear esses trechos na rede de Sofala, utilizando GIS para decisões de mitigação de riscos e manutenção.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo estende-se por 67.754 km² de superfície, perfazendo 13 distritos da província de Sofala. Localiza-se entre as províncias de Tete, Zambézia, Inhambane, Manica e o Oceano Índico como ilustra a (fig.1). A região apresenta uma geologia dominada por sedimentos terrestres e marinhos, além de rochas sub-vulcânicas pós-Pan-Africanas. Sua topografia varia entre extensas planícies aluvionares e costeiras, vales fluviais sujeitos a inundações sazonais e serras montanhosas com relevo acidentado (Dias et al*.,* 2012). O clima é predominantemente húmido, com estação chuvosa de outubro a março e seca de abril a setembro. A temperatura

varia entre 25°C e 30°C, com precipitação anual de 1200 mm(Alahacoon et al., 2021). Sua hidrografia é composta por rios, lagos e águas subterrâneas, destacando-se as bacias do Save, Gorongosa, Mureia, Búzi e Púnguè. Os rios fluem maioritariamente de oeste para leste, com vazão mínima entre Setembro e Outubro e máxima entre Janeiro e Março, período de maior risco de inundações que impactam a infraestrutura viária.

A rede rodoviária soma 2.342 km de estradas classificadas [13] (fig. 2), das quais 584 km são estradas primárias (asfaltadas), 553 km de estradas secundárias, 848 km de estradas terciárias e 357 km de estradas vicinais, para além de uma vasta rede de estradas não classificadas.



FACTORES QUE CONDICIONAM INUNDAÇÕES E SEU MÉTODO DE PROCESSAMENTO

Os fatores topográficos são essenciais na modelação hidrológica para identificar áreas vulneráveis a inundações (Tehrany et al., 2013). Neste estudo, consideraram-se as características naturais da província de Sofala, analisadas em detalhe e em interação com fatores condicionantes (elevação, declive, uso do solo, distância dos rios, distância das estradas, precipitação, solos, geologia e o índice topográfico de humidade (TWI), todos no formato matricial e na escala 1:200000), complementadas por pesquisas bibliográficas Os dados topográficos foram obtidos a partir da NASA Shuttle Radar Topography Mission (NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), 2013), enquanto as informações climáticas foram fornecidas pela Climatic Research Unit: Data (Harris et al., 2020). Todos os fatores condicionantes foram convertidos para o formato raster com uma resolução de 30x30 metros e

processados no software ArcGIS 10.5, utilizando o sistema de coordenadas WGS_1984_UTM_Zone_36S.

ELEVAÇÃO E DECLIVIDADE

A frequência de inundações aumenta em altitudes mais baixas, tornando essas áreas mais vulneráveis (Choubin et al., 2019). Na região estudada, a altitude varia de 0 a 1750 metros, e a declividade do terreno foi reclassificada em cinco classes de vulnerabilidade a inundações e cortes como ilustram as figuras 1 e 2.

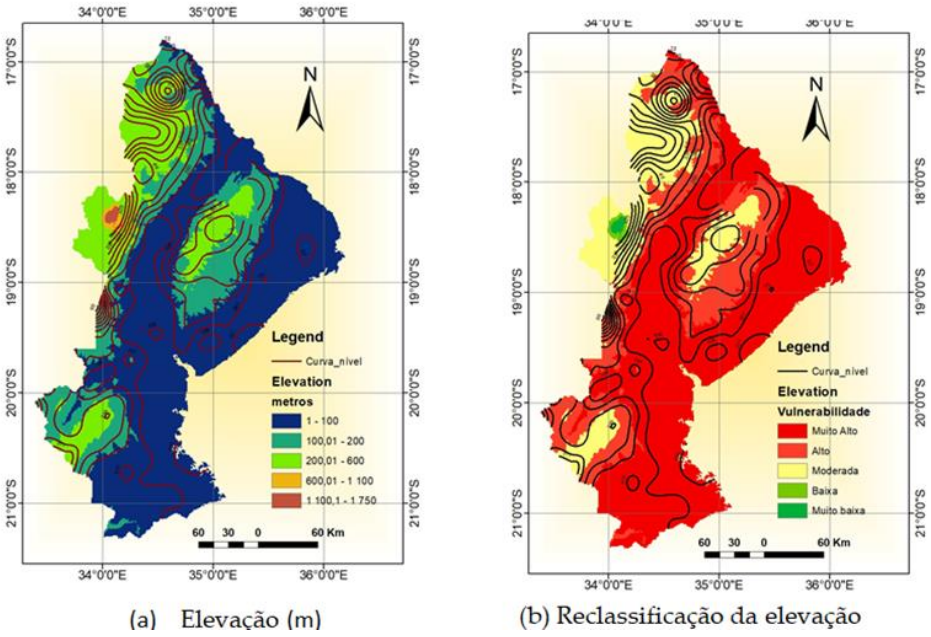
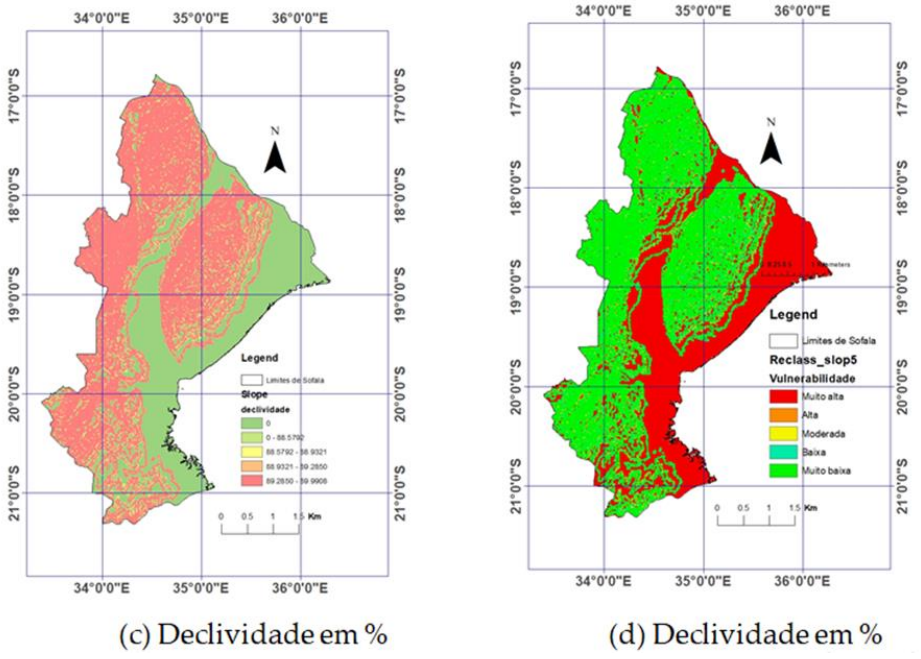


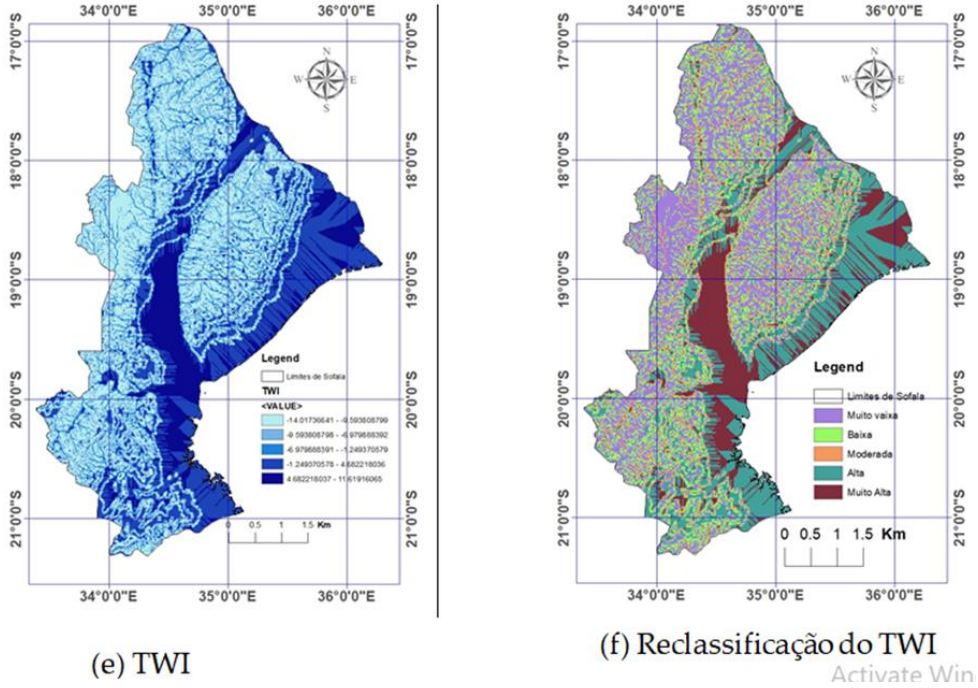
Figura 1: Modelo de elevação e reclassificação da vulnerabilidade



ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE UMIDADE (TWI)

O índice topográfico de humidade é definido como uma função logarítmica do declive e da área de declive da zona de contribuição (Equação 1)(Beven & Kirkby, 1979). Caracteriza zonas de saturação de água e o conteúdo de água no solo (Alves, 2008). Para a elaboração do mapa, tomou-se como base o modelo digital de terreno (DEM). Fez-se uma estimativa do balanço entre o acúmulo de água e as condições de drenagem local. Estabeleceu-se uma correlação entre a humidade real do solo e o TWI, identificando-se a existência de solos mal drenados em toda a zona costeira da província e mais para o centro, cujo TWI variou entre 4,6% e 11,6%. Mais para noroeste e nordeste, observaram-se alguns solos bem drenados, com uma percentagem entre [-1,4 e 4,6].

$$\text{TWI}=\text{LN}\left(\frac{As}{\tan B_S}\right), \quad (2)$$



(e) TWI

(f) Reclassificação do TWI

Figura 2: Índice topográfico de umidade e sua reclassificação

USO E OCUPAÇÃO DE SOLOS

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 5) foi construído a partir de imagem de satélite Landsat 8, com uma resolução espacial de 30 m, obtida no site da **NASA Shuttle Radar Topography Mission** *(SRTM)(2013) – Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global* (NASA Landsat Program, 2023) Esta informação possibilita aferir a taxa de infiltração de água no solo e os fatores que retardam a permeabilidade, o fluxo de detritos e o escoamento (Freiman & Carvalho, 2020) (Kazakis et al., 2015). Para isso, o mapa foi dividido em cinco classes: áreas urbanas, zonas de cultivo e pastos, vegetação densa, vegetação dispersa e corpos de água.

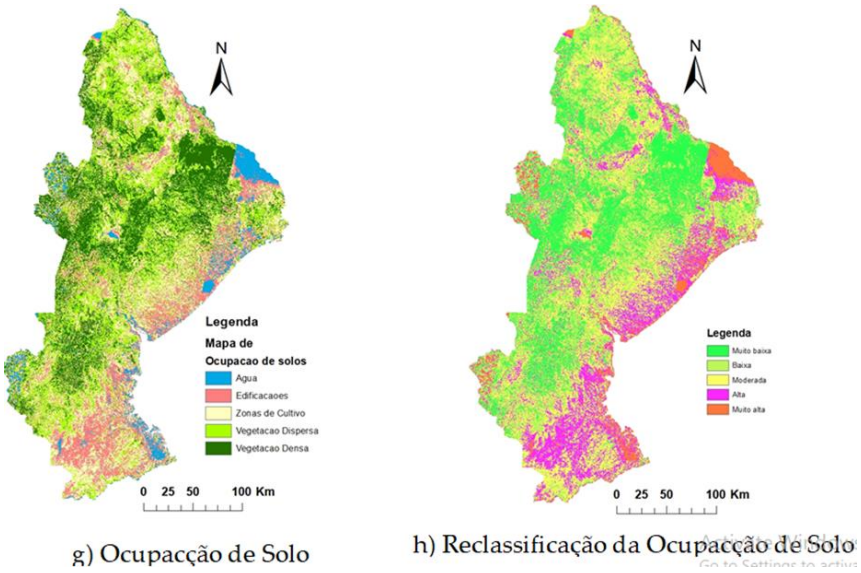


Figura 3: Uso e ocupação de solos e sua reclassificação

DISTÂNCIA AOS RIOS

A distância aos rios foi calculada utilizando a ferramenta de distâncias euclidianas do ArcGIS 10.5, com base na camada vetorial de uma rede fluvial local. As classes para o raster de distâncias dos rios foram devidamente ajustadas de acordo com o método de classificação natural. Assim, quanto maior for a densidade da rede de fluxo, geralmente há um maior escoamento superficial e uma maior probabilidade de inundações e cortes na rede. Portanto, o risco de um troço foi estimado considerando a proximidade dos rios.

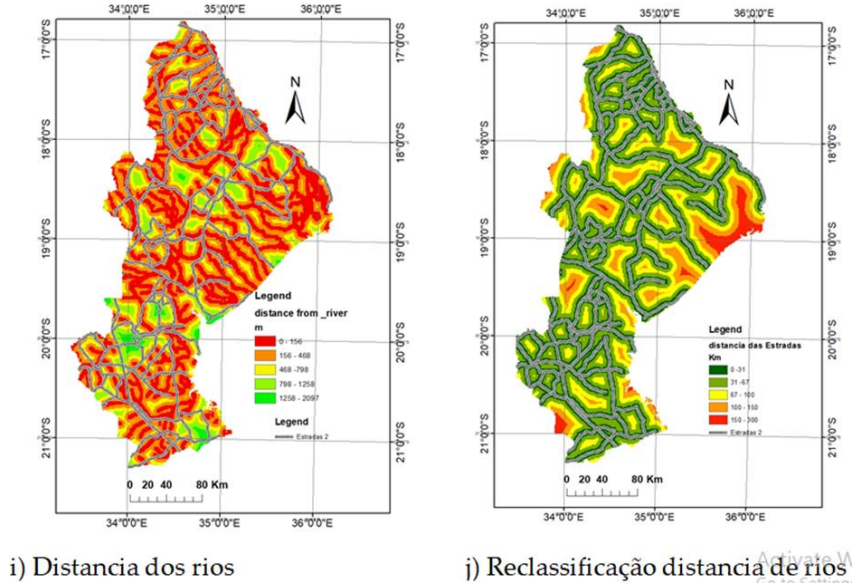


Figura 4: Distância aos rios e sua reclassificação

DISTANCIA AS ESTRADAS

Neste estudo, também foi considerada a distância às principais estradas como fator principal para a análise de fenómenos de inundações e cortes nas zonas críticas. Para tal, o mapa foi dividido e classificado em cinco grupos, sendo os pontos mais próximos dos rios ou os troços

que cruzam linhas de água e zonas de cotas baixas considerados os mais vulneráveis a cortes e inundações (Figura 5).

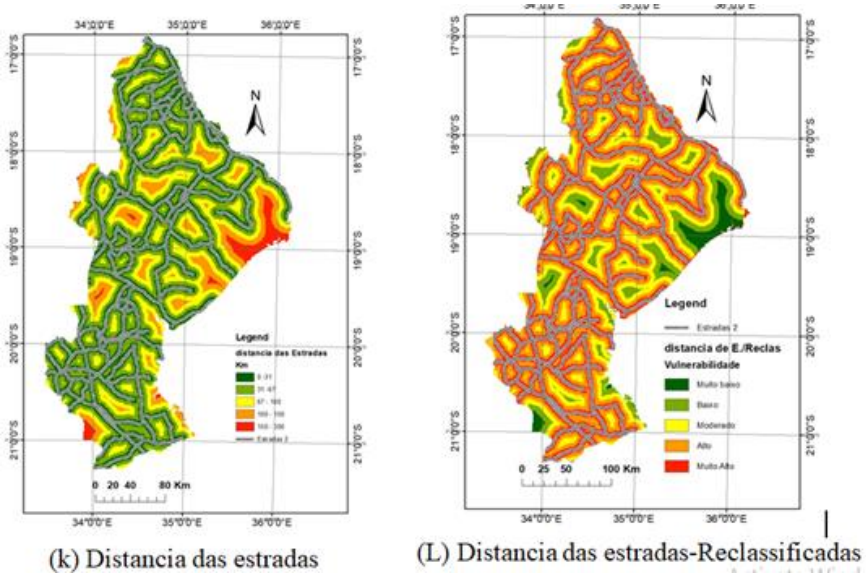


Figura 5:Distancia as Estradas e sua reclassificação

TIPO DE SOLOS E PRECIPITAÇÃO

O tipo de solo reflete diretamente na taxa de infiltração ou escoamento superficial da água, estando diretamente ligado ao índice de vazios e à permeabilidade(Lima, 2016). Dependendo das propriedades mecânicas do solo, a água que atinge a superfície é parcialmente retida nas depressões do terreno, parte infiltra-se e o restante escoa pela superfície. O escoamento superficial ocorre após a intensidade da precipitação superar a capacidade de campo do solo. Em contrapartida, os solos argilosos são menos permeáveis, tornando o processo de infiltração da água mais lento e aumentando a suscetibilidade a inundações. As **Figuras 7 e 8** ilustram o mapa categorizado da intensidade de precipitação e dos tipos de solo da área de estudo.

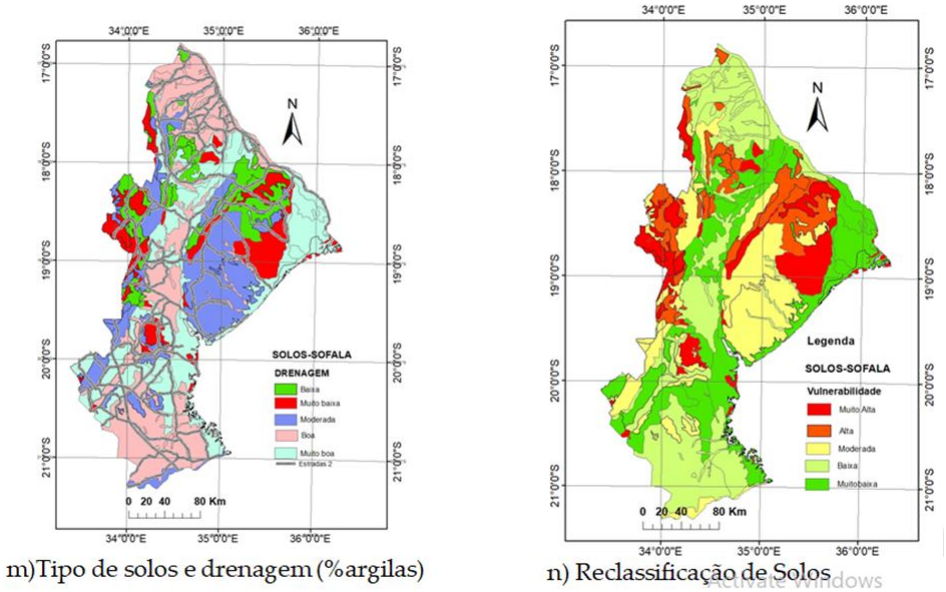


Figura 6:Tipo de Solos e sua reclassificação

MÉTODOS

Nesta secção, apresenta-se a metodologia utilizada para a identificação e mapeamento de trechos de estradas vulneráveis a inundações na Rede Viária de Sofala. A metodologia foi dividida em quatro etapas, como ilustra a Figura 10. Realizou-se o pré-processamento das camadas obtidas gratuitamente em plataformas online. Nesta etapa, fez-se a compatibilização do sistema de referência, a projeção cartográfica (WGS-1984-UTM-ZONE-36S) e todos os critérios preliminares utilizados para a identificação de trechos vulneráveis a inundações. Após a construção do banco de dados geográficos, deu-se início ao processo de modelagem Fuzzy-AHP. O processo de reclassificação dos critérios usados foi efetuado a partir de ponderações dos dados. A obtenção do modelo final foi a partir da soma ponderada de todas as camadas consideradas. Ou seja, foi aplicado o processo de álgebra de mapas e, finalmente, fez-se a identificação de áreas vulneráveis pela comparação dos índices correspondentes. A validação do método foi apoiada pelos dados históricos de eventos de inundações e cortes na região em estudo.



Figura 7:Diagrama Metodológico

AQUISIÇÃO DE DADOS E CONFIGURAÇÃO DO MODELO

A integração de dados e modelagem AHP-GIS é uma abordagem eficaz para mapear trechos de estradas vulneráveis a inundações e cortes, contribuindo para a avaliação e gestão de riscos em infraestruturas viárias. No caso da província de Sofala, o mapeamento baseou-se em análises morfométricas e topográficas georreferenciadas, convertidas para formato Shapefile compatível com SIG. O modelo multiparamétrico AHP foi configurado para definir critérios relevantes de vulnerabilidade, considerando variáveis como precipitação, topografia, uso do solo, geologia, drenagem e declividade, como ilustra a Tabela 1.

O AHP permitiu comparações estruturadas entre variáveis, garantindo consistência lógica na avaliação da vulnerabilidade, diante de decisões subjetivas ou objetivas. As decisões podem ser analíticas(Wingfield et al., 2019)., baseadas em validação, ou intuitivas, sem justificativas lógicas diretas (Goepel, 2018). Os dados utilizados no estudo foram obtidos no site da NASA (NASA Shuttle Radar Topography Mission, 2023), e submetidos a sobreposição ponderada para gerar o mapa final de vulnerabilidade da rede viária de Sofala.

Tabela 1: Variáveis usadas para análise de vulnerabilidade da rede viária

Critérios	Unidade	Classe	Probabilidade	Classificação	Peso (%)
Elevação	m	0 — 100	Muito alto	1	8.5
		100— 300	Alto	2	
		300— 600	Moderada	3	
		600— 1100	Baixa	4	
		1100— 1751	Muito baixa	5	
Declividade	%	0— 3.30	Muito alto	5	5.9
		3.3— 4.20	Alto	4	
		4.2— 5.02	Moderada	3	
		5.05- 10.4	Baixa	2	
			Muito baixa	1	
Distancia dos rios	m	0— 34	Muito alto	1	15.4
		34— 80	Alto	2	
		80— 150	Moderada	3	
		150— 280	Baixa	4	
		280— 580	Muito baixa	5	
Distancia estradas	m	0— 13	Muito alto	1	10.1
		13— 28	Alto	2	
		28— 46	Moderada	3	
		46— 72	Baixa	4	
		72— 156	Muito baixa	5	
Precipitação	Mm/ano	672— 772	Muito baixo	1	22.8
		773— 873	Baixo	2	
		874— 974	Moderado	3	
		975— 1080	Alto	4	
		1090— 1180	Muito alto	5	
Tipo de solos	% de argilas	0— 10	Muito alto	5	28
		10— 20	Alto	4	
		20— 30	Moderada	3	
		30— 40	Baixa	2	
		40— 50	Muito baixa	1	
Geologia					8.9
TWI	Nível	-15.21__ -10.25	Muito baixo	1	4.6
		-10.25__ -7.29	Baixo	2	
		-7.29— -1.270	Moderado	3	
		-1.270— 5.060	Alto	4	
		5.060 — 11.76	Muito alto	5	
Uso do Solos	Nível	-0.323— 0.117	Muito alto	5	9.8
		0.117— 0.214	Alto	4	
		0.214— 0.292	Moderada	3	
		0.292— 0.371	Baixa	2	
		0.371— 0.790	Muito baixa	1	
					100

PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO AHP

O método AHP estruturou o problema numa hierarquia decisória, definindo critérios e analisando a sua influência nas áreas inundáveis. A comparação pareada gerou uma matriz quadrada e recíproca, posteriormente transformada num vetor de prioridades com um índice de consistência atribuído. A ponderação foi realizada utilizando a escala fuzzy de importância relativa, conforme ilustrado na Tabela 2.Tabela 2: Escala Fuzzy de importância relativa

Importância	Escala
Igualdade	(1,00)
Moderada	(3,00)
Forte	(5,00)
Muito forte	(7,00)
Extremamente forte	(9,00)
Relativa	(2,00-4,00-6,00- & 8,00)

O julgamento pareado definiu prioridades entre os critérios, identificando o de maior influência nas inundações. Os pesos variam de 1 (baixa influência) a 9 (alta influência). A vulnerabilidade final foi determinada pela multiplicação do peso de cada fator (wi) pela sua taxa (xi), conforme a Eq. (4), resultando no mapa das zonas vulneráveis a inundações e cortes na rede viária.

$$H=\sum_i^n w_i x_i, \tag{4}$$

No método AHP (Goepel, 2018), os julgamentos são organizados numa matriz quadrada de ordem n, onde cada elemento representa a comparação entre critérios e a sua importância relativa, conforme a Equação 5. Essa matriz fornece os coeficientes de ponderação das variáveis que influenciam a vulnerabilidade a inundações.

$$A = [a_{ij}] \begin{pmatrix} 1 & a_i j & a_{1n} \\ \frac{1}{a_{ij}} & 1 & a_{2n} \\ \frac{1}{a_{1n}} & \frac{1}{a_{2n}} & 1 \end{pmatrix}, \tag{5}$$

A matriz de decisão no método AHP (Goepel, 2018) foi utilizada como uma ferramenta essencial para capturar as preferências relativas entre os elementos da hierarquia. Por meio de comparações pareadas, essa matriz avaliou os critérios e determinou a sua importância relativa, conforme ilustrado na Tabela 4.

Tabela 3: Classificação é codificada por cores para indicar a ordem de prioridade dos nove parâmetros

Categoria	Tipo	Prioridade	Classificação	(+)	(-)
1	Precipitação	22.8%	1	10.7%	10.7%
2	Distancia dos rios	15.4%	2	4.9%	4.9%
3	Tipo de solos	14.0%	3	7.2%	7.2%
4	Distância das estradas	10.1%	4	4.9%	4.9%
5	Uso ocupação/solos	9.8%	5	3.9%	3.9%
6	Geologia	8.9%	6	2.5%	2.5%
7	Elevação	8.5%	7	2.9%	2.9%
8	Declividade	5.9%	8	2.2%	2.2%
9	TWI	4.6%	9	2.7%	2.7%

A Tabela 5 apresentou a prioridade de cada parâmetro numa matriz 9x9, onde os elementos diagonais foram iguais a um. As classificações foram calculadas comparando os valores das linhas e colunas, determinando a importância relativa dos parâmetros. Por exemplo, a precipitação foi considerada mais relevante que o uso e a ocupação do solo. Os resultados foram representados visualmente no ArcGIS para facilitar a comunicação das informações. A coerência das comparações pareadas no método AHP foi avaliada por meio do índice de consistência (CI) e da razão de consistência (CR) (eq. 7).

$$.\text{CI} = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1}1, \quad (6)$$

Onde ***n*** representa o número de classes.

A razão de consistência (CR) avalia a coerência das preferências expressas, comparando-as com um conjunto de comparações aleatórias. Calculada pela Equação 8, resulta do quociente entre o índice de consistência observado (CI) e o índice de consistência aleatório (RI), que depende da ordem da matriz e do número de elementos. Um valor de CR inferior a 10% é considerado aceitável, enquanto um valor igual a zero indica máxima consistência (Waseem et al., 2023a).

$$\text{CR} = \frac{CI}{RI}, \quad (7)$$

O índice de consistência CR obtido foi de 6,4%, estando deste modo dentro do intervalo aceitável. O que revela uma coerência no cálculo AHP utilizado na matriz de decisão.

Tabela 4: Prioridade para cada parâmetro

Critério	TWI	Elev.	Declivid.	Precip.	Ndv	Geo.	Dista. rios	Dis.estradas	Solos
TWI	1	0.33	2.00	0.11	0.33	0.50	0.20	0.50	0.50
Elevação	3.00	1	1.00	0.20	1.00	1.00	0.50	1.00	1.00
Declividade	0.50	1.00	1	0.20	1.00	1.00	0.33	0.50	0.50
Precipitação	9.00	5.00	5.00	1	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00
Geologia	3.00	1.00	1.00	0.33	1	1.00	0.50	1.00	1.00
Uso do solo	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1	0.50	2.00	1.00
Dist.rios	5.00	2.00	3.00	1.00	2.00	2.00	1	1.00	0.50
Dist. Estradas	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	0.50	1.00	1	0.50
Tipo de solos	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1
Razão de consistência CR 6.4%									

No presente estudo, foi realizada uma análise de sensibilidade para mapear trechos vulneráveis a inundações e cortes sistemáticos na rede viária. Um intervalo de variação percentual de +/- 5% foi aplicado a todos os critérios, a partir de um peso inicial do parâmetro. Seguindo a metodologia de (Waseem et al., 2023b), os pesos dos critérios primários, considerando diferentes graus de variação percentual, foram determinados por meio da equação 8.

$$W(C_{m,pc} = W_{Cm,0} + W_{Cm,0}) \times p, \quad (8)$$

Onde W($_{\text{Cm}}$,,0), representa o peso do critério primário, Cm indica o critério de base e pc representa o grau de variação percentual. A variação percentual, proporcional dos outros critérios, foi efetuada através das equações 9 e 10, respetivamente.

$$W_{(PC)=} \sum_{i=1}^{n} W_{(Ci,Pc)} = 1 \quad [RPCmin \leq PC \leq RPCmax] \quad (9)$$

$$W_{(Ci,PC)=}(1 - W(Cm, pc) \times W(Ci, 0)/(1 - W(Cm, 0, \quad (10)$$

Onde W(Ci,pc) representa a ponderação do i-ésimo critério ci a um determinado nível de variação percentual, n é o número total de critérios, e os valores máximos e mínimos da PPR são RPC min e RPC Max, respetivamente. Os valores médios atribuídos aos critérios dentro de um intervalo específico são encontrados com o auxílio da tabela de interpolação, como forma de garantir a avaliação precisa e padronizada neste processo de tomada de decisão, como pode ser visto na figura 11.

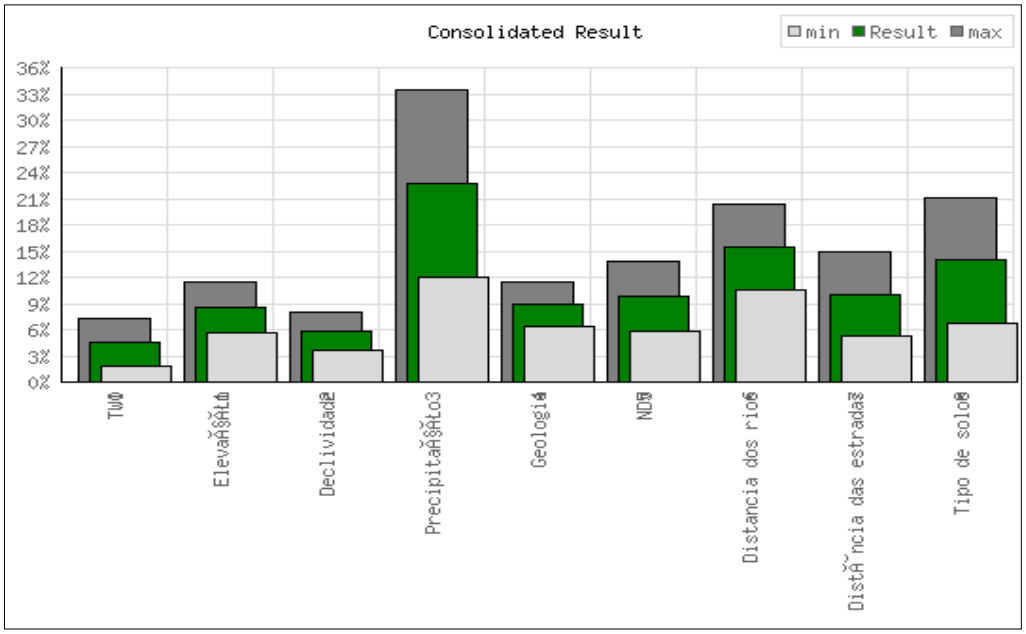


Figura 8: Comparação do Impacto dos parâmetros seleccionados

APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos ao aplicar o método AHP combinado com o SIG no mapeamento de trechos críticos da rede viária da província de Sofala indicaram que fatores como topografia, precipitação, tipo de solo, proximidade das estradas aos rios e geologia são determinantes para a ocorrência de inundações e cortes sistemáticos. O mapa de elevação revelou que áreas com cotas entre 0 e 110 metros são as mais vulneráveis a inundações durante períodos de grandes precipitações (outubro a abril), devido ao fluxo natural da água em direção a áreas mais baixas. O mapa de declividade, por sua vez, mostrou que zonas com inclinações acentuadas apresentam maior risco de cortes e inundações súbitas nas estradas, devido à conversão da energia potencial da água em energia cinética à medida que ela desce para cotas mais baixas.

A análise dos dados de precipitação média anual indicou que níveis de precipitação entre 600 e 1300 mm, durante a estação das monções, contribuem para o transbordamento das linhas de água e provocam inundações, colocando em risco os trechos de estrada próximos aos rios.

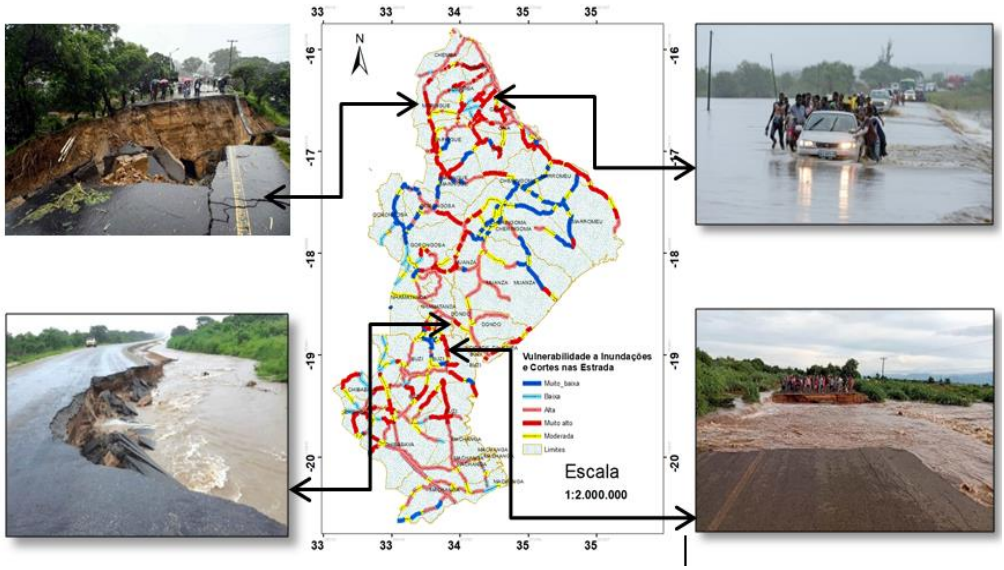


Figura 9: Mapa da área de Estudo validado

Os solos argilosos, devido à sua baixa taxa de drenagem, afetam diretamente a velocidade de infiltração da água e a capacidade de retenção sobre a superfície. Com precipitações acima do normal, esses solos umedecem rapidamente, reduzindo suas forças coesivas e causando a desintegração dos agregados, o que obstrui os poros e aumenta o risco de inundações. A geologia da região, o uso e a ocupação do solo, o Índice Topográfico de Umidade (TWI) e o NDVI tiveram menor impacto nas inundações e danos às estradas. O uso inadequado do solo, como a obstrução de drenagens e a urbanização em encostas, foi relacionado ao aumento dos riscos, enquanto o TWI esteve vinculado à capacidade de retenção de água. O mapa geológico revelou maior vulnerabilidade em formações cársticas.O mapa final foi gerado com nove parâmetros, cujos pesos foram determinados pelo AHP, resultando em um índice de consistência de 4,6%, abaixo do limite aceitável de 10%. O grau de vulnerabilidade dos trechos foi categorizado em cinco classes: 6% dos trechos foram classificados como de muito baixa vulnerabilidade, 3% como baixa, 8% como moderada, 69% como alta e 14% como de muito alta vulnerabilidade. A distribuição desses trechos vulneráveis pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5:Classificação de Trechos Vulneráveis a Inundações e Corte

Vulnerabilidade	Perímetro (Km)	Percentagem
Muito alta	660.737	14%
Alta	3256.49	69%
Moderada	377.564	8%
Baixa	141.587	3%
Muito baixa	283.1731	8%
Total	4719.551	100%

MAPA DE VULNERABILIDADE A INUNDAÇÃO

O mapa de vulnerabilidade a inundações e cortes sistemáticos na rede viária da província de Sofala foi gerado a partir da sobreposição ponderada de nove parâmetros, com a classificação baseada em medidas estatísticas, como o desvio padrão. A vulnerabilidade foi dividida em cinco grupos: muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta, com 83% da rede viária sendo

classificada como vulnerável, especialmente nas regiões centro e norte. As estradas nacionais 1 e 6, as principais infraestruturas rodoviárias da província, apresentam trechos de alto risco, particularmente devido à alta precipitação anual (1300 mm) e à proximidade de linhas de água. O uso do método AHP aliado ao GIS facilita a compreensão dos dados e permite a priorização de medidas de segurança e alerta em pontos críticos. Para mitigar os danos à infraestrutura, é essencial adotar estratégias como a melhoria do sistema de drenagem, instalação de bueiros e o planeamento de rotas alternativas em caso de interrupção da via, com o objetivo de reduzir os impactos dos eventos climáticos extremos.

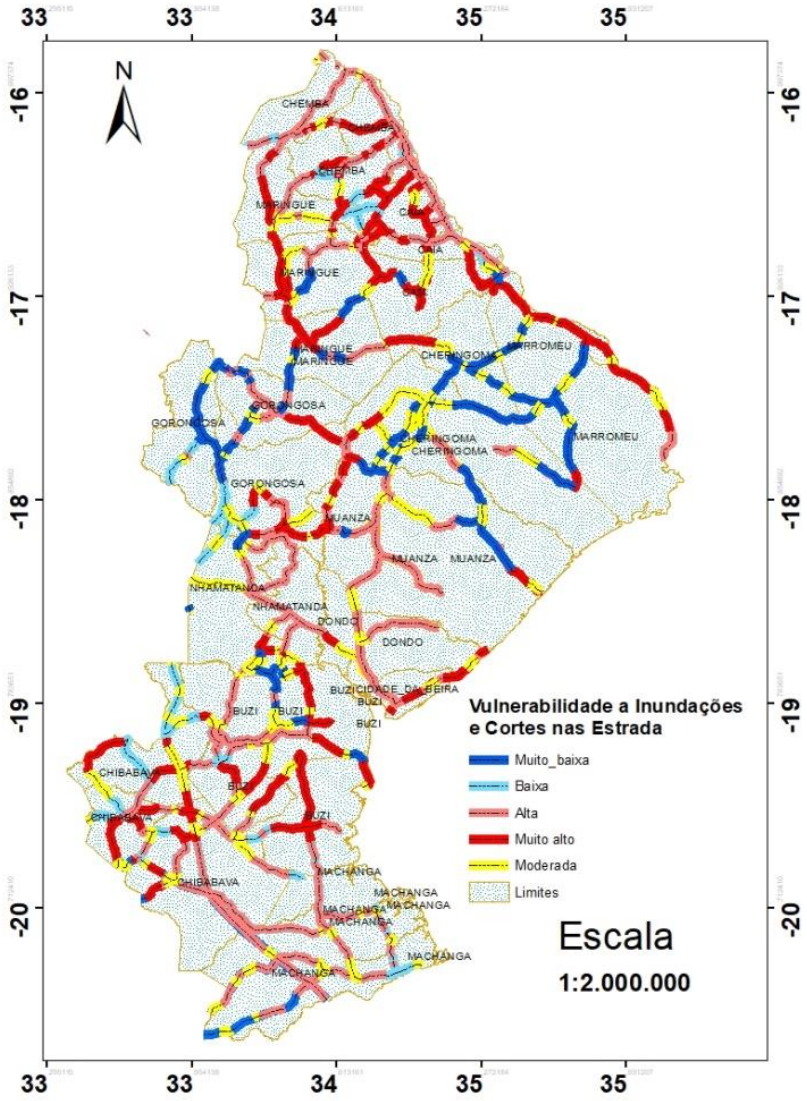


Figura 10: Mapa de Vulnerabilidade a Inundações e Cortes nas estradas de Sofala

A validação do modelo AHP-GIS foi realizada por meio da comparação entre os resultados obtidos e os dados históricos de eventos de inundações e cortes de estradas em trechos críticos da província de Sofala. Para calibração, parte dos dados foi utilizada para avaliar a precisão das previsões de vulnerabilidade a inundações e cortes. Além disso, ajustes nos pesos dos critérios foram feitos para testar a robustez e a sensibilidade do modelo. A comparação dos mapas de vulnerabilidade gerados com o relatório do prognóstico para a temporada chuvosa 2023/2024 indicou que os resultados do modelo estavam em conformidade com as previsões de danos nas

estradas, especialmente nas não revestidas, devido ao escoamento das bacias de Búzi e Pungue, validando assim a eficácia do modelo.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Apesar da utilidade do modelo AHP-GIS, ele apresenta algumas limitações. Entre elas, destaca-se a dependência da subjetividade na atribuição de pesos e a qualidade dos dados disponíveis, como as imagens de resolução média (SRTM 30m). Além disso, a capacidade do modelo de prever mudanças causadas pelas alterações climáticas ao longo do tempo pode ser restrita, o que implica que os resultados podem não ser totalmente preditivos para cenários futuros. A metodologia também depende da disponibilidade de dados atualizados sobre as condições das estradas, clima, topografia e uso do solo. Portanto, as autoridades e gestores da província de Sofala devem considerar essas limitações ao utilizar o modelo para decisões futuras, buscando aprimorar continuamente a análise para um planeamento mais eficiente e sustentável.

O estudo utilizou a técnica AHP-GIS para desenvolver um mapa de vulnerabilidade das estradas de Sofala, identificando áreas críticas com maior risco de inundações e cortes, especialmente em trechos de baixa altitude, solos argilosos e proximidade aos rios. O mapa classificou os trechos em cinco níveis de vulnerabilidade, sendo 14% classificados como "muito alta vulnerabilidade", 69% como "alta vulnerabilidade", 8% como "moderada", 3% como "baixa" e 8% como "muito baixa". A técnica se mostrou eficaz para identificar as fragilidades das infraestruturas, embora desafios como a falta de dados específicos sobre os materiais das estradas tenham impactado a precisão do modelo. O estudo destaca a importância de sistemas de alerta precoce, proteção e a implementação de rotas alternativas para mitigar os impactos de eventos climáticos extremos e garantir a segurança rodoviária.

CONCLUSÕES

O estudo concluiu que os trechos de estrada localizados em áreas de baixa altitude (0 a 110 metros), com declividades moderadas (0 a 9%) e próximos a grandes linhas de água, são altamente vulneráveis a inundações e cortes sistemáticos. A validação do mapa de vulnerabilidade confirmou a precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. O mapa identifica locais críticos para a implementação de medidas de proteção e planos de contingência, oferecendo uma abordagem eficaz, especialmente para regiões com dados limitados. A metodologia proposta pode ser aplicada na mitigação de cortes em estradas e na gestão de riscos rodoviários, contribuindo significativamente para a eficácia das respostas a desastres naturais.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alahacoon, N., Edirisinghe, M., Simwanda, M., Perera, E., Nyirenda, V. R., & Ranagalage, M. (2021). Rainfall Variability and Trends over the African Continent Using TAMSAT Data (1983–2020): Towards Climate Change Resilience and Adaptation. *Remote Sensing*, *14*(1), 96. https://doi.org/10.3390/rs14010096

Alves, M. R. (2008). *Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos* [Universidade de Sao Paulo]. https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-10022009-162502/publico/Marcelo_Alves.pdf

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin*, *24*(1), 43–69. https://doi.org/10.1080/02626667909491834

Choubin, B., Moradi, E., Golshan, M., Adamowski, J., Sajedi-Hosseini, F., & Mosavi, A. (2019). An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. *Science of The Total Environment*, *651*, 2087–2096. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.064

Dias, R., Oliveira, J. T., Milisse, D., & Ussene, U. (2012). Geologia Da Região Da Grande Beira. *1º Congresso Nacional de Geologia de Mocambique, Maputo, Moçambique, 21 a 24 de Novembro de 2012*, *1*, 6–10. http://hdl.handle.net/10400.9/1762

EEA, E. (2014). *Adaptation of transport to climate change in Europe: Challenges and options across transport modes and stakeholders*. Office of the European Union.

Freiman, F. P., & Carvalho, C. D. O. (2020). Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações baseada em um modelo multicritério hibrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado a bacia do Rio Bengalas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, *13*(3), 1145. https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p1145-1161

Goepel, K. D. (2018). Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, *10*(3), 469-487,. https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590

Harris, I., Osborn, T. J., Jones, P., & Lister, D. (2020). Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. *Scientific Data*, *7*(1), 1–18. https://doi.org/10.1038/s41597-020-0453-3

Hu, S., Cheng, X., Zhou, D., & Zhang, H. (2017). GIS-based flood risk assessment in suburban areas: a case study of the Fangshan District, Beijing. *Natural Hazards*, *87*(3), 1525–1543. https://doi.org/10.1007/s11069-017-2828-0

Júlio Acácio António, P. (2014). Geoecological Analysis directed the Environmental Management and Planning of Sofala province - Mozambique [Univrsidade Federal do Ceará]. In *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* (Vol. 44, Issue 8). http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/14961

Kazakis, N., Kougias, I., & Patsialis, T. (2015). Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, *538*, 555–563. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055

Koetse, M. J., & Rietveld, P. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *14*(3), 205–221. https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004

Lima, F. (2016). *Consolidação de solos no âmbito da construção da ponte Armando Emílio Guebuza Lima* [Universidade de Aveiro]. https://core.ac.uk/download/pdf/83600314.pdf

Mark J. Koetse, P. R. (2009). The impact of climate change and weather on transport: An overview of empirical findings, Transportation Research Part D: Transport and Environment. *Transport Reseach Part D. Transport and Environment*, *14*(3), 205–221. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.12.004.

NASA Landsat Program. (2023). *USGS(Science for changing world)*. Landsat ETM+ Scene L71008058_05820031026. https://earthexplorer.usgs.gov/

NASA Shuttle Radar Topography Mission. (2023). *NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM*. OpenTopography. https://doi.org/https://doi.org/10.5069/G9445JDF

NASA Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). (2013). *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Global*. Distributed by OpenTopography. https://doi.org/https://doi.org/10.5069/G9445JDF

Tadesse, M. A., Shiferaw, B. A., & Erenstein, O. (2015). Weather index insurance for managing drought risk in smallholder agriculture: lessons and policy implications for sub-Saharan Africa. *Agricultural and Food Economics*, *3*(1), 26. https://doi.org/10.1186/s40100-015-0044-3

Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical models in GIS. *Journal of Hydrology*, *504*, 69–79. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034

Vojtek, M., & Vojteková, J. (2019). Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process. *Water*, *11*(2), 364. https://doi.org/10.3390/w11020364

Waseem, M., Ahmad, S., Ahmad, I., Wahab, H., & Leta, M. K. (2023a). Urban flood risk assessment using AHP and geospatial techniques in swat Pakistan. *SN Applied Sciences*, *5*(8), 215. https://doi.org/10.1007/s42452-023-05445-1

Waseem, M., Ahmad, S., Ahmad, I., Wahab, H., & Leta, M. K. (2023b). Urban flood risk assessment using AHP and geospatial techniques in swat Pakistan. *SN Applied Sciences*, *5*(8), 215. https://doi.org/10.1007/s42452-023-05445-1

Wingfield, T., Macdonald, N., Peters, K., Spees, J., & Potter, K. (2019). Natural Flood Management: Beyond the evidence debate. *Area*, *51*(4), 743–751. https://doi.org/10.1111/area.12535

ARTIGO Nº22494

ANÁLISE DA SINISTRALIDADE RODOVIÁRIA NA EN1, MANHIÇA

Érica R. C. Lifaniça[1], Amuza J. Sande[2]
Instituto Superior de Transportes e Comunicações (ISUTC) - Maputo, Moçambique
Email: [1]ericarebecalifanica@gmail.com, [2]amuza.sande@isutc.ac.mz

RESUMO

O presente trabalho analisa a influência das características viárias da Estrada Nacional n.º 1 na ocorrência dos acidentes de viação, visando contribuir na melhoria da segurança rodoviária no Distrito da Manhiça. Neste sentido, foi utilizado como método de colecta de dados a pesquisa bibliográfica, para revisão de conceitos e normas de traçado e a recolha de dados estatísticos. Para tanto, foi feita uma observação directa para verificar as condições gerais dos componentes mais importantes da infra-estrutura viária, nomeadamente, o pavimento, a sinalização, a geometria e a drenagem. Enfim, por meio do estudo realizado, foi possível concluir que o estado da infra-estrutura viária em análise tem grande influência, tanto no número, quanto na gravidade dos acidentes de viação.

***Palavras-chave**:* acidentes de viação, segurança rodoviária, normas de traçado, infra-estrutura viária.

INTRODUÇÃO

A segurança rodoviária é uma preocupação cada vez mais presente no seio da sociedade moderna. Relatórios da Organização Mundial de Saúde (OMS) mostram que cerca de 1,19 milhão de pessoas morrem por ano em todo o mundo em acidentes de trânsito e que países em vias de desenvolvimento possuem a taxa estimada mais elevada de mortes por acidentes rodoviários.

Os factores que influenciam na ocorrência de acidentes de viação dividem-se em quatro grupos básicos frequentemente inter-relacionados, que são: factores humanos, factores relativos ao veículo, factores relativos à via/meio-ambiente e ambiente construído e factores institucionais/sociais (Gold, 1998).

Dada a importância desta estrada e a incidência de acidentes de viação que ceifam a vida de dezenas de pessoas na Manhiça, surge a necessidade de analisar os pontos com maior risco de acidentes, estudar as suas possíveis causas e propor algumas medidas correctivas para o melhoramento do nível de segurança rodoviária no troço.

REFERÊNCIAS

Gold, P.A., Segurança de trânsito: Aplicações de Engenharia para Reduzir Acidentes, Banco Interamericano de Desenvolvimento, Brasília, 1998.

INE, Estatísticas de acidentes rodoviários, ferroviários, aquáticos e aéreos, Instituto Nacional de Estatística, Maputo, 2021.

Matsimbe, B. A., Análise da relação entre as características das vias interurbanas e a sinistralidade rodoviária - caso de estudo: estrada nacional N2, N3, N5 e N6, Projecto Final de Curso, Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Maputo, 2015.

ARTIGO Nº22498

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS ASSOCIADOS PARA A ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO

João Falcão e Cunha[1]

[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal
Email: jfcunha@fe.up.pt

RESUMO

A mobilidade sustentável é um pilar essencial para o desenvolvimento urbano e económico de Moçambique, especialmente na Área Metropolitana de Maputo, onde a população pode atingir 6 milhões até 2050. O crescimento da população e a urbanização impõem desafios significativos ao setor de transportes, exigindo soluções que garantam eficiência e sustentabilidade.

O transporte público deve ser a espinha dorsal da mobilidade urbana, com um serviço eficiente, seguro e acessível. Maputo enfrenta desafios relacionados com a sobrecarga das infraestruturas, ineficiência operacional e altos custos de transporte. Para enfrentar esses problemas, a Agência Metropolitana de Transportes de Maputo está a implementar o "MOVE Maputo", um Bus Rapid Transit (BRT). Este sistema terá corredores exclusivos, reduzindo os tempos de deslocação, melhorando a qualidade do serviço e promovendo a mobilidade sustentável.

Além da infraestrutura física, a digitalização e os serviços de informação e comunicação desempenham um papel fundamental na gestão eficiente do transporte público. A implementação de sistemas de bilhética eletrónica e de plataformas digitais de informação ao passageiro melhoram a experiência dos clientes e promovem o seu uso.

O setor de transportes é um dos principais responsáveis pela emissão de gases poluentes, consumo excessivo de combustíveis fósseis e impactos negativos na saúde pública. A transição para veículos elétricos e a integração de modos de transporte suaves, como bicicletas, são medidas fundamentais para mitigar esses impactos. Incentivos governamentais e apoio para reduzir tarifas podem tornar o transporte público mais atrativo e acessível à população.

Para viabilizar essas transformações, é essencial investir em Educação, Investigação e Inovação no setor de transportes. Propõe-se um conjunto de iniciativas de capacitação, incluindo uma Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Transportes (PEGT) e um Programa Doutoral em Sistemas de Transportes (PDST), ambos em cooperação internacional com empresas e universidades. Esses programas visam formar especialistas e decisores capacitados para lidar com os desafios da mobilidade urbana em Moçambique.

Propõe-se uma abordagem de longo prazo, alinhando desenvolvimento tecnológico, educação e inovação para consolidar um sistema de mobilidade sustentável e eficiente em Moçambique. Com políticas adequadas, financiamento sustentável e capacitação profissional, é possível transformar a mobilidade urbana, promovendo inclusão social, eficiência econômica e qualidade de vida para milhões de pessoas. Para garantir a evolução desses serviços, propõe-se a criação da Autoridade Nacional de Mobilidade e Transportes (ANMT), responsável por coordenar políticas e regulamentações em todo o país

Palavras-chave: transportes, gestão, educação, investigação, inovação.

ARTIGO Nº23268

DEGRADAÇÃO PRECOCE DE PAVIMENTOS DE PAVÊ EM MOÇAMBIQUE – POTENCIAIS CAUSAS

José A. Walters Monteiro[1(*)]

[1]TECNICA Engenheiros Consultores, Lda – Maputo, Moçambique
(*) *Email:* jmonteiro@tec.co.mz

RESUMO

Este estudo avalia as principais causas dos defeitos em estradas revestidas com blocos pré-fabricados de betão, conhecidas como estradas de pavê, em Moçambique, identificando fatores que contribuem para a degradação precoce observada em diversas situações. As potenciais causas dos defeitos podem ser classificadas em quatro grupos principais: deficiências no fabrico dos blocos, falhas de projeto, má execução e uso inadequado.

***Palavras-chave**:* estradas de pavê, defeitos de pavimentos, controlo de qualidade, fabrico de pavê, projeto, execução.

INTRODUÇÃO

O uso de pavimentos em pavê tem crescido nos meios urbanos moçambicanos, especialmente em vias sob jurisdição municipal ou distrital. No entanto, a limitação de recursos e a necessidade de rápida implementação de infraestruturas viárias muitas vezes resultam na não observância de preceitos técnicos essenciais. Embora as estradas de pavê sejam projetadas para uma vida útil de até 30 anos com manutenção mínima, a sua execução deficiente pode levar a falhas prematuras, afetando o conforto da condução e aumentando o risco de danos nos veículos.

Este artigo analisa as condições existentes para o estudo e ensaio de blocos de pavê no Laboratório de Engenharia de Moçambique (L.E.M.), comparando-as com normas técnicas internacionais. Também investiga os fusos granulométricos dos agregados utilizados pelos principais fabricantes nacionais, bem como os processos de fabrico e controlo de qualidade adotados. O estudo busca identificar a origem mais recorrente dos defeitos nos pavimentos de pavê e propor medidas corretivas, contribuindo para a melhoria da qualidade das estradas urbanas em Moçambique.

REFERÊNCIAS

ASTM C140-03 Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Units, ASTM International, 2017.
SABS 1200-MJ Segment Paving, 1984
CMA, Concrete Paving Blocks – Book 1 – Introduction, Pretoria, 2004
CMA, Concrete Paving Blocks – Book 2 – Design Aspects, Pretoria, 2004
CMA, Concrete Paving Blocks – Book 3 – Specification and Installation, Pretoria, 2004

ARTIGO Nº23457

PROJETO DE UM SISTEMA AUTOMÁTICO DE CONTROLE DA PASSAGEM DE NÍVEL DA MACHAVA, PARA OS PORTOS E CAMINHOS DE FERRO DE MOÇAMBIQUE (CFM) - REGIÃO SUL

(*)Karen F. Herculano[1], Fernando H. Chachaia[2]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, DEEL- Maputo, Moçambique

[2] Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, DEEL- Maputo, Moçambique

(*) *Email:* karenherculano25107@gmail.com

RESUMO

O objetivo deste trabalho é projectar um sistema automático de controlo de passagem de nível (PN) para os Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM), visando reforçar segurança e conferir mais eficiência nas travessias ferroviárias. O sistema proposto traz consigo a implementação de tecnologias de automação, substituido o controlo manual actualmente empregue nas PNs do país por uma solução que integra sensores de rodas indutivos e dispositivos de segurança accionados automaticamente através de um processador lógico progamável (PLC), optimizando assim o controle nas passagens de nível. Toma-se como caso de estudo a PN da Machava (Machava M1).

***Palavras-chave**:* Passagem de nível, Segurança, Controlo automático, PLC, sensores, CFM.

INTRODUÇÃO

Os avanços na automação do tráfego ferroviário, com vista à conferir segurança e o controlo neste modal de transporte, tornaram-se algumas das linhas prioritárias de investigação e desenvolvimento do sector ferroviário nos últimos anos.

As passagens de nível (PN), por serem pontos singulares de interface entre diferentes modos de transporte, constituem elementos críticos da rede ferroviária nacional, com potencial risco de acidentes ou incidentes [3], ou seja, existem desafios significativos em termos de segurança e fluidez do tráfego nesses pontos, especialmente em Moçambique. Neste contexto, este trabalho surgiu com o objectivo de projectar um sistema de controlo para passagem de nível da Machava (Machava M1) para os Portos e Caminhos de Ferro de Moçambique (CFM). A solução baseou-se na utilização de sensores de rodas e de um processador lógico programável para a monitorização do tráfego ferroviário e rodoviário, e na sinalização por meio de cancelas motorizadas e dispositivos de sinalização luminosos e sonoros, accionados automaticamente.

REFERÊNCIAS

[1] Enokela, J. & Oladejo, K.L., An Automated Railway Traffic Station Control System, Nigerian Journal of Technology (NIJOTECH), Vol.36, No.1, pp.138-147, 2017

[2] Franchi, C., Camargo, V., Controladores Lógicos Programáveis - Sistemas Discretos, 1ª ed., Érica, São Paulo, 2008.

[3] Instituto da Mobilidade e dos Transportes, I.P., Documento Normativo para Aplicação nas Aproximações Rodoviárias de Passagem de Nível: Sinalização de Passagens de Nível, Lisboa, 2023.

ARTIGO Nº23460

O PAPEL DA AMT E DO PROJETO MOVE-MAPUTO NO FUTURO DO TRANSPORTE PÚBLICO EM MOÇAMBIQUE

António Matos[1,2], Fátima Arthur[1,4], João Falcão e Cunha[3]

[1] Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Projecto MOVE, Moçambique;
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Maputo, Moçambique;
[3]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal
Emails: [2]antoniomatos61@gmail.com; [4] fatimaarthur@gmail.com; [3] jfcunha@fe.up.pt

RESUMO

As políticas públicas têm em vista resolver os problemas existentes, mas igualmente dar perspectivas de um futuro de longo prazo bem melhor, para além do que permitem as soluções de curto e médio prazo.

A criação da AMT - Agência Metropolitana de Transportes de Maputo – agência em operação desde Agosto de 2018, e o projecto MOVE Maputo desde Dezembro de 2022– projecto em curso, gerido pela AMT, com entrada em operação até final de 2027, resultaram da necessidade das políticas públicas responderem ao problema da mobilidade de pessoas na AMM - Área Metropolitana de Maputo, do ponto de vista da gestão do sistema e da infra-estrutura de transportes públicos. O projecto de mobilidade urbana na AMM, vulgo MOVE Maputo, inclui a implementação de um sistema de Bus Rapid Transit (BRT), que fornecerá faixas segregadas para autocarros de transporte público. Espera-se que este sistema descongestione o tráfego rodoviário, reduza o tempo de viagem, diminua a poluição ambiental e aumente a segurança rodoviária.

O objectivo da AMT é planear e gerir os serviços dos transportes públicos de passageiros na AMM, garantindo a mobilidade urbana sustentável. Estes serviços envolvem a coordenação de entidades públicas - nomeadamente municipais - e entidades privadas, algumas ainda informais. O objectivo do projecto Move Maputo é disponibilizar um BRT, Bus Rapid Transit, para melhorar a mobilidade urbana e a acessibilidade ao longo de corredores seleccionados na AMM, sem descurar as reformas institucionais e regulatórias que suportarão a modernização dos transportes colectivos de passageiros em Maputo.

As previsões apontam para que a população da AMM atinga, em 2050, mais de 6 milhões, quase o dobro da população actual. Igualmente, as maiores cidades de Moçambique continuarão a crescer e a precisar de políticas públicas de mobilidade adequadas, promulgadas com um quadro regulatório robusto, coerente e capaz de acomodar as novas tecnologias. De momento a AMT tem jurisdição regulatória sobre a única área metropolitana de Moçambique, nomeadamente a AMM. Nampula, Beira, Quelimane, Inhambane, Chimoio, Xai Xai e Tete são cidades capitais provinciais em franco crescimento populacional o que faz antever a reorganização dos seus sectores do transporte publico para uma abordagem metropolitana de mobilidade sustentável.

Há assim enormes desafios para quem define e para quem gere as políticas públicas de mobilidade sustentável e de transporte público de passageiros em Moçambique, sobretudo nas grandes cidades e áreas metropolitanas envolventes.

A AMT tem assumido um papel determinante em Maputo que vai muito para além dos seus objectivos específicos, e o projecto Move-Maputo, financiado pelo Banco Mundial, requer esforços conjuntos de todos os municípios envolventes. A AMT está também a trabalhar com entidades parceiras internacionais, tais como a FEUP, INEGI, Autoridade da Mobilidade e dos Transportes de Portugal, UITP, JICA, AUMA, AFD, AECID, e outras, a pensar a longo prazo, para que as políticas públicas evoluam para dar resposta aos problemas do futuro.

Assim o Move-Maputo terá de crescer para além de 2027, eventualmente evoluindo para uma rede mista rodoferroviária, adaptando vias existentes ou expandindo a rede com novas vias. Os novos financiamentos devem ser preparados, quer para as infra-estruturas de transporte quer para a operação sustentável, sendo muito provável que haja um forte apoio público nas principais áreas metropolitanas.

Por fim, o mais importante: A AMT está a preparar jovens e outras instituições, com formação especializada, que vão criar e gerir as políticas públicas, sendo também necessário o reforço da educação nos níveis superiores e de liderança, para Moçambique num horizonte de pelo menos 25 anos. É assim essencial investir em Educação, Investigação e Inovação no sector de transportes, em cooperação internacional com empresas e universidades.

***Palavras-chave**:* políticas públicas, mobilidade sustentável, transportes, gestão, educação.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado nas cidades africanas tem colocado desafios complexos aos sistemas de transporte público, exigindo respostas institucionais e técnicas eficazes. Moçambique não é excepção. A Área Metropolitana de Maputo (AMM), que compreende os municípios de Maputo, Matola, Matola Rio, Boane, Marracuene, Manhiça e Namaacha enfrenta um cenário de congestionamento rodoviário extremo, a ineficiência do transporte informal e a baixa qualidade dos serviços aos passageiros. Nesse contexto, a criação da Agência Metropolitana de Transportes de Maputo (AMT) em 2018, e o lançamento do projeto MOVE-Maputo em 2022, constituem marcos importantes para a construção de um novo paradigma de mobilidade urbana sustentável.

2. ENQUADRAMENTO POLÍTICO E INSTITUCIONAL

A AMT foi criada como uma entidade pública, de natureza regulatória e de âmbito intermunicipal, com o mandato de planear, coordenar, regular e fiscalizar os serviços de transporte público de passageiros na AMM. Inspirada em modelos de governança metropolitanos internacionais, a AMT surge com o objectivo de harmonizar as políticas locais e nacionais de mobilidade. O seu enquadramento legal garante competências claras sobre planificação de redes de transportes públicos, incluindo tarifários, regimes de concessões e a integração modal.

Entre os principais desafios institucionais estão:

- Cooperação entre os municípios envolvidos;
- Capacidade técnica limitada no sector;
- Recursos humanos qualificados insuficientes;
- Regulação desactualizada e pouco focada numa visão de MaaS (mobilidade como serviço);
- Dependência de financiamentos externos;
- Necessidade de profissionalizar o transporte informal.

3. DIAGNÓSTICO DA MOBILIDADE URBANA NA AMM

Com uma população estimada em mais de 3,2 milhões em 2025, a AMM experimenta crescimento urbano acelerado. Estudos da JICA (2020) e do Banco Mundial (2022) revelam:

- Tempo médio de deslocação superior a 90 minutos/dia;
- Predominância do transporte informal (chapa 100);
- Baixa cobertura de transporte público regular;
- Elevado custo relativo da mobilidade para a população mais pobre;
- Elevadas taxas de emissão de GEE e acidentes rodoviários.

A ausência de corredores dedicados, de integração modal e de sistemas de bilhética são limitações críticas que motivaram a conceptualização do projecto MOVE-Maputo.

4. O Projecto MOVE-Maputo

O MOVE-Maputo é um projecto estruturante visando a modernização do transporte colectivo de passageiros na área metropolitana de Maputo (AMM), financiado pelo Banco Mundial, com implementação prevista até 2027. As suas componentes incluem:

- Implantação de um sistema BRT com faixas segregadas e capaz de transportar 100 passageiros por dia;
- Construção de terminais, paragens e centros de transferência, com elementos de acessibilidade universal e de intermodalidade incorporados no design;
- Introdução de um sistema de bilhética electrónica, com a perspectiva da integração modal e da expansão para todos os serviços de transporte publico;
- Integração tarifária com outros modos de transporte, incluindo sistemas de mobilidade activa;
- Profissionalização de operadores informais, capazes de mobilizar investimentos privados para a expansão do transporte publico metropolitano;
- Fortalecimento da AMT como uma entidade reguladora e capaz de gerir e enforcar a qualidade e a segurança dos serviços metropolitanos.

Espera-se que o sistema BRT melhore significativamente a eficiência operacional, a previsibilidade do serviço e a qualidade da experiência dos utentes.

5. IMPACTOS ESPERADOS

O MOVE-Maputo contribuirá para:

- Redução de pelo menos 25% do tempo médio de deslocação;
- Redução de 30% das emissões de CO_2 nas rotas atendidas;
- Aumento da segurança e acessibilidade para grupos vulneráveis;
- Geração de empregos formais no sector de transporte;
- Inclusão digital através da bilhética electrónica.

A experiência internacional (Bogotá, Lagos, Dar Es Salaam, Curitiba, Dakar) mostra que sistemas BRT bem implementados podem transformar radicalmente a mobilidade e o ordenamento urbano.

6. VANTAGENS DO MODELO METROPOLITANO ADOPTADO E SUA EXPANSÃO PARA OUTRAS CIDADES

6.1. O modelo metropolitano da AMT

O modelo metropolitano de gestão de transportes públicos, como o adoptado pela Agência Metropolitana de Transportes de Maputo (AMT), oferece diversas vantagens técnicas, operacionais, institucionais e financeiras.

6.1.1. Planeamento Integrado e Coordenado

- Permite a integração física, tarifária e operacional dos sistemas de transporte entre diferentes municípios e operadores.
- Garante coerência no desenvolvimento urbano e de infra-estrutura, alinhando políticas municipais e nacionais.

Exemplo: Uma linha de BRT pode atravessar vários municípios sob uma única autoridade, com padrão de serviço unificado.

6.1.2. Eficiência Operacional

- Possibilita a racionalização das rotas, evitando sobreposição de linhas e competição desordenada e danosa.
- Melhora o desempenho dos sistemas através de contractos baseados em indicadores de qualidade e desempenho.

6.1.3. Captação e Gestão de Financiamento

- A autoridade metropolitana é mais credível perante instituições financeiras internacionais (como o Banco Mundial, AFD ou JICA).
- Pode estruturar fundos metropolitanos de mobilidade e captar recursos para infra-estrutura e subsídios.

6.1.4. Formalização e Regulação do Transporte Informal

- Permite implementar programas de formalização gradual, integrando operadores informais em novas concessões ou cooperativas, comercialmente robustas e tecnicamente profissionais.
- Cria normas claras e mecanismos de fiscalização unificados.

6.1.5. Economias de Escala

- Contratações conjuntas de sistemas de bilhética, aquisição de frota ou sistemas de ITS (Intelligent Transport Systems) geram reduções de custo.
- Padronização técnica e operacional reduz custos administrativos e operacionais.

6.1.6. Gestão Profissionalizada e Transparente

- Possibilita a criação de corpos técnicos especializados, com carreira própria e formação contínua.
- Facilita a monitoria e avaliação de políticas públicas com indicadores confiáveis.

6.1.7. Foco na Sustentabilidade e Inclusão

- Garante que os investimentos considerem critérios ambientais, sociais e de acessibilidade.

- Ajuda a promover equidade territorial, evitando que bairros periféricos sejam excluídos do serviço de qualidade.
- Coloca o passageiro no centro do planeamento e do design de serviços.

6.1.8. Maior Resiliência e Capacidade de Inovação

- Cria uma base institucional sólida para implementar inovações tecnológicas (bilhética electrónica, mobilidade como serviço - MaaS).
- Melhora a capacidade de resposta a crises, como pandemias ou falhas energéticas.

6.2. Outras cidades moçambicanas de futura expansão

O modelo metropolitano tem potencial de replicabilidade para cidades como Beira, Nampula, Tete, Quelimane, Chimoio e Xai-Xai. Critérios técnicos para expansão incluem:

6.2.1. Critérios Demográficos e Urbanos

- Tamanho populacional mínimo: idealmente acima de 300.000 habitantes no conjunto da área candidata.
- Elevada densidade urbana e crescimento rápido da população urbana.
- Presença de aglomerados urbanos contíguos ou com forte interdependência funcional.

Exemplo: Nampula-Nampula-Rapale ou Beira-Dondo-Buzi.

6.2.2. Critérios Funcionais e de Mobilidade

- Movimentos pendulares intensos (fluxo diário de pessoas entre municípios para trabalho, escola, serviços, etc.).
- Existência de polos de actividade económica interligados (portos, indústrias, universidades, zonas comerciais).
- Problemas comuns de transporte: congestionamento, sobrecarga do transporte informal, baixa acessibilidade.

6.2.3. Critérios Institucionais e de Governança

- Vontade política e administrativa dos municípios em cooperar.
- Capacidade de criar uma autoridade regulador intermunicipal, com competências delegadas e financiamento partilhado.
- Existência de um quadro legal ou regulatório habilitante (como previsto no Regulamento de Transporte Terrestre revisto).

6.2.4. Critérios de Infra-estrutura e Planeamento

- Presença de infra-estruturas partilhadas ou conectáveis (estradas, terminais, estações ferroviárias).
- Existência ou viabilidade de elaboração de um Plano Metropolitano de Mobilidade Urbana (PMMU).
- Condições mínimas para introdução de sistemas integrados de transporte (bilhética, horários, tarifário).

6.2.5. Critérios Económicos e Financeiros

- Potencial de atracção de financiamento externo ou nacional para projectos estruturantes.
- Viabilidade de criação de fundos metropolitanos locais e de parcerias público-privadas.

Tabela 1 - Cidades Candidatas Potenciais

Região	Núcleo Principal	Municípios Associados	Justificação
Norte	Nampula	Rapale, Nacala	Maior centro urbano do Norte; polo logístico e universitário
Centro	Beira	Dondo, Buzi	Porto estratégico; forte urbanização; risco climático elevado
Sul	Xai-Xai	Chongoene, Bilene	Crescimento turístico e económico; necessidade de coordenação
Sul	Inhambane	Inhambane Maxixe Massinga	Crescimento turístico e económico; necessidade de coordenação
Centro	Tete	Moatize, Changara	Zona mineira; tráfego rodoviário e ferroviário intenso
Centro	Chimoio	Gondola	Eixo logístico Beira-Zimbabwe

A criação de agências metropolitanas similares é recomendada, garantindo alinhamento com o Plano Nacional de Desenvolvimento Urbano.

7. SUSTENTABILIDADE DO SISTEMA

Para garantir sustentabilidade de longo prazo:

- Deve-se calcular tarifa técnica baseada em CAPEX, OPEX, depreciação e remuneração do capital investido;
- Implementar subsídios cruzados e fundos metropolitanos de apoio ao investimento;
- Profissionalizar os operadores e garantir contratação de serviços por desempenho;
- Monitorar indicadores operacionais e de serviço.

8. Cooperação Internacional e Educação

A AMT estabeleceu parcerias com instituições como a FEUP, INEGI, AFD, JICA, UITP, entre outras. Estas alianças promovem:

- Transferência de conhecimento técnico;
- Formação de jovens engenheiros e gestores;
- Criação de redes de inovação.

É imperativo investir em educação superior especializada, centros de investigação e programas de liderança para formar quadros para os próximos 25 anos.

8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

8.1. Conclusões Principais

1. Necessidade de Governança Metropolitana Integrada. A AMM enfrenta desafios críticos como congestionamento extremo, transporte informal ineficiente e serviços precários. A criação da AMT permitiu articular uma resposta institucional e técnica mais eficaz.
2. Benefícios de um Modelo de Gestão Metropolitano. A AMT assegura a integração física, tarifária e operacional entre municípios e operadores, criando coerência entre políticas nacionais e locais de mobilidade.
3. O MOVE-Maputo como Projecto Transformador. O projecto trará impactos profundos na eficiência, segurança e sustentabilidade dos transportes, com ganhos directos em tempo de deslocação, emissões de CO_2 e inclusão social.

4. Modelo recomendável para outras cidades moçambicanas. O sucesso do modelo em Maputo serve de referência para cidades como Beira, Nampula, Chimoio, Quelimane e Tete, especialmente aquelas com núcleos urbanos contíguos.
5. Educação e Cooperação Internacional como Fatores-Chave. O futuro sustentável dos transportes depende da capacitação técnica e institucional, que deve ser alicerçada em formação superior e parcerias internacionais.

8.2. Recomendações

1. Reforçar o Modelo Institucional da AMT
   - Consolidar a AMT como entidade reguladora forte, com autoridade clara sobre planeamento, concessões, tarifários e fiscalização.
   - Estabelecer carreira técnica especializada e promover formação contínua.
2. Expandir o Modelo Metropolitano para Outras Cidades
   - Propor ao Governo delegações no futuro em cidades com alta densidade urbana e interdependência funcional.
   - Assegurar a base legal e a cooperação intermunicipal para partilha de competências e financiamento.
3. Investir em Sistemas Sustentáveis de Transporte
   - Implantar corredores BRT com bilhética electrónica e integração tarifária.
   - Implementar subsídios cruzados e fundos metropolitanos de mobilidade.
4. Formalizar o Transporte Informal
   - Integrar operadores informais em concessões baseadas em empresas profissionais de transporte público, transformando as actuais cooperativas.
   - Promover regras unificadas, fiscalização eficiente e apoio técnico-financeiro.
5. Promover Inclusão e Equidade Social
   - Garantir que os investimentos contemplem a acessibilidade universal e a cobertura das zonas periféricas e vulneráveis.
   - Focar no passageiro como centro do planeamento.
6. Assegurar Sustentabilidade Financeira
   - Calcular tarifas técnicas realistas baseadas em CAPEX[1] e OPEX[2].
   - Atrair investimento privado e financiamento internacional.
7. Fortalecer a Cooperação Internacional
   - Continuar a colaboração com instituições como FEUP, INEGI, JICA, AFD, UITP e outras.
   - Estimular a transferência de conhecimento e redes de inovação.
8. Criar uma Estratégia de Longo Prazo
   - Pensar para além de 2027, expandindo o MOVE-Maputo para redes mistas (rodoferroviárias).
   - Preparar novas fases de financiamento e adaptação de infra-estruturas

[1] **CAPEX (Capital Expenditure)**: São os **gastos de capital** utilizados para adquirir, construir ou melhorar activos de longo prazo, como autocarros, estações, vias exclusivas ou sistemas de bilhética electrónica

[2] **OPEX (Operational Expenditure)**: São os **gastos operacionais** recorrentes, relacionados com a operação e manutenção do sistema, como salários, combustível, seguros, limpeza, manutenção da frota e gestão diária do serviço

Não basta copiar o modelo de Maputo. Cada região deve adaptar a abordagem metropolitana às suas realidades demográficas, funcionais e institucionais — mas sempre com visão de integração, sustentabilidade e inclusão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Este artigo foi escrito com base nas experiências de longos anos dos autores, não tendo um carácter iminentemente científico. As referências bibliográficas são genéricas sendo de salientar:

AFD (2020). Financing Sustainable Urban Transport in Africa.

Banco Mundial (2022). Mozambique Urban Mobility Diagnostic.

Decreto de criação da AMT, Governo de Moçambique (2018).

ITDP (2019). The BRT Planning Guide.

JICA (2020). Study on Urban Transport in Maputo Metropolitan Area.

OECD (2022). Enhancing Skills and Training for Urban Mobility.

UITP (2021). Public Transport Governance in African Cities.

UN-Habitat (2020). World Cities Report.

World Bank (2020). *Metropolitan Transport Authorities: Institutional Models and Governance*.

ARTIGO Nº23466

MODELO DE NEGÓCIO NOS TRANSPORTES PÚBLICOS EM MAPUTO

António Matos[1,2], Armando Bembele[1,3], Gedeão Machaúre[1,4], Edilio Matsena[1,5], Fátima Arthur[1,6],

[1]Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Moçambique.
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Maputo, Moçambique
Emails: [2]antoniomatos61@gmail.com; [3]anbembele@gmail.com; [4]jedeao.alberto@yahoo.com.br;
[5]edilio.matsena@gmail.com; [6]Fatima Arthur; fatimaarthur@gmail.com

RESUMO

O transporte público desempenha um papel fundamental na mobilidade urbana de Maputo, garantindo acessibilidade e inclusão social. Nos últimos 15 anos, o governo de Moçambique implementou diferentes modelos de subsídios e financiamento para operadores privados. A fase inicial envolveu subsídios directos ao combustível, seguida pela aquisição de 1.000 autocarros pelo governo, que eram repassados aos operadores mediante pagamentos parcelados de um valor abaixo do valor de compra. No entanto, estes modelos não trouxeram um impacto desejável na mobilidade das populações, decaindo os seus indicadores de rendimento, ao longo do tempo, revelando fundamentalmente a falta de sustentabilidade devido a inúmeros factores. Nesta base, analisa-se diferentes modelos de remuneração pelo mundo fora, destacando suas vantagens, desafios e como podem ser integrados em políticas públicas para equilibrar eficiência económica, acessibilidade e qualidade do serviço.

Em todos os modelos examinados há sempre a necessidade de se ter um apoio do Governo central seja por via de alguns dispositivos de lei (isentando, por exemplo, certos impostos) até ao subsídio ao operador e/ou passageiro sob determinados critérios de rendimento e de mobilidade. A ideia é que o Governo possa cobrir a diferença entre o custo real da operação e a receita tarifária para garantir sustentabilidade financeira. Os operadores podem ser pagos com base na distância percorrida, independentemente da quantidade de passageiros transportados, podem receber uma remuneração baseada em indicadores de qualidade, como pontualidade, conservação da frota e satisfação dos passageiros ou podem ser pagos com a combinação de vários outros modelos, combinando subsídios públicos para cobrir custos fixos e uma parcela variável baseada no número de passageiros transportados.

São apresentadas outras ideias de gestão do fundo das tarifas, propondo-se centralizar todas as tarifas num Fundo Comum de Receita Tarifária gerido por um órgão público, que fará depois a sua distribuição conforme critérios como quilometragem rodada e atendimento à procura. Esse modelo promove equidade entre operadores, mas exige gestão transparente, incluindo um modelo de Leasing de autocarros, no qual os operadores alugam veículos do governo ou de uma instituição financeira. Existem duas variantes, na vertente de leasing Operacional: O operador paga uma taxa fixa para utilizar os autocarros, enquanto a manutenção e os seguros ficam a cargo do arrendador ou leasing com opção de compra: Permite que o operador adquira o veículo ao final do contrato, incentivando a conservação da frota.

Para garantir a viabilidade de qualquer modelo, sugere-se o uso de fontes complementares de financiamento, como, publicidade em autocarros e terminais, taxas urbanas e ambientais, incentivos fiscais e subsídios governamentais, parcerias com bancos comerciais para financiamento da frota, taxa de portagens, etc.

A implementação de um modelo sustentável e eficiente de transporte público pode resultar em:

- Operadores financeiramente estáveis, garantindo a continuidade dos serviços.
- Serviços de transporte acessíveis e confiáveis para a população.
- Redução do impacto ambiental, incentivando o uso de veículos menos poluentes.
- Maior inclusão social, permitindo mobilidade para todos os cidadãos, independentemente da renda.

A proposta destaca a necessidade de uma abordagem integrada, combinando subsídios inteligentes, participação do sector privado e mecanismos de financiamento modernos para transformar o transporte público de Maputo em um modelo eficiente e sustentável

***Palavras-chave**:* políticas públicas, mobilidade, transportes, gestão, modelo negócios.

1. INTRODUÇÃO

O transporte público urbano é um dos pilares da mobilidade sustentável nos grandes centros urbanos em crescimento acelerado, como é o caso da área metropolitana de Maputo. Ao longo das últimas décadas, o Governo de Moçambique experimentou diferentes modelos de financiamento e subsídio aos operadores, com impactos variados. Este artigo visa analisar a evolução dos modelos de negócio aplicados, explorar referências internacionais e propor um quadro mais sustentável e eficaz para o contexto metropolitano de Maputo.

2. EVOLUÇÃO DOS MODELOS DE FINANCIAMENTO EM MOÇAMBIQUE

2.1. Subsídios Directos

Não recuando muito no tempo, em Moçambique, os Ministros dos Transportes e Comunicações e da Economia e Finanças alteraram o modelo de subsídio que vinha sendo concedido aos operadores privados, antes de 2015, através de um despacho conjunto assinado em Abril de 2017, passando-se a se dedicar os recursos na aquisição de meios circulantes de transporte público ao invés do subsídio directo aos operadores dado impacto da subida do preço do diesel na estrutura dos custos operacionais. Esta ideia, na altura devidamente aplaudida pela comunidade e operadores, foi, com o tempo, demonstrando limitações significativas quanto à sua eficácia e sustentabilidade.

A partir de 2017, o Governo central iniciou a introdução de 300 autocarros a serem operados pelo sector privado em substituição do transporte informal, ao abrigo do plano governamental designado como plano 1,000 que consistia na distribuição de 1,000 autocarros no país durante o período do ciclo governamental. As intervenções do Estado procuravam solucionar a precariedade na oferta do serviço de transporte publico o que tinha implicações variadas, como por exemplo, restringir as oportunidades de trabalho dos mais carenciados e condicionar as escolhas do local de moradia, bem assim, dificultar ainda mais, o acesso aos serviços de saúde, educação, entre outros, para além do acesso ao emprego, fonte de rendimento, para a melhoria das condições de vida das populações residentes nestas áreas.

Em 2022, a maior parte dos municípios actualizaram a tarifa do transporte público urbano de passageiros, que já não era alterada há mais de 5 anos. Apesar deste reajustamento não se encontrar no nível que permita atrair investimentos privados, as tarifas representam ainda hoje um grande impacto no orçamento familiar, acima dos 20%, sobretudo nas de baixa renda.

2.2. Entrega de Frota com Financiamento Facilitado

Com o plano 1,000, o governo, a partir de 2017 e até 2024, adquiriu cerca de 800 autocarros e transferiu-os aos operadores por meio de esquemas de pagamento parcelado a valores subsidiados. Embora a iniciativa tenha representado um esforço significativo em termos de investimento público, seu impacto revelou-se limitado e insustentável a médio prazo.

2.2.1. Impactos Positivos Iniciais

Reforço temporário da frota

- Aumentou-se a capacidade de transporte em centros urbanos do país com destaque para Maputo, Matola, Beira e Nampula.
- Melhorou-se parcialmente a frequência e cobertura de algumas linhas durante os primeiros anos de implementação.

Formalização Parcial do Sector

- Incentivou-se a entrada de operadores organizados e facilitou-se a transição de algumas operações do sector informal para o formal.

2.2.2. Principais Limitações e Impactos Negativos

Baixa Sustentabilidade Financeira dos Operadores

- Muitos operadores não conseguiram cumprir os pagamentos mensais, mesmo sendo subsidiados, devido à tarifa pública baixa, custos operacionais elevados (combustível, manutenção) e má gestão.

Manutenção Deficiente e Degradação Acelerada da Frota

- A ausência de requisitos rígidos de manutenção, fraca fiscalização e falta de incentivos à conservação resultaram na rápida deterioração dos veículos.

Fraca Capacitação Técnica e Institucional

- Os operadores beneficiários, em muitos casos, não possuíam estrutura técnica, financeira ou administrativa para gerir eficientemente uma frota moderna.

Impacto Limitado na Mobilidade Urbana

- Apesar do esforço financeiro, a melhoria na mobilidade não foi a esperada, face ao investimento realizado.
- Indicadores de acessibilidade, cobertura e confiabilidade não apresentaram ganhos estruturais duradouros.

2.2.3. Lições Aprendidas

- A entrega de activos (frota) sem modelo institucional e regulatório robusto não é suficiente para garantir um sistema de transporte eficaz.
- Subvenções devem estar atreladas ao desempenho e indicadores de qualidade, e não apenas à posse da frota.
- A ausência de um Fundo de Receita Tarifária centralizado, de modelos de leasing com manutenção integrada, e de contractos de desempenho, comprometeu a eficácia do plano.
- Faltou apoio complementar em formação, gestão e sistemas de controlo.

3. DIAGNÓSTICO DA SUSTENTABILIDADE DOS MODELOS ACTUAIS

As iniciativas mencionadas não foram suficientes para melhorar os indicadores de desempenho da mobilidade urbana, revelando:

- Falta de sustentabilidade económica dos operadores;
- Baixa qualidade do serviço prestado;

- Elevada rotatividade e informalidade no sector;
- Débil capacidade de fiscalização e gestão dos contractos.

Por outro lado, os recursos humanos qualificados, a devida regulação (tarifas e concessões), a formalização de empresas profissionais, a ausência de plataformas informáticas robustas e eficientes (na bilhética electrónica, na gestão de frotas e horários, na informação ao publico) e a ausência da integração modal, também contribuíram para o menor impacto na mobilidade.

4. MODELOS INTERNACIONAIS DE REMUNERAÇÃO

4.1. Tipos de modelos

Existem várias formas de subsidiar os transportes públicos a nível internacional para torná-los mais acessíveis e sustentáveis, nomeadamente:

Subsídios directos: Governos ou autoridades locais podem conceder subsídios financeiros directos às empresas de transporte público para cobrir parte dos custos operacionais, como manutenção de veículos, combustível, etc.

Subsídios de capital: Subsídios para investimentos em infra-estrutura de transporte público, como a compra de novos meios de transporte ou a construção e manutenção de estações e terminais.

Subsídios tarifários: Redução do custo das tarifas para os usuários, muitas vezes através de passes subsidiados, bilhetes gratuitos para grupos específicos (como idosos, estudantes, pessoas com deficiência) ou descontos para usuários frequentes.

Subsídios cruzados: Utilização de receitas de outras fontes públicas, como impostos gerais, para subsidiar o transporte público. Isso pode incluir fundos provenientes de impostos sobre combustíveis, taxas de congestionamento, ou outras formas de arrecadação fiscal.

Parcerias público-privadas (PPP): Envolve a colaboração entre o setor público e empresas privadas para financiar e operar serviços de transporte público, muitas vezes com o governo fornecendo subsídios ou incentivos financeiros.

Incentivos fiscais: Redução ou isenção de impostos para empresas de transporte público, fabricantes de veículos eléctricos ou fornecedores de infra-estrutura que promovam a sustentabilidade e eficiência energética.

Financiamento externo: Uso de empréstimos internacionais, subsídios de desenvolvimento ou doações de organizações internacionais para melhorar a infra-estrutura e os serviços de transporte público.

Da avaliação do Plano 1,000 as lições aprendidas indicam que o modelo do Estado comprar os meios e entregar aos operadores não teve o melhor sucesso, uma vez que as letras subsidiadas mensais a serem pagas pelos operadores não teve o retorno desejado.

4.2. Tipos de remuneração

Experiências globais internacionais oferecem alternativas viáveis, com diferentes estruturas de remuneração aos operadores.

Remuneração por Quilómetro Rodado
Os operadores recebem com base na distância percorrida, garantindo previsibilidade de receitas.

Remuneração por Indicadores de Qualidade
Inclui critérios como pontualidade, disponibilidade da frota, satisfação dos passageiros e cumprimento do plano de serviço.

Modelos Híbridos

Combinam subsídios fixos (para CAPEX/OPEX) com incentivos variáveis baseados em indicadores de desempenho e número de passageiros transportados.

4.3. Gestão do Fundo Tarifário

Há países que centralizam a receita de todas as tarifas num Fundo Comum de Receita Tarifária, gerido por entidade pública, que redistribui os recursos com base em:

- Quilometragem rodada;
- Atendimento à procura (equidade territorial);
- Cumprimento de metas de qualidade.

Este modelo exige transparência, sistemas de bilhética inteligente e auditoria independente.

4.4. Leasing de Frota como Alternativa Estratégica

Leasing Operacional

O operador paga uma taxa mensal fixa e o arrendador (público ou privado) mantém a responsabilidade pela manutenção e seguro.

Leasing com Opção de Compra

Ao final do contracto, o operador pode adquirir o veículo, promovendo conservação e responsabilização pela frota.

4.5. Fontes Complementares de Financiamento

Para assegurar sustentabilidade, propõem-se ainda fontes alternativas:

- Publicidade em autocarros e terminais;
- Taxas urbanas e ambientais;
- Incentivos fiscais para operadores formais;
- Taxas de portagens;
- Parcerias público-privadas com instituições financeiras;
- Contribuições intermunicipais em áreas metropolitanas.

4.6. Benefícios de um Modelo Sustentável

A adopção de um modelo eficiente pode gerar:

- Estabilidade financeira dos operadores;
- Serviços regulares e confiáveis para os cidadãos;
- Redução de emissões com veículos menos poluentes;
- Inclusão social, ampliando o acesso à educação, saúde e emprego.

Na tabela 1 apresentamos um quadro comparativo internacional, que implementaram boas práticas no modelo de negócios para transportes públicos, com foco na remuneração de operadores, integração tarifária, financiamento e regulação institucional.

Tabela 1 - Comparativo: Melhores Práticas em Modelos de Negócio no Transporte Público

País / Cidade	Modelo de Negócio	Estratégia-Chave Adoptada	Resultados Relevantes
África do Sul (Cidade do Cabo / Rea Vaya - Joanesburgo)	Contractos de concessão com remuneração por km + indicadores de desempenho	Formalização de operadores informais com subsídios de transição e contractos públicos	Integração parcial, maior qualidade e estabilidade para operadores
Quénia (Nairobi BRT - em implementação)	Parcerias público-privadas com leasing de frota e operador privado	Criação de autoridade metropolitana (NAMATA), sistema de bilhética electrónica planejado	Modelo promissor de PPP em fase piloto com apoio multilateral
Costa do Marfim (Abidjan - SOTRA)	Empresa pública operando sob regulação estatal e com subsídios directos	Plano urbano de mobilidade, frota própria, foco em integração física e tarifária	Cobertura crescente com frota renovada e investimentos contínuos
Senegal (Dakar BRT)	Parceria público-privada com operador internacional; remuneração por km + bónus	Fundo de mobilidade, financiamento multilateral, bilhética integrada	Sistema em fase final de implementação com forte regulação
Marrocos (Casablanca / Rabat)	Concessões a operadores privados (como RATP Dev), integração tarifária regional	Planos directores regionais, bilhética única, regulação metropolitana	Melhoria na qualidade, racionalização de rotas, imagem profissional
Brasil (Curitiba)	Remuneração por km rodado + tarifa técnica calculada com base em custos reais	Fundo único tarifário, contractos de longo prazo, bilhética integrada	Eficiência operacional, previsibilidade e inovação contínua
Chile (Santiago - Red Metropolitana)	Remuneração híbrida (km + qualidade), operadores privados sob gestão centralizada	Subvenção pública forte, sistema de bilhética e central de controle unificada	Aumento de qualidade e racionalização após reformas
França (Paris - Île-de-France Mobilités)	Contractos de performance com operadores públicos e privados; tarifa integrada regional	Governança metropolitana forte, subsídio cruzado, integração intermodal	Alta cobertura, confiabilidade e eficiência financeira
Reino Unido (Londres - TfL)	Remuneração por desempenho (km + pontualidade); autoridade central com controle total	Frota contratada, receita centralizada, sistema de bilhética (Oyster Card)	Sistema altamente eficiente e subsidiado com recursos locais e centrais

4.7. Lições Transversais

- Separação entre regulação e operação é essencial.
- Remuneração baseada em desempenho e km rodado traz previsibilidade e qualidade.
- Fundo tarifário centralizado permite equilíbrio financeiro entre operadores.

- Integração tarifária e física melhora a atractividade e eficiência do sistema.
- Subvenção pública inteligente é indispensável para manter a equidade e sustentabilidade.

5. MODELO TARIFÁRIO

5.1. Estruturação de um Modelo Tarifário e de Remuneração Sustentável

- Cálculo da tarifa técnica com base em:
  - Custos reais (CAPEX + OPEX + depreciação + remuneração de capital).
  - Projecções de procura.
- Tarifa pública ajustada à capacidade de pagamento dos usuários.
- Subvenção equilibrada:
  - Subsídio directo ao operador (para custos fixos).
  - Subsídio ao passageiro vulnerável (tarifa social).
- Remuneração híbrida:
  - Por km rodado (garante estabilidade financeira).
  - Com bónus/pênaltis por qualidade (pontualidade, conservação, satisfação).

5.2. Criação de um Fundo Comum de Receita Tarifária

- Todas as receitas (tarifas, publicidade, multas, contribuições urbanas) devem ser centralizadas.
- O fundo deve ser gerido por um órgão público independente, com regras claras e relatórios periódicos.
- A distribuição para os operadores deve seguir critérios técnicos e metas de desempenho.

5.2. Modelos de Leasing e Renovação de Frota

- Leasing operacional com manutenção incluída.
- Leasing com opção de compra para promover a responsabilização.
- Estabelecimento de um Fundo de Garantia de Frota com apoio de bancos ou do Estado.

5.3. Planeamento Integrado da Rede de Transportes

- Desenho da rede por zonas de influência e densidade.
- Integração modal (autocarros, minibus, táxis, bicicleta, a pé).
- Centros de transferência e bilhética única para facilitar a mobilidade intermodal.

5.4. Fontes de Financiamento Complementar

- Taxas de urbanização (valorização fundiária).
- Publicidade em veículos e terminais.
- Contrapartidas de grandes projectos imobiliários.
- Acesso a linhas verdes de financiamento internacional (ZEB, JIVE, GCF etc.).

5.5. Monitoramento, Avaliação e Transparência

- Indicadores públicos de qualidade, pontualidade, frequência e cobertura.
- Auditoria periódica dos contractos e relatórios financeiros.
- Mecanismos de participação pública e escuta activa dos utentes.

5.6. Envolvimento do Sector Privado e Transição do Informal

- Formalização gradual com incentivos (financiamento, formação, contractos de serviço).
- Inclusão dos actuais operadores informais em novas cooperativas ou empresas.
- Regras claras e apoio técnico para adaptação.

5.7. Campanhas de Educação e Valorização do Transporte Público

- Sensibilização sobre os benefícios colectivos: ambientais, sociais e económicos.
- Apoio à mudança de comportamento (do carro para o transporte colectivo).

5.8. Sobre o pilar regulatório
Para melhorar os serviços de transportes públicos na Área Metropolitana de Maputo (AMM), é essencial aprovar e implementar um conjunto de documentos regulatórios estratégicos e operacionais. Abaixo estão as nossas propostas principais:

5.9. Regulamento Metropolitano de Transporte Público
Define regras para operação, qualidade de serviço, integração modal, fiscalização e penalizações. Deve incluir:
- Tipologia de serviços da rede estrutural (BRT, alimentadores, minibus, etc.);
- Padrões mínimos de qualidade e acessibilidade;
- Regras de integração física e tarifária.

5.10. Plano Director de Mobilidade Urbana e Transporte Público
Instrumento estratégico que define a visão, metas e prioridades para o sistema metropolitano, incluindo:
- Hierarquia da rede;
- Corredores prioritários;
- Intermodalidade e cobertura territorial;
- Zoneamento e conectividade.

5.11. Política Tarifária Metropolitana
Estabelece:
- Princípios de formação da tarifa (técnica e pública);
- Modelos de subsídio (ao operador, passageiro ou híbrido);
- Critérios de isenções e tarifas sociais.

5.12. Regulamento do Fundo Metropolitano de Mobilidade
Normas para a criação e gestão de um Fundo de Receita Tarifária e de subsídios, com fontes, mecanismos de redistribuição e transparência.

5.13. Contractos-Tipo de Concessão ou Delegação de Serviço
Modelos-padrão de contractos entre a AMT e operadores que definam:
- Remuneração por desempenho;
- Indicadores de qualidade;
- Penalizações por incumprimento;
- Obrigações de reporte e transparência.

5.14. Normas Técnicas para Frota e Infra-estruturas
Especificações obrigatórias para:
- Veículos (acessibilidade, emissões, segurança);
- Paragens, terminais e interfaces;
- Equipamentos electrónicos (bilhética, GPS, CCTV).

5.15. Plano de Formalização e Integração do Transporte Informal
Documento que defina:
- Critérios para transição de operadores informais;
- Incentivos à legalização;
- Modelos de associação/cooperativas.

5.16. Manual de Fiscalização e Monitoramento
Procedimentos e instrumentos para:
- Avaliação de desempenho dos operadores;
- Fiscalização de horários, rotas, segurança e manutenção.

6.- CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

As nossas conclusões e recomendações para estabelecer o melhor modelo de negócios do transporte público em Moçambique destacam a necessidade de um sistema equilibrado, sustentável e focado no cidadão, com forte regulação, financiamento estruturado e inclusão social.

6.1. Conclusões sobre o Modelo de Negócio no Transporte Público

1. Modelos passados foram ineficientes
   - A simples entrega de autocarros a operadores, sem modelo regulatório robusto e apoio técnico, não garantiu melhorias sustentáveis.
   - Baixa capacidade de gestão, manutenção deficiente, tarifas públicas desajustadas e falta de fiscalização comprometeram os resultados esperados.

2. Falta de articulação institucional
   - Não houve coordenação eficaz entre regulação, planeamento e operação.
   - Ausência de instrumentos como contractos de desempenho, bilhética electrónica, sistemas de monitoramento e Fundo Tarifário centralizado.

3. Subvenções mal direccionadas
   - Subsídios baseados na posse da frota ou combustível não garantem qualidade nem eficiência.
   - É necessário um novo modelo baseado em remuneração por desempenho e quilometragem.

6.2. Recomendações para o Melhor Modelo de Negócio

6.2.1. Modelo Integrado e Desempenho-Orientado

- Adoptar remuneração híbrida:
  - Parte fixa por km rodado (garante estabilidade);
  - Parte variável baseada em qualidade (pontualidade, satisfação do passageiro, conservação da frota).

6.2.2. Fundo Comum de Receita Tarifária

- Centralizar todas as receitas (bilhetes, publicidade, multas) num fundo público transparente.
- Redistribuir com base em critérios técnicos, metas de qualidade e equidade territorial.

6.2.3. Tarifa Técnica + Subvenção Social

- Calcular tarifas técnicas realistas (baseadas em CAPEX + OPEX + margem de lucro).
- Oferecer tarifas sociais para grupos vulneráveis, com subsídios ao passageiro.

6.2.4. Modelos de Leasing com Garantias

- Usar leasing operacional com manutenção incluída, ou leasing com opção de compra para incentivar a conservação da frota.
- Criar um Fundo de Garantia para apoiar o leasing via bancos públicos ou parceiros.

6.2.5. Regulação Moderna e Contractos de Concessão

- Elaborar regulamentos específicos com:
  - Padrões de qualidade e acessibilidade;
  - Regras de operação, fiscalização e penalização;
  - Modelos de concessão por desempenho.

6.2.6. Integração Modal e Planeamento Urbano

- Integrar autocarros, minibus, bicicleta e mobilidade a pé com centros de transferência intermodais.
- Implementar bilhética única e sistemas ITS (gestão inteligente do transporte).

6.2.7. Diversificar Fontes de Financiamento

- Taxas urbanas e ambientais;
- Publicidade em veículos e terminais;
- Contrapartidas de grandes projectos imobiliários;
- Financiamentos verdes e parcerias internacionais.

6.3. Importância Social, Económica e Ambiental do Tema

Tabela 2 - Importância Social, Económica e Ambiental do Tema

Área	Contribuição do Modelo Ideal
Social	Acessibilidade ao emprego, saúde, educação e inclusão dos grupos mais pobres; mobilidade digna e segura para todos.
Económica	Redução de custos com congestionamento, aumento da produtividade, geração de empregos formais e dinamização urbana.
Ambiental	Menor emissão de gases poluentes, menor uso do transporte individual e incentivo à mobilidade sustentável.

Mensagem Final dos autores

Um bom modelo de negócios no transporte público é mais que uma solução técnica — é um investimento em equidade social, dinamismo económico e sustentabilidade ambiental. Moçambique tem agora a oportunidade de implementar um sistema profissional, transparente e eficiente que traga benefícios concretos a milhões de cidadãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Este artigo foi escrito com base nas experiências de longos anos dos autores, não tendo um carácter iminentemente científico. As referências bibliográficas são genéricas sendo de salientar:

- GIZ (2019). Sustainable Urban Transport: A Guide for Policy Makers in Developing Cities.
- ITDP (2018). BRT Planning Guide.
- Ministério dos Transportes e Comunicações de Moçambique (2022). Plano Estratégico para a Mobilidade Urbana.
- UITP (2023). Public Transport Trends in Africa. União Internacional de Transporte Público.
- World Bank (2020). Global Urban Mobility Framework.

ARTIGO Nº23467

A REFORMA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS NA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO

António Matos[1,2], Armando Bembele[1,4], Anulávio Máximo[1,5], Edilio Matsena[1,3]

[1]Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia; antoniomatos61@gmail.com
[3] Empresa Municipal de Transportes Públicos de Maputo
Emails: [4]anbembele@gmail.com; [5]anulavio@gmail.com; [3]edilio.matsena@gmail.com

RESUMO

A reforma do sector de transportes públicos na Área Metropolitana de Maputo (AMM) exige uma abordagem integrada que aborde os desafios estruturais, operacionais e financeiros do sistema. Neste artigo os autores propõem os principais vectores necessários para uma reforma eficaz, com destaque para:

1. Melhoria da Infra-estrutura de Transporte

- Criação de corredores exclusivos para transporte público (Bus Rapid Transit - BRT) para reduzir congestionamentos e melhorar a eficiência.
- Requalificação e ampliação dos terminais e paragens de autocarros para oferecer mais conforto e acessibilidade aos passageiros.
- Investimento na pavimentação e manutenção das vias utilizadas pelo transporte público.
- Expansão e integração de ciclovias e passeios para incentivar a mobilidade sustentável.

2. Formalização do Transporte Informal

- Licenciamento e regulamentação dos operadores informais, garantindo padrões mínimos de qualidade e segurança.
- Criação de incentivos para que os operadores informais se formalizem, como acesso a financiamento e capacitação.
- Integração dos operadores informais ao sistema de transporte público formal, garantindo uma rede de transporte mais eficiente e coordenada.
- Definição de rotas e horários para reduzir a competição desorganizada entre operadores formais e informais.

3. Implementação de um Sistema de Gestão e Controle

- Uso de tecnologia para bilhetagem electrónica, garantindo mais transparência na arrecadação e na distribuição da receita.
- Monitoramento digital dos veículos, utilizando GPS para otimizar rotas e reduzir atrasos.
- Criação de um sistema de fiscalização eficiente para garantir que operadores cumpram as regulamentações.

4. Integração dos Modos de Transporte

- Criação de um sistema de bilhete único, permitindo que os passageiros utilizem diferentes meios de transporte com uma única tarifa.
- Integração dos autocarros, comboios e transportes alternativos para criar um sistema de transporte intermodal.

- Melhoria na conectividade entre diferentes pontos da AMM, garantindo menos tempo de espera e deslocamento.

5. Sustentabilidade Financeira

- Diversificação das fontes de financiamento, incluindo parcerias público-privadas (PPP), fundos de mobilidade e subsídios do governo.
- Exploração de receitas alternativas, como publicidade em veículos e concessões comerciais em terminais.
- Revisão da estrutura tarifária, garantindo que as tarifas sejam acessíveis aos passageiros, mas também sustentáveis para os operadores.

6. Qualificação e Profissionalização dos Operadores e gestores

- Treinamento contínuo de motoristas e cobradores para melhorar a segurança e o atendimento ao público.
- Capacitação de gestores e operadores do transporte público para otimizar o planejamento e a operação do sistema.
- Criação de políticas trabalhistas mais justas, garantindo melhores condições de trabalho para os profissionais do sector.

7. Políticas de Sustentabilidade e Redução de Impacto Ambiental

- Incentivo à adopção de veículos menos poluentes, como autocarros eléctricos ou a gás natural.
- Criação de políticas para reduzir a emissão de gases poluentes, promovendo um transporte mais sustentável.
- Desenvolvimento de infraestrutura para meios de transporte não motorizados, como bicicletas e pedestres.

8. Governança e Coordenação Institucional

- Reforço do papel dos Municipios nos processos de decisão da Agência Metropolitana de Transportes (AMT) para coordenar e regulamentar, criando o conselho metropolitano, presidido por um dos presidentes dos municípios da AMM, e criando o conselho técnico metropolitano formado pelos vereadores da área, responsável pela definição de regras, fiscalização e planeamento.
- Estabelecimento de parcerias entre o governo, sector privado e sociedade civil para garantir a implementação das reformas.
- Criação da polícia metropolitana da AMM com a integração das policias municipais

A reforma do sector de transportes públicos na Área Metropolitana de Maputo exige prioridade de investimentos na infra-estrutura, formalização do sector informal, gestão eficiente, sustentabilidade financeira e melhoria da qualidade do serviço. A integração entre os diferentes meios de transporte, aliada a uma governança metropolitana eficaz e à adopção de novas tecnologias, permitirá um sistema mais moderno, acessível e eficiente para atender às necessidades da população. A participação do governo, operadores privados e da sociedade é essencial para garantir que essas mudanças sejam implementadas de forma sustentável e com impacto positivo a longo prazo.

***Palavras-chave**:* políticas públicas, mobilidade, transportes, gestão, modelo negócios.

1. INTRODUÇÃO

A situação actual dos transportes públicos na Área Metropolitana de Maputo (AMM) em Moçambique, revela debilidades estruturais, financeiras e operacionais. O modelo vigente, centrado na entrega directa de activos (autocarros) sem suporte institucional robusto, revelou-se insustentável a médio longo prazo. A reforma do modelo de negócio é, portanto, uma condição indispensável para garantir um sistema de mobilidade urbana eficiente, acessível e sustentável.

2. JUSTIFICATIVO TÉCNICO

A análise histórica dos subsídios (subsídio ao combustível, entrega de frota e outros apoios directos ou indirectos do Governo central) mostra que:

- Não houve ganhos estruturais duradouros em cobertura, frequência ou qualidade de serviço;
- Faltaram instrumentos de regulação eficaz, fiscalização, monitoramento e avaliação contínua;
- A ausência de um fundo tarifário comum e de remuneração baseada em desempenho fragilizou os operadores.

3. FUNDAMENTOS DA ABORDAGEM INTEGRADA

3.1. Pilar Institucional

- Separação clara entre planeamento, regulação, operação e financiamento;
- Fortalecimento do papel da Agência Metropolitana de Transportes com apoio nos processos de decisão, dos municípios através do Conselho Metropolitano da área metropolitana de Maputo;
- Criação de contractos-tipo com indicadores de desempenho, penalizações e obrigações de transparência

3.2. Pilar Operacional e Tecnológico

- Implementação de sistema de bilhética electrónica, GPS, fiscalização digital e plataformas de gestão da frota;
- Definição de rede estrutural com corredores prioritários (como BRT), alimentadores e integração modal entre autocarros, minibus e modos suaves.

3.3. Pilar Financeiro

- Criação de um Fundo Comum de Receita Tarifária;
- Remuneração híbrida: por km rodado + qualidade + tarifa técnica ajustada à realidade económica;
- Fontes complementares: publicidade, taxas urbanas e ambientais, parcerias com bancos e doadores internacionais.

3.4. Pilar Ambiental e Sustentável

- Transição para autocarros menos poluentes (eléctricos ou GNV);
- Infra-estruturas de apoio à mobilidade activa (bicicletas e pedestres);
- Acesso a fundos internacionais de transição verde (ZEB, JIVE, GCF).

3.5. Pilar Social e Inclusivo

- Subsídios inteligentes para passageiros vulneráveis;
- Inclusão dos operadores informais mediante incentivos à formalização e profissionalização;
- Formação contínua para condutores e gestores

4. REFERÊNCIAS ÀS MELHORES PRÁTICAS INTERNACIONAIS

Modelos aplicados com sucesso em cidades como Curitiba (Brasil), Paris (França), Londres (Reino Unido), Dakar (Senegal) e Abidjan (Costa do Marfim) demonstram que:

- A remuneração por desempenho e quilometragem promove previsibilidade financeira;
- O fundo tarifário centralizado assegura equidade entre operadores;
- A separação entre regulador e operador é vital para evitar conflitos de interesse;
- A bilhética integrada e o planeamento metropolitano elevam a eficiência e atractividade do transporte colectivo.

5. TEMAS DE REFLEXÃO NO ÂMBITO DAS REFORMAS

5.1 Como fazermos a reforma na área metropolitana de Maputo

Fazer uma reforma moderna do modelo de negócio dos transportes públicos na área metropolitana de Maputo, dadas as condições actuais do país, exige uma abordagem progressiva, realista e adaptada ao contexto nacional, considerando limitações institucionais, financeiras, técnicas e sociais. A seguir, apresentamos uma proposta de roteiro prático e fundamentado para a implementação dessa reforma:

5.1.1. Diagnóstico Realista e Mobilização Política

Objectivo: Ter clareza sobre os problemas reais e garantir apoio político.

- Avaliar profundamente o modelo actual, com foco em:
  - Sustentabilidade financeira dos operadores;
  - Eficiência da oferta (frequência, cobertura, confiabilidade);
  - Nível de informalidade e capacidade institucional;
- Mobilizar os decisores públicos e parceiros internacionais, promovendo o tema como prioridade de desenvolvimento urbano, social e económico;
- Criar consenso político e intermunicipal, através da reativação e fortalecimento do Conselho Metropolitano de Transportes (já previsto nos documentos da AMT).

5.1.2. Reforço Institucional e Regulação

Objectivo: Criar uma base institucional sólida e eficaz.

- Rever o quadro legal e os decretos da AMT, ampliando as suas competências de regulação, planeamento e fiscalização;
- Aprovar um pacote regulatório metropolitano, incluindo:
  - Regulamento de operação e concessão;
  - Política tarifária metropolitana (com critérios sociais e técnicos);
  - Regulamento do Fundo Metropolitano de Mobilidade;
- Separar claramente os papéis: AMT como reguladora; operadores públicos/privados como executores.

5.1.3. Introdução de Contractos Baseados em Desempenho

Objectivo: Remunerar os operadores por resultados, e não apenas por existência de frota.

- Substituir contractos informais e transformar cooperativas em empresas profissionais por concessões reguladas, com:
  - Remuneração por quilómetro rodado;
  - Bónus por qualidade (pontualidade, conservação, satisfação do utente);
  - Penalizações por incumprimento;
- Criar contractos-tipo para facilitar replicação em diferentes cidades.

5.1.4. Criação de um Fundo Tarifário Comum e Transparente

Objectivo: Equilibrar os fluxos financeiros e garantir sustentabilidade.

- Centralizar as receitas tarifárias (incluindo tarifas, publicidade, multas e taxas urbanas);
- Definir critérios técnicos de redistribuição entre operadores;
- Assegurar transparência com auditorias e relatórios públicos periódicos.

5.1.5. Formalização Progressiva do Sector Informal

Objectivo: Integrar os operadores informais em estruturas formais.

- Criar incentivos para formalização: acesso a leasing, linhas de financiamento, capacitação;
- Transformar operadores individuais em cooperativas ou empresas;
- Desenhar um plano de transição com cronograma realista, evitando conflitos sociais.

5.1.6. Renovação e Gestão da Frota com Leasing Público ou PPPs

Objectivo: Substituir frota antiga sem comprometer as finanças dos operadores.

- Criar um programa de leasing operacional com manutenção incluída, usando fundos do Estado ou bancos de desenvolvimento;
- Estabelecer contractos de leasing com opção de compra para reforçar a responsabilidade dos operadores;
- Procurar apoio técnico e financeiro de parceiros como o Banco Mundial, GIZ, AfDB, etc.

5.1.7. Implantação Gradual da Bilhética Electrónica e Controle Digital

Objectivo: Garantir arrecadação transparente e dados de operação.

- Iniciar projectos piloto em corredores prioritários, com bilhetes electrónicos e GPS;
- Integrar sistemas de bilhética com central de dados gerida pela AMT;
- Capacitar técnicos e gestores para gestão digital e uso de dados.

5.1.8. Sustentabilidade Financeira e Ambiental

Objectivo: Reduzir custos, atrair recursos e mitigar impacto ambiental.

- Rever a tarifa técnica com base em custos reais, aplicando subsídios sociais conforme vulnerabilidade;
- Explorar fontes alternativas: publicidade, taxas urbanas, contribuição de projectos imobiliários;
- Adoptar gradualmente tecnologias limpas (GNV, eléctricos) com apoio de fundos climáticos internacionais (ZEB, GCF).

5.1.9. Comunicação Pública e Valorização do Transporte Coletivo

Objectivo: Reforçar a confiança dos cidadãos e mudar comportamentos.

- Realizar campanhas públicas sobre os benefícios do transporte colectivo;
- Divulgar dados de desempenho e avanços da reforma;
- Educar sobre os custos do uso excessivo do carro e os benefícios ambientais da mudança modal.

5.1.10. Monitoramento, Avaliação e Aprendizado Contínuo

Objectivo: Corrigir rotas e garantir continuidade.

- Estabelecer indicadores-chave de desempenho (KPI) de cobertura, pontualidade, satisfação, sustentabilidade;
- Publicar relatórios anuais de mobilidade metropolitana;
- Revisar os contractos e modelos a cada 3-5 anos com base em evidência.

5.2. A importante transformação do sector informal de transporte publico

Transformar o sector informal de transporte público em formal pode ser um desafio, mas é possível com a implementação de políticas e estratégias adequadas. Aqui estão algumas sugestões:

1. Regulamentação e licenciamento: o primeiro passo seria criar regulamentações e leis que regulem o sector de transporte público. Essas leis devem ser aplicadas rigorosamente e os motoristas devem ser licenciados de acordo com as normas estabelecidas.
2. Treinamento e certificação: fornecer treinamento e certificação aos motoristas pode melhorar a segurança nas estradas e a qualidade do serviço prestado. Além disso, é importante enfatizar a importância do cumprimento das leis e regulamentos.
3. Promoção da cooperação: incentivar a cooperação entre as empresas de transporte público e as autoridades governamentais pode ajudar a melhorar a eficiência do sector. As empresas podem trabalhar em conjunto para melhorar a qualidade do serviço, como a manutenção dos veículos, e as autoridades podem fornecer suporte regulatório e financeiro.
4. Investimento em infra-estrutura: investir em infra-estrutura, como estradas e terminais de transporte, pode melhorar a eficiência e a segurança do setor de transporte público. Além disso, é importante fornecer estacionamento adequado para os veículos de transporte público e áreas de espera seguras para os passageiros.
5. Sensibilização do público: educar o público sobre os benefícios do transporte público formal pode incentivar mais pessoas a usar os serviços formais. Os esforços de sensibilização podem incluir campanhas publicitárias, promoções e acções de marketing.
6. Parcerias público-privadas: trabalhar em parceria com empresas privadas pode ser uma forma eficaz de melhorar a qualidade do serviço e aumentar a eficiência do sector. As empresas privadas podem fornecer investimento financeiro, conhecimento especializado e tecnologia avançada para ajudar a modernizar o sector.
7. Incentivos financeiros: oferecer incentivos financeiros, como descontos de impostos e empréstimos a juros baixos, pode encorajar as empresas de transporte público a se formalizarem. Além disso, é importante fornecer incentivos aos passageiros, como descontos para aqueles que usam serviços formais de transporte público.

5.3. A necessária transformação de Cooperativas e associações em empresas profissionais

A transformação de uma cooperativa em uma empresa de transporte pode ser feita de várias maneiras, dependendo do tipo de cooperativa e das leis e regulamentações existentes. Algumas opções podem incluir:

1. Criação de uma nova empresa: A cooperativa pode criar uma nova empresa de transporte que seja estruturada como uma empresa convencional, em vez de uma cooperativa. Isso pode envolver a criação de uma nova entidade legal, registo da empresa junto aos órgãos reguladores e governamentais, e a emissão de ações ou cotas que podem ser compradas por investidores.
2. Conversão da cooperativa em uma empresa: A cooperativa pode ser transformada em uma empresa, mantendo a mesma estrutura organizacional e membros, mas mudando sua estrutura jurídica. Isso pode envolver a alteração dos estatutos da cooperativa e a

obtenção de aprovação dos membros. A empresa resultante pode ser propriedade dos antigos membros da cooperativa ou pode ter um grupo mais amplo de accionistas.

3. Fusão com uma empresa existente: A cooperativa pode se fundir com uma empresa de transporte já existente. Isso pode envolver negociações para determinar o valor da cooperativa e o papel que seus membros desempenharão na empresa resultante.

Independentemente do caminho escolhido, a transformação de uma cooperativa em uma empresa de transporte pode trazer desafios e oportunidades, como a necessidade de se adaptar a uma estrutura organizacional diferente, o acesso a novas fontes de financiamento, a necessidade de cumprir com regulamentações governamentais e a possibilidade de expandir o alcance e o escopo da empresa. É importante que a transformação seja realizada com cuidado e consideração, levando em conta as necessidades e expectativas dos membros da cooperativa e as oportunidades de crescimento e desenvolvimento da empresa resultante.

5.4. Proposta de soluções para o sector informal

5.4.1. Formalização gradual com incentivos

- Transformar cooperativas em empresas profissionais de TCP.
- Exigir cursos de formação especializados para ter licença como operador, incluindo os condutores com carta de condução especifica (já em em curso a revisão do código de estrada)
- Simplifique o licenciamento e oferecer benefícios em troca da conformidade.

5.4.2. Reforma jurídica e institucional

- Actualizar as leis de transporte para acomodar e regular os actores informais (campanha "*Be Legal*" em curso" com apoio dos municípios).
- Garantir autonomia técnica, financeira e legal para coordenar todo o sistema.
- Fortalecer a autoridade de transporte metropolitano para supervisão e integração (novo decreto aprovada já prevê o conselho metropolitano de transportes presidido por um dos Presidentes dos municípios em regime rotativo), para tomada de decisões METROPOLITANAS.

5.4.3. Integração progressiva em sistemas formais

- Incluir operadores informais como serviços de alimentação ou subcontratados.
- Contratar serviços com base no desempenho (por exemplo, por quilómetro ou passageiro).

5..4.4. Renovação da frota com apoio público

- Implementar programas de locação ou microfinanciamento para veículos limpos e seguros (GNV ou eléctricos).
- Criar hubs de manutenção compartilhados para reduzir os custos operacionais.

5.4.5. Capacitação e profissionalização

- Fornecer formação técnica e competências empresariais para operadores e motoristas.
- Promover a inclusão de jovens e mulheres no sector.

5.4.6. Digitalização e sistemas tarifários

- Usar plataformas móveis e GPS para monitoramento de viagens, planejamento e cobrança de tarifas digitais.
- Criar parcerias com *startups* de tecnologia para soluções inovadoras de baixo custo.

5.4.7. Subsídios inteligentes

- Fornecer subsídios condicionais ligados à qualidade e cobertura do serviço.
- Subsídios tarifários específicos para proteger os passageiros sem prejudicar a viabilidade dos operadores.

5.4.8. Revisão e actualização do quadro legal

- Adaptar as leis de transporte urbano para reconhecer operadores informais como parte do sistema de mobilidade.
- Criar categorias específicas de concessão ou autorização para operadores comunitários, cooperativas e associações de transporte.
- Estabelecer requisitos progressivos de conformidade (por exemplo, em 3 fases: registo → licenciamento → integração).
- Aplicar regras proporcionais à capacidade dos operadores (ex.: exigências técnicas mais flexíveis, mas com padrões mínimos de segurança e serviço).

5.4.9. Regulamentação de tarifas e contractos

- Estabelecer mecanismos de definição de tarifas máximas, com revisões periódicas e transparência.
- Formalizar contractos de prestação de serviços com metas claras (ex.: regularidade, número de viagens, rotas definidas).

5.4.10. Licenciamento simplificado e digitalizado

- Desenvolver plataformas digitais para registo, licenciamento e acompanhamento dos operadores.
- Criar balcões únicos para formalização com assistência técnica e apoio fiscal/jurídico.

5.4.11. Fiscalização inteligente e formativa

- Passar de uma abordagem punitiva para uma abordagem educativa e orientadora.
- Utilizar tecnologias (como GPS e bilhética electrónica) para monitorar a operação em tempo real.

5.4.12. Mecanismos de diálogo e participação

- Institucionalizar fóruns de diálogo entre o governo, operadores informais e sociedade civil.
- Incluir representantes dos operadores informais nos conselhos consultivos e nos processos de tomada de decisão.

5.4.13. Instrumentos regulatórios específicos

Regulamentos sobre:

- Idade máxima dos veículos.
- Seguros obrigatórios.
- Condições mínimas de operação.
- Código de conduta dos operadores.
- Sanções progressivas e incentivos para o bom desempenho

5.5. Comprar apenas mais autocarros é solução?

Comprar mais autocarros para o transporte público pode ser uma medida importante para melhorar a mobilidade, mas não é **condição necessária nem suficiente** para resolver os problemas de deslocação das populações. Aqui estão algumas razões para isso:

Não é condição necessária porque:

1. **Outras soluções podem ser eficazes** – Melhorias na infra estrutura, como criação de faixas exclusivas para autocarros, incentivo ao transporte ativo (bicicletas, caminhadas),

e integração de diferentes modos de transporte podem melhorar a mobilidade sem necessariamente aumentar a frota.

2. **Optimização da rede existente** – Melhor gestão dos horários, aumento da frequência em horários de pico e melhoria das conexões podem aumentar a eficiência do transporte público sem necessidade de mais autocarros.
3. **Uso de tecnologias inteligentes** – Aplicações de mobilidade, bilhética integrada e sistemas de gestão de tráfego podem melhorar a experiência dos utilizadores sem depender exclusivamente de novos veículos.

Não é condição suficiente porque:

1. **Problemas de infra-estrutura** – Se não houver faixas exclusivas, os novos autocarros continuarão presos no trânsito, reduzindo a eficiência do transporte público.
2. **Frequência e confiabilidade** – Apenas adicionar autocarros não garante que eles circulem de forma eficiente. Sem um planejamento adequado, pode haver excesso em algumas áreas e falta em outras.
3. **Integração com outros transportes** – Um sistema de transporte eficiente precisa ser intermodal, permitindo a combinação de autocarros, comboios, bicicletas e caminhadas para deslocações mais rápidas e eficazes.
4. **Custo operacional** – Mais autocarros significam mais custos de manutenção, combustível (ou electricidade), contratação de motoristas e outras despesas. Se não houver financiamento sustentável, pode comprometer a qualidade do serviço.
5. **Aceitação da população** – Se o transporte público não for confortável, pontual e acessível, as pessoas continuarão a optar pelo transporte individual.

5.7. Que tipo de autocarros precisamos?

A crescente demanda por transporte público eficiente, inclusivo e sustentável na Área Metropolitana de Maputo exige uma frota diversificada que responda adequadamente à variação da procura por horário, rota e densidade populacional. A adopção combinada de mini-autocarros (30 lugares), autocarros médios/padrão (70 lugares) e autocarros articulados (150 lugares) permite adaptar a oferta às necessidades reais do sistema, promovendo eficiência operacional e equilíbrio económico.

5.7.1. Mini-autocarros – Capacidade: ~30 Lugares

✔ Vantagens:

- Flexibilidade para operar em bairros periféricos ou vias com restrições físicas (estreitas, de difícil manobra).
- Ideal para alimentação de rotas troncais, conectando bairros de baixa densidade às estações ou corredores principais.
- Permite maior frequência em horários de baixa procura, reduzindo tempos de espera.

⚠ Desvantagens:

- Baixa capacidade torna-os inadequados para rotas de alta demanda.
- Custo operacional por passageiro tende a ser mais alto, sobretudo em longas distâncias.
- Se operarem em corredores principais, podem gerar congestionamento operacional, exigindo maior número de viagens para atender à procura.

5.7.2. Autocarros Médios ou Padrão – Capacidade: ~70 Lugares

✔ Vantagens:

- Adequados para rotas troncais de média demanda, como ligações entre bairros densos e terminais.
- Oferecem boa relação entre capacidade, manobrabilidade e custo operacional, sendo versáteis para diversas configurações de rede.
- São mais fáceis de manobrar e estacionar do que os articulados, exigindo menor adaptação da infra-estrutura.

⚠ Desvantagens:
- Podem saturar rapidamente em horas de pico, levando à superlotação ou necessidade de comboios de veículos.
- Em áreas de baixíssima procura, podem representar super dimensionamento da oferta, gerando custos desnecessários.
- Em corredores segregados, têm menor aproveitamento da infra-estrutura do que veículos de maior capacidade.

5.7.3. Autocarros Articulados – Capacidade: ~150 Lugares

✔ Vantagens:
- Ideais para corredores estruturantes e de alta demanda, como sistemas BRT ou rotas com fluxo contínuo elevado.
- Reduzem o número de veículos necessários por hora, o que contribui para a redução de emissões, custos de pessoal e congestionamento operacional.
- Maior conforto e fluidez no embarque, especialmente se combinados com bilhética fora do veículo e plataformas niveladas.
- Economia de custos: Embora os autocarros articulados possam ter um custo inicial maior do que os autocarros convencionais, eles podem ser mais económicos a longo prazo. Com uma maior capacidade de passageiros, eles podem ajudar a reduzir os custos de operação e manutenção, além de reduzir o número de veículos necessários nas frotas.

⚠ Desvantagens:
- Custos de aquisição e manutenção mais elevados do que os veículos padrões ou mini-autocarros.
- Requerem infra-estrutura adaptada: vias largas, terminais com capacidade para manobras, paragens alongadas e maior raio de curva.
- Operação ineficiente em rotas com baixa ocupação fora dos picos, levando a subutilização e perdas financeiras.
- Formação especializada de motoristas e equipas de manutenção é indispensável.

Conclusão Técnica

A selecção da frota deve ser orientada por uma lógica de adequação entre capacidade, tipo de serviço e demanda prevista. Nenhum tipo de veículo é, por si só, suficiente ou adequado a toda a rede. Assim, propõe-se:
- Mini-autocarros (30 lugares) para rotas alimentadoras, zonas de difícil acesso e horários de baixa procura;
- Autocarros padrão (70 lugares) como elemento base da rede, com boa adaptabilidade entre bairros densos e rotas troncais;
- Autocarros articulados (150 lugares) para os eixos de alta capacidade e corredores prioritários, onde a concentração de passageiros justifica a sua operação.

5.8. A questão do licenciamento

As capacidades mínimas de elegibilidade ao licenciamento como operador de transporte público podem variar de acordo com as leis e regulamentações específicas. No entanto, propõe-se algumas habilidades e requisitos que geralmente são necessários:

1. Registo empresarial: O operador de transporte público deve ter uma empresa registada e legalmente estabelecida para operar como prestador de serviços de transporte.
2. Seguro: O operador deve possuir um seguro de responsabilidade civil para cobrir danos a terceiros e passageiros, em caso de acidentes.
3. Conhecimento das leis e regulamentos: O operador deve estar ciente e em conformidade com as leis e regulamentos relacionados ao transporte público em sua área.
4. Boa reputação: O operador deve ter uma boa reputação e histórico, sem condenações criminais ou civis importantes.
5. Capacidade financeira: O operador deve ter recursos financeiros adequados para operar um serviço de transporte público de forma eficiente e segura.
6. Manutenção e inspecção: O operador deve possuir veículos em boas condições mecânicas e segurança, além de cumprir com os padrões de manutenção e inspecção definidos pelas autoridades competentes.
7. Treinamento dos motoristas: O operador deve ter um programa de treinamento para seus motoristas, que inclui instruções sobre segurança no trânsito, direcção defensiva, atendimento ao cliente e conhecimento das rotas e horários.
8. Tecnologia de informação: O operador deve ter um sistema de informação ao cliente para fornecer informações precisas e actualizadas sobre rotas, horários e tarifas.
9. Serviço ao cliente: O operador deve ter um atendimento ao cliente eficiente e respeitoso, incluindo políticas claras de reclamações e reembolsos em caso de problemas com o serviço.
10. Responsabilidade ambiental: O operador deve ter um compromisso com a responsabilidade ambiental, buscando minimizar o impacto ambiental de sua operação, por exemplo, através de uso de combustíveis menos poluentes e veículos eléctricos.

5.9. Modelo sustentável para distribuição de autocarros pelo Estado

5.9.1. Sector Público – Modelo de Financiamento Directo com Subsídio de Capital

Características:

- O Estado adquire os autocarros com financiamento externo (ex: bancos de desenvolvimento, doadores).
- Os veículos são atribuídos a empresas públicas mediante contrato-programa.
- O Estado cobre o investimento inicial (CAPEX)[1], enquanto o operador cobre os custos operacionais (OPEX)[2].
- Subsídios de operação são definidos com base em metas de desempenho (subvenção vinculada a indicadores de serviço).

Vantagens:

[1] **CAPEX (Capital Expenditure)**: São os **gastos de capital** utilizados para adquirir, construir ou melhorar activos de longo prazo, como autocarros, estações, vias exclusivas ou sistemas de bilhética electrónica.
[2] **OPEX (Operational Expenditure)**: São os **gastos operacionais** recorrentes, relacionados com a operação e manutenção do sistema, como salários, combustível, seguros, limpeza, manutenção da frota e gestão diária do serviço.

- Alinhamento com objectivos sociais e de inclusão;
- Melhoria na qualidade do serviço público;
- Garantia de cobertura em zonas de menor rentabilidade.

5.9.2. Sector Privado – Modelo de Leasing Público com Opção de Compra

Estrutura:

- O Estado compra os autocarros e os cede a operadores privados por meio de contractos de leasing operacional com opção de compra.
- Os operadores pagam mensalidades acessíveis (abaixo do mercado) durante 5 a 7 anos.
- O Estado cobre parte dos custos com garantias, seguros ou manutenção preventiva (modelo híbrido de risco compartilhado).
- Ao fim do contracto, o operador pode adquirir o veículo por um valor residual ou trocá-lo por um novo (renovação de frota contínua).

Incentivos adicionais:

- Reduções fiscais (ex: isenção de IVA ou direitos aduaneiros para peças);
- Acesso a financiamento bonificado por meio de bancos de fomento;
- Bónus por cumprimento de metas ambientais e de qualidade de serviço.

Vantagens:

- Atraente para pequenos e médios operadores;
- Permite acelerar a renovação da frota;
- Estimula formalização e profissionalização do setor privado.

5.9.3. Qual é o melhor modelo?

Critério	Sector Público	Sector Privado
Custo Inicial para o Estado	Alto	Médio
Eficiência Operacional	Média (dependente da gestão)	Alta (competição e inovação)
Sustentabilidade Financeira	Média-longo prazo	Alta com bons contractos
Capilaridade do Serviço	Alta (inclui zonas rurais)	Média (foco em áreas lucrativas)
Renovação Tecnológica	Lenta	Mais rápida

O modelo de leasing para o sector privado, com incentivos e contractos de desempenho, é o mais sustentável financeiramente e promove inovação. Porém, deve ser complementado com investimentos públicos direccionados a zonas não lucrativas, garantindo equidade no acesso.

5.10. Como Atrair o Sector Privado

Estratégias Práticas:

1. Garantias do Estado: Reduzir o risco dos operadores com garantias de pagamento e contractos plurianuais.
2. Boa regulação capaz de defender os interesses do sector privado, em especial, nos contractos de concessão e da politica tarifaria.
3. Modelos de Negócio Claros: Licitações com regras estáveis, previsíveis e transparência regulatória.
4. Apoio Técnico-Financeiro: Programas de capacitação em gestão, manutenção e acesso a crédito.

5. Redução de Custos Iniciais: Subsídios cruzados, isenções de taxas e financiamento de infra-estruturas (terminais, oficinas).
6. Participação em receitas acessórias: Direito de explorar publicidade nos autocarros ou receitas de bilhete electrónico.

5.11. Os factores de produtividade

Os factores de produtividade são os elementos que influenciam a capacidade de uma empresa, indústria ou economia em produzir bens e serviços com eficiência. Existem vários factores que afectam a produtividade, incluindo:

1. Recursos humanos: A capacidade dos trabalhadores em produzir e desempenhar suas funções com eficiência é um factor crucial para a produtividade de uma empresa. A qualidade dos motoristas, cobradores e demais profissionais envolvidos nos transportes públicos também afecta a produtividade. Uma equipe bem treinada e motivada pode aumentar a eficiência do sistema de transporte e melhorar a experiência dos usuários.
2. Recursos materiais: A qualidade e disponibilidade dos recursos materiais, como equipamentos e maquinários, ferramentas, matérias-primas, também afectam a produtividade.
3. Manutenção e conservação da frota: A qualidade e disponibilidade dos veículos, bem como a manutenção preventiva e correctiva, são factores críticos para a produtividade nos transportes públicos. Veículos em boas condições aumentam a eficiência e a confiabilidade dos serviços, o que pode levar a uma maior satisfação dos usuários.
4. Planeamento de rotas e horários: Um planejamento adequado das rotas e horários dos transportes públicos pode reduzir o tempo de espera dos usuários, bem como aumentar a eficiência do sistema de transporte. Rotas bem planejadas e horários precisos podem ajudar a reduzir o tempo de viagem, o que pode levar a um aumento na produtividade.
5. Tecnologia: A adopção de tecnologias como sistemas de monitoramento, controle e informação dos passageiros pode aumentar a eficiência e a produtividade nos transportes públicos. A tecnologia pode ajudar a gerir melhor as operações, reduzir os custos e melhorar a experiência dos usuários.

6. Referências internacionais no âmbito das reformas dos transportes públicos

À luz das experiências mais recentes e consolidadas globalmente na reforma dos transportes públicos urbanos, internacionalmente, apresentamos alguns exemplos que podem ser incorporadas no âmbito das melhores práticas internacionais:

6.1. Autoridade Única de Transporte com Autonomia Operacional

Melhor prática internacional: Cidades como Londres (Transport for London - TfL) e Bogotá (TRANSMILENIO) estabeleceram autoridades únicas com competências de planeamento, regulação, financiamento e fiscalização.

Sugestão para Maputo:

- Reforçar a autonomia técnica, financeira e operacional da AMT.
- Garantir que a AMT tenha poder contratual sobre concessões, tarifas, e qualidade de serviço.

6.2. Contractos por Resultado com Risco Compartilhado

Melhor prática internacional: Na Colômbia e no Chile, os contractos com operadores são baseados em indicadores de desempenho, com bónus e penalidades.

Sugestão para Maputo:

- Criar contractos de concessão plurianuais com cláusulas de risco-partilhado, envolvendo remuneração por:
  - km cumprido
  - pontualidade
  - satisfação do utente
  - segurança operacional

6.3. Planeamento Integrado de Uso do Solo e Mobilidade

Melhor prática internacional: Singapura e Seul integram política de transportes e ordenamento urbano com rigorosa gestão da densidade.

Sugestão para Maputo:

- Estabelecer mecanismos de integração institucional entre o sector de transportes e o planeamento urbano local/metropolitano.
- Estimular zonas de desenvolvimento orientado ao transporte (TOD), promovendo maior densidade habitacional próxima dos corredores BRT.

6.4. Transparência, Dados Abertos e Participação Cidadã

Melhor prática internacional: Londres, Estocolmo e Helsinki divulgam dados em tempo real e promovem governança participativa.

Sugestão para Maputo:

- Criar um portal de dados abertos de mobilidade (bilhética, frequência, desempenho).
- Estabelecer fóruns participativos regulares com utentes, operadores e sociedade civil.
- Implementar mecanismos digitais de feedback (apps, SMS) com recompensas por participação.

6.5. Financiamento Estável e Previsível

Melhor prática internacional: Cidades como Paris (Île-de-France Mobilités) utilizam contribuições patronais e fundos dedicados para mobilidade.

Sugestão para Maputo:

- Considerar a criação de:
  - Taxa de mobilidade urbana (sobre grandes empresas ou imóveis).
  - Fundo metropolitano com contribuições plurianuais do Estado e municípios.
  - Parcerias com fundos climáticos internacionais (Green Climate Fund, C40, etc.).

6.6. Políticas Tarifárias com Subsídios Cruzados

Melhor prática internacional: Viena e Bogotá oferecem tarifas acessíveis com subsídios cruzados (ex. mais altos em zonas centrais, mais baixos na periferia).

Sugestão para Maputo:

- Estruturar uma política tarifária metropolitana progressiva, com:
  - Integração modal.
  - Descontos para estudantes, idosos, e outros grupos vulneráveis.
  - Subsídios baseados em desempenho dos operadores, não apenas no volume de passageiros.

6.7. Estratégia de Comunicação e "Branding" do Transporte Público

Melhor prática internacional: Medellín, Londres e Amsterdão usam o transporte como símbolo de modernidade e qualidade de vida.

Sugestão para Maputo:

- Criar uma marca metropolitana de transporte (ex. M-Txopela) com identidade visual, comunicação clara, e campanhas educativas.

6.8. Inclusão de Género e Acessibilidade Universal

Melhor prática internacional: Nairobi, Cidade do Cabo e Delhi promovem reformas com enfoque na segurança e inclusão de mulheres e pessoas com deficiência.

Sugestão para Maputo:

- Introduzir critérios de género e acessibilidade nos contractos.
- Criar comités de avaliação com enfoque em segurança, assédio, e infra-estrutura inclusiva.

7. CONCLUSÃO

Propomos estruturar as conclusões e recomendações para garantir uma reforma efectiva do transporte público em Moçambique, realçando a sua importância social, económica e ambiental.

7.1. Conclusões Finais

1. O modelo actual é insustentável
    - Baseado na entrega directa de autocarros sem suporte institucional ou financeiro robusto.
    - Resultou em baixa cobertura, má qualidade de serviço e operadores frágeis economicamente.
2. A ausência de regulação e financiamento estruturado é crítica
    - Não há mecanismos de monitoramento, bilhética electrónica, contractos de desempenho ou Fundo Tarifário Comum.
    - Os subsídios são mal direccionados, não promovem qualidade nem eficiência.
3. O sector informal domina e é pouco profissionalizado
    - Opera à margem da regulação e com baixa qualidade.
    - É necessária uma abordagem de formalização com incentivos e integração progressiva.
4. Comprar autocarros não basta
    - Sem faixas exclusivas, regulação e gestão eficiente, mais autocarros não resolvem os problemas estruturais da mobilidade.

7.2. Recomendações para uma Reforma Efectiva

1. Adoptar uma Abordagem Integrada e Sistémica
    - Reformar simultaneamente os pilares institucional, operacional, financeiro, ambiental e social.
    - Separar claramente as funções de regulação (AMT), operação (operadores públicos/privados) e planeamento estratégico.

2. Fortalecer a Regulação e Governança
    - Reforçar a AMT com autonomia técnica e contratual.
    - Criar o Conselho Metropolitano de Transportes para decisão partilhada.
    - Aprovar um pacote regulatório metropolitano:

  - Regulamento de concessões e operação
  - Política tarifária
  - Normas de frota e qualidade
  - Plano de formalização do transporte informal

3. Implementar Contractos de Desempenho
   - Substituir contractos informais por contractos com remuneração por:
     - Quilómetro rodado
     - Qualidade do serviço (pontualidade, satisfação do utente)
     - Penalizações por incumprimento

4. Criar um Fundo Comum de Receita Tarifária
   - Centralizar tarifas, publicidade e receitas urbanas.
   - Redistribuir com base em critérios técnicos e metas de desempenho.

5. Formalizar o Transporte Informal
   - Integrar operadores informais em cooperativas ou empresas formais.
   - Criar incentivos: acesso a leasing, microcrédito, formação, isenções fiscais.
   - Estabelecer contractos de subcontratação com metas e fiscalização.

6. Financiamento Sustentável e Leasing de Frota
   - Utilizar modelos de leasing com opção de compra, com apoio do Estado ou bancos de fomento.
   - Atrair o sector privado com:
     - Garantias públicas
     - Incentivos fiscais
     - Participação em receitas acessórias (publicidade, bilhética)

7. Digitalização e Sistemas Inteligentes
   - Implantar bilhética electrónica, GPS e sistemas de monitoramento em corredores prioritários.
   - Usar dados para planeamento, avaliação de desempenho e transparência.

8. Educação, Valorização e Participação Pública
   - Campanhas educativas sobre os benefícios do transporte público.
   - Divulgação de dados e canais de feedback com os utentes.
   - Criação de uma marca metropolitana de transporte (ex. “M-Txopela”).

9. Transição Ecológica e Mobilidade Activa
   - Renovar a frota com veículos limpos (GNV, elétricos).
   - Acessar fundos internacionais verdes (ZEB, GCF).
   - Expandir ciclovias, passeios e mobilidade activa.

7.3. Importância da Reforma

Área	Impacto Estratégico
Social	Reduz desigualdades, melhora o acesso a emprego, saúde e educação, promove inclusão.
Económica	Estimula a produtividade, cria empregos formais, atrai investimento e reduz perdas com congestionamento.
Ambiental	Reduz emissões de GEE, melhora a qualidade do ar urbano, promove cidades mais sustentáveis.

Mensagem Final dos autores

A reforma do transporte público é condição estrutural para o desenvolvimento urbano sustentável em Moçambique. Ela exige visão de longo prazo, coragem institucional e participação de todos os actores: Estado, sector privado, operadores informais e sociedade civil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Este artigo foi escrito com base nas experiências de longos anos dos autores, não tendo um carácter iminentemente científico. As referências bibliográficas são genéricas sendo de salientar:

- AfDB – African Development Bank (2022). Urban Mobility in Africa: Strategic Directions for Investment and Reform. Abidjan: AfDB.
- Estudos de caso e experiências nacionais/internacionais
- GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (2019). Sustainable Urban Transport: A Guide for Policy Makers in Developing Cities. Bonn: GIZ.
- ITDP – Institute for Transportation and Development Policy (2018). The BRT Planning Guide (4th Edition). New York: ITDP.
- SLoCaT Partnership (2021). The Transport and Climate Change Global Status Report.
- UITP – International Association of Public Transport (2023). Public Transport Trends in Africa. Brussels: UITP.
- UN-Habitat (2022). People-Centered Smart Mobility in Africa. Nairobi: United Nations Human Settlements Programme.
- World Bank (2020). Transforming Urban Transport: A Global Urban Mobility Framework. Washington DC: World Bank Group.

Estudos de caso e experiências nacionais/internacionais

- Île-de-France Mobilités (2019). Le financement du transport public en Île-de-France. Paris.
- Ministério dos Transportes e Comunicações de Moçambique (2022). Plano Estratégico para a Mobilidade Urbana Sustentável (PEMUS). Maputo.
- Ministério dos Transportes, Brasil (2015). Modelo de Negócio e Regulação do Sistema de Transporte Coletivo de Curitiba.
- TfL – Transport for London (2020). Annual Report and Statement of Accounts. Londres: TfL.

ARTIGO Nº23469

PLANO DIRECTOR DA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO

António Matos[1,2(*)], Armando Nhangueve Bembele[1,3]
[1]Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia
[(*)] *Email:* antoniomatos61@gmail.com; [3]anbembele@gmail.com

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise técnica aprofundada das propostas para o desenvolvimento do sistema de transportes urbanos da Área Metropolitana de Maputo (AMM), com base no SIMPUT-Maputo (2024) e no Plano Director Estratégico de Implementação (Master Plan). O foco está na construção de um sistema integrado, eficiente, acessível e ambientalmente sustentável. Apresentam-se os principais desafios da mobilidade na região, as estratégias propostas, os projectos prioritários e as condições institucionais e financeiras necessárias à implementação bem-sucedida da visão para 2040.

O Plano Director da Área Metropolitana de Maputo, 2014-2035 a 2040, foi formulado como parte do projecto METRAP-Maputo, uma cooperação técnica entre os Municípios de Maputo, Matola, Boane, Matola Rio e Marracuene e a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA). O objetivo é melhorar a mobilidade urbana, promover o transporte público e contribuir para o desenvolvimento sustentável da economia da AMM. Ele se baseia na revisão do Plano Director de Transportes Urbanos de 2014 (P/D 2014) e na utilização de dados de mobilidade para um planejamento baseado em evidências.

O plano identifica desafios críticos no sector de transportes urbanos da Área Metropolitana de Maputo (AMM), incluindo o congestionamento de tráfego: Causado pelo crescimento da população, aumento da posse de veículos e infra-estrutura viária insuficiente, os serviços de transporte público ineficientes: Baixa cobertura, falta de modernização e problemas na integração entre os diferentes modos de transporte, os problemas de acessibilidade: Dificuldade de deslocamento entre Maputo e municípios vizinhos devido à urbanização rápida e falta de infra-estrutura adequada e o impacto das condições climáticas: Alagamentos frequentes prejudicam a circulação e reduzem a capacidade da rede viária.

A visão e estratégia de desenvolvimento estabelece uma visão, baseada em três eixos estratégicos:
1. Garantir mobilidade e acessibilidade: Melhorar a conectividade entre diferentes áreas da região metropolitana.
2. Expansão e gestão eficiente da infra-estrutura viária: Construção e modernização da rede de transporte de massa, como BRT e serviços ferroviários.
3. Reforço da governança e planejamento: Implementação de mecanismos de monitoramento contínuo e coordenação entre as partes interessadas.

O plano propõe um conjunto de programas e projectos prioritários para os próximos 10 anos, divididos em curto, médio e longo prazo, incluindo,

Desenvolvimento da Rede de Transporte de Massa

✅ Expansão do transporte ferroviário urbano – Estender o serviço ferroviário para atender à crescente demanda de passageiros.

✅ Implementação do BRT (Bus Rapid Transit) – Criar corredores exclusivos para autocarros de alta capacidade, reduzindo congestionamentos e tempos de viagem.
✅ Melhoria da mobilidade no centro da cidade – Introdução de sistemas de Tram e incentivo ao transporte activo (bicicletas e pedestres).

Modernização dos Serviços de Transporte Público
✅ Melhoria e modernização dos serviços de autocarros – Reestruturação de rotas, renovação da frota e aumento da eficiência operacional.
✅ Criação de centros de transporte intermodal – Melhor conexão entre diferentes modos de transporte (autocarros, comboios e BRT).

Desenvolvimento e Expansão da Infra-estrutura Viária
✅ Construção e requalificação de estradas principais – Melhorar vias críticas para reduzir congestionamentos.
✅ Melhoria dos cruzamentos e infra-estrutura para drenagem – Minimizar impactos das chuvas no tráfego.

Gestão do Tráfego e Políticas de Estacionamento
✅ Revisão da política de estacionamento – Implementação de medidas para controlar e optimizar vagas nas áreas urbanas.
✅ Gestão da demanda de transporte (GDT) – Estratégias para reduzir o uso excessivo de veículos particulares e promover o transporte público.

Reforço Institucional e Governança
✅ Fortalecimento da Agência Metropolitana de Transportes (AMT) – Melhor coordenação entre diferentes entidades do sector de transportes.
✅ Uso de tecnologias para monitoramento e gestão do trânsito – Implementação de um painel de controle digital para acompanhamento em tempo real das condições de tráfego.
Este plano Director representa um avanço no planeamento estratégico da mobilidade urbana da região metropolitana, propondo soluções integradas para os desafios do sector.
Com um foco em mobilidade sustentável, governança eficiente e modernização da infra-estrutura, o plano visa transformar Maputo em um modelo de transporte urbano acessível, eficiente e resiliente às mudanças climáticas
Palavras-chave: políticas públicas, mobilidade, transportes, planeamento urbano.

1. INTRODUÇÃO

A AMM enfrenta crescentes desafios urbanos, incluindo o rápido crescimento populacional (projectada população de 5 a 6 milhões até 2050), congestionamento, deficiências na oferta de transportes públicos e vulnerabilidade climática. O SIMPUT-Maputo e o Master Plan articulam uma resposta integrada, alicerçada em dados empíricos, visão de longo prazo e princípios de mobilidade urbana sustentável.

O plano pretende orientar acções concretas para os próximos 10 a 15 anos, com horizonte até 2035 a 2040, visando a criação de um sistema de transportes urbanos eficiente, inclusivo e resiliente.

2. DIAGNÓSTICO

Entre os principais problemas identificados na AMM estão:

- Congestionamento severo nas principais vias;
- Aumento da titularidade de veículos privados;

- Fraca qualidade e cobertura dos serviços de autocarros e chapas;
- Falta de integração modal e de informação aos utentes;
- Inundações recorrentes afectando a mobilidade;
- Falta de políticas eficazes de estacionamento e gestão da procura. O tempo médio de deslocação aumentou para mais de 60 minutos, enquanto a quota dos transportes públicos caiu de 80% para cerca de 60% entre 2012 e 2023.
- Tempo de viagem: aumentou 149% para transporte privado e 113% para transporte público (2012-2022);
- Deslocações intermunicipais: mais de 600 mil pessoas entram diariamente em Maputo, sobrecarregando os acessos principais (EN1, Av. Marginal);
- Queda da quota modal pública: de 80% para 60%; aumento do uso de viaturas particulares;
- Infra-estrutura deficiente: terminais e apeadeiros precários, vias inundadas, falta de bilhética e integração modal;
- Problemas operacionais: serviços de chapas e autocarros com sobreposições, baixa fiabilidade e segurança;
- Falta de estacionamento regulamentado no centro urbano.

3. METODOLOGIA DE PLANEAMENTO

Para este trabalho usamos:

- Análise de megadados (CDR) para monitorizar padrões de deslocamento;
- Levantamentos de tráfego e viagens domésticas (HIS e HTS);
- Consultas com stakeholders (CMM, AMT, municípios, JICA);
- Coordenação com o PMUS e com instrumentos como o Plano de Estrutura Urbana (PEU);
- Priorização de projectos segundo viabilidade técnica, impacto e custo.
- Modelagem de demanda futura com base em cenários PMUS;
- Avaliação de custos, viabilidade, impacto ambiental e institucional;
- Articulação com o PEU e outras iniciativas urbanas.

4. VISÃO ESTRATÉGICA E OBJECTIVOS

- Redução de emissões por via da electrificação e transferência modal;
- Sistema inclusivo e acessível para todos (mulheres, crianças, idosos);
- Integração funcional entre modos e entre territórios;
- Uso eficiente do espaço urbano e desenvolvimento orientado ao transporte (DOT);
- Reforço institucional, coordenação intermunicipal e monitoria com base em dados dinâmicos.

Desenvolver um sistema metropolitano de transportes:

- Sustentável: com electrificação da frota e redução de emissões (meta de 25% de transferência modal até 2030);
- Integrado: com conexões eficientes entre BRT, ferrovia, autocarros e modos activos;
- Acessível e inclusivo: para todos os grupos sociais e geográficos;
- Orientado ao transporte: com apoio ao desenvolvimento urbano centrado em eixos de mobilidade (DOT).

5. EIXOS DE INTERVENÇÃO ESTRUTURANTE

- **Estratégia 1: Garantir a mobilidade e acessibilidade**
  - Extensão da rede BRT MOVE-Maputo;
  - Requalificação da ferrovia urbana de passageiros (com CFM);
  - Desenvolvimento do transporte activo (pedonal e ciclável);
  - Desenvolvimento de tram urbano no CBD com rotas prioritárias (UEM-Polana, Av. 24 de Julho);
  - Modernização e electrificação do sistema ferroviário urbano (linha Ressano);
  - Electrificação e modernização dos autocarros;
  - Políticas de provisão obrigatória de estacionamento em novos empreendimentos;
  - Criação de parques públicos integrados (200-500 lugares);
  - Programa de gestão da mobilidade com educação, escalonamento de horários e promoção de modos sustentáveis;
  - Construção de ciclovias conectadas a estações e zonas de densidade;
  - Estacionamento para bicicletas, passeios acessíveis e urbanismo táctico;
  - Incentivo ao uso da bicicleta e caminhada para pequenas distâncias
  - Criação de terminais intermodais e acesso universal à estações.
- **Estratégia 2: Expansão da rede rodoviária e gestão do trânsito**
  - Roteiros alimentadores integrados a estâncias ferroviárias e terminais BRT;
  - Redesenho da rede com base em hierarquias (autocarros articulados, média capacidade), desenvolvendo corredores arteriais e anéis periurbanos;
  - Ligações viárias estratégicas (EN1 - Circular, Praça Juventude - Marginal);
  - Investimento em drenagem urbana e pavimentação (100 km de vias de acesso a estações);
  - Intervenções em cruzamentos e corredores arteriais (Av. Julius Nyerere, EN2)
  - Melhorar cruzamentos e implementar drenagem urbana;
  - Integração tarifária com sistema electrónico.
- **Estratégia 3: Reforçar os mecanismos de planeamento e execução**
  - Criação de sistemas dinâmicos de planeamento e controlo (painel CDR);
  - Reforço da capacidade técnica das instituições locais;
  - Cooperação intermunicipal para execução de projectos integrados.
  - Implementar políticas de estacionamento (incluindo concessões);
  - Promover campanhas de educação e segurança rodoviária.

6. HORIZONTE DE IMPLEMENTAÇÃO E INVESTIMENTOS

- **Curto prazo (2025–2030)**: modernização dos autocarros, melhoria de cruzamentos, início de concessões de estacionamento, terminais intermodais. Frota BRT e ferroviária, terminais intermodais, regulação de estacionamento.
- **Médio prazo (2030–2035)**: expansão do BRT e das estradas arteriais, intervenções nos bairros periféricos, promoção do transporte activo. Electrificação de linha Ressano Garcia, reestruturação de redes de autocarros, integração tarifária e multimodal
- **Longo prazo (até 2040)**: electrificação total da frota, rede de trams no centro, plena integração tarifária e operacional. Tram, urbanismo orientado à mobilidade (TOD), sistema digital integrado de monitoria

7. DESAFIOS CRÍTICOS NO SECTOR DE TRANSPORTES URBANOS DA ÁREA METROPOLITANA DE MAPUTO (AMM)

7.1. Congestionamento de Tráfego

- Capacidade insuficiente das estradas existentes, com poucas alternativas viárias entre zonas-chave da AMM (ex.: Maputo–Marracuene);
- Intersecções congestionadas e falta de semáforos eficientes;
- Falta de rede rodoviária estruturada, incluindo ligações de contorno e radiais mal conectadas;
- Invasão de faixas por estacionamento irregular e veículos mal posicionados, sobretudo no CBD.

7.2. Aumento Exponencial da Procura

- O número de pessoas que se deslocam diariamente para Maputo ultrapassa 600 mil, oriundas de municípios vizinhos (Matola, Boane, Marracuene);
- Volume de veículos duplicou em uma década, com destaque para automóveis particulares, pressionando infra-estruturas limitadas;
- Alta concentração de fluxos pendulares, agravando congestionamentos nos horários de pico.

7.3. Transporte Público Inadequado

- Frota envelhecida, mal conservada e predominantemente a diesel;
- Sobreposição e desorganização das rotas de autocarros e chapas, concentradas no CBD sem integração modal;
- Ausência de bilhética electrónica, horários fixos ou informações em tempo real;
- Terminais precários e desconfortáveis, com deficiências em segurança, higiene e acessibilidade.

7.4. Deficiências em Planeamento e Coordenação

- Falta de articulação institucional entre os municípios que compõem a AMM;
- Planeamento sectorial fragmentado, sem convergência entre urbanismo, transporte e uso do solo;
- Ausência de sistemas de gestão metropolitana integrados e painéis dinâmicos de monitoria.

7.5. Vulnerabilidade a Inundações

- Estradas frequentemente intransitáveis na época chuvosa (ex.: zonas de baixa altitude);
- Falta de drenagem pluvial eficaz, agravando congestionamentos e restringindo a mobilidade.

7.6. Estacionamento Desregulado

- Oferta insuficiente de estacionamento regulamentado, especialmente no centro urbano;
- Ocupação dos passeios por veículos, gerando insegurança para pedestres e piorando o fluxo viário;
- Ausência de políticas de estacionamento integradas com o transporte público e o ordenamento urbano.

7.7. Financiamento e Capacidade Técnica Limitada

- Recursos financeiros escassos para investimentos estruturantes;

- Dependência de financiamento externo, dificultando execução e sustentabilidade de grandes projectos;
- Déficits técnicos nas instituições locais para planeamento, implementação e fiscalização eficaz.

8. PROJECTOS PRIORITÁRIOS

Os projectos prioritários para o sector de transportes urbanos na Área Metropolitana de Maputo (AMM), estão organizados em três horizontes temporais: curto, médio e longo prazo. A seguir, apresento uma síntese em forma de quadro:

Tabela 1- Projectos Prioritários por Horizonte Temporal

Horizonte	Projectos Prioritários
Curto Prazo	(2025–2030)
	- Modernização da frota de autocarros (introdução de veículos a gás natural e eléctricos);
	- Criação de terminais intermodais (Zimpeto, Trabalhadores, Museu);
	- Reabilitação de cruzamentos e melhoria de sinalização nos principais eixos viários;
	- Implementação de política de estacionamento estruturado (mandatos, parques públicos);
	- Início da bilhética electrónica nos serviços BRT e ferroviários.
Médio Prazo	(2030–2035)
	- Expansão da rede MOVE-BRT para zonas periféricas (Boane, Marracuene, Matola Rio);
	- Electrificação da linha ferroviária de passageiros Ressano Garcia;
	- Reestruturação completa da rede de autocarros e chapas com roteiros alimentadores;
	- Construção de vias de ligação prioritárias (ex.: Circular–EN1, Marginal–Julius Nyerere);
	- Campanhas de sensibilização para mobilidade sustentável e activa (bicicletas, caminhada, uso do TP).
Longo Prazo	(2035–2040)
	- Construção e operação do tram urbano no CBD (Av. 24 de Julho, Av. Eduardo Mondlane);
	- Conclusão da integração tarifária e operacional entre todos os modos;
	- Desenvolvimento orientado ao transporte (DOT) e requalificação urbana ao redor de terminais;
	- Estações ferroviárias intermodais com plataformas acessíveis e serviços integrados;
	- Introdução de sistema digital de planeamento e monitoria em tempo real com base em dados CDR.

Os megaprojectos propostos concentram-se em intervenções de grande escala, estruturantes para transformar a mobilidade metropolitana. Dentre esses, destacam-se os novos corredores BRT (Bus Rapid Transit), a modernização da ferrovia urbana, a proposta de tram e investimentos em infra-estruturas viárias chave.

Tabela 2 - Novos Corredores BRT Propostos (MOVE-Maputo)

Corredor BRT	Extensão Aproximada	Descrição e Traçado
Corredor Zimpeto – Museu (Linha Principal)	20 km	Conectando zona norte (Zimpeto/EN1) ao centro da cidade; já em desenvolvimento.
Corredor Zimpeto – Matola A (Linha Leste-Oeste)	18–22 km	Interliga o extremo leste ao sudoeste, passando pelo centro urbano e áreas densas.
Corredor Zimpeto – T3 (Marracuene)	25 km	Prevê ligação da zona norte periurbana com a cidade, estruturando área de crescimento.
Corredor Boane – Museu (via EN4 e Circular)	30+ km	Eixo de alta capacidade entre o extremo sul (Boane) e o centro de Maputo.
Corredor Circular – Costa do Sol	10–15 km	Rede complementar costeira interligando zonas turísticas e residenciais.

Todos os corredores BRT estão projetados com faixas exclusivas, estações fechadas, integração com ferrovia e sistema de bilhética eletrónica.

Tabela 3 - Outros Megaprojetos Relevantes

Projecto	Resumo
Electrificação da Linha Ressano Garcia	Conversão da linha ferroviária de diesel para eléctrica; intervalo de 10 minutos em horários de pico.
Tram Urbano no CBD	Linha circular no centro de Maputo (Av. 24 de Julho e Eduardo Mondlane); 10 km estimados.
Sistema Ferroviário Intermodal	Estações ferroviárias remodeladas com integração a BRT e autocarros alimentadores.
infra-estrutura Rodoviária Estratégica	Vias novas entre Circular–EN1, Marginal–Julius Nyerere, acesso a terminais e estações.
Sistema Digital de Planeamento	Plataforma baseada em CDR para gestão dinâmica da mobilidade e da operação dos modos.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1. Conclusões Finais

1. A ausência de planeamento estruturado compromete a mobilidade urbana
    - O crescimento populacional, o aumento da motorização individual e a fragmentação institucional levaram a um sistema desorganizado, congestionado e pouco acessível.
    - Sem planos directores claros, as intervenções tornam-se pontuais, reactivas e desconectadas.
2. Os planos directores fornecem uma visão estratégica de longo prazo
    - Permitem orientar investimentos, coordenar acções entre municípios e alinhar políticas de transporte, uso do solo e ambiente.
    - Estabelecem horizontes temporais claros (2025–2030, 2030–2035, 2035–2040) e prioridades com base em dados.
3. São instrumentos técnicos essenciais para atrair financiamento

   - O planeamento estruturado permite acesso a fundos internacionais, PPPs e créditos verdes, que exigem consistência, previsibilidade e metas sustentáveis.
4. Promovem a mobilidade sustentável como eixo de desenvolvimento
   - A integração entre BRT, ferrovia, bicicletas e modos activos só é viável com um plano coerente que oriente infra-estrutura, tarifação, governança e inclusão.
5. São fundamentais para garantir equidade, inclusão e resiliência
   - Os planos directores incorporam políticas que beneficiam as populações vulneráveis, mulheres, idosos e jovens, promovendo um transporte mais justo e sustentável.

9.2. Recomendações Estratégicas

1. Tornar os planos directores obrigatórios na política pública
   - Exigir que todos os investimentos urbanos e de transportes estejam vinculados a planos estratégicos aprovados.
   - Integrar os planos de mobilidade aos planos de ordenamento do território.

2. Adoptar uma abordagem sistémica e intermunicipal
   - Fortalecer a coordenação entre municípios por meio de conselhos metropolitanos.
   - Garantir que o plano seja um instrumento de gestão territorial, com impacto sobre o zoneamento, os investimentos e as políticas tarifárias.

3. Priorizar a mobilidade sustentável como eixo estruturante
   - Incorporar metas de:
     - Redução de emissões de GEE
     - Aumento da quota modal do transporte público
     - Expansão da mobilidade activa (bicicleta, a pé)
     - Desenvolvimento orientado ao transporte (DOT)

4. Associar o plano a instrumentos financeiros e regulatórios
   - Criar Fundos Metropolitanos de Mobilidade associados aos planos.
   - Integrar os planos aos processos de concessão, revisão tarifária e contratação de serviços.

5. Monitorar continuamente e ajustar com base em evidências
   - Utilizar dados de mobilidade (CDR, bilhética electrónica) para ajustar políticas em tempo real.
   - Estabelecer indicadores de desempenho vinculados aos objectivos do plano.

6. Mobilizar a sociedade e valorizar o plano como pacto urbano
   - Promover campanhas de sensibilização pública sobre os benefícios do planeamento urbano.
   - Tornar o plano acessível, participativo e com identidade visual forte como marca da cidade.

Mensagem Final dos autores

Planear a médio e longo prazo não é um luxo, é uma necessidade. Os planos directores são a base de cidades mais justas, eficientes e sustentáveis. Em Moçambique, só com uma visão metropolitana estratégica e de longo alcance será possível garantir mobilidade para todos, proteger o ambiente e promover o crescimento económico inclusivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Este artigo foi escrito com base nas experiências de longos anos dos autores, não tendo um carácter iminentemente científico. As referências bibliográficas são genéricas sendo de salientar:

- Banco Mundial (2023). Project Appraisal Report: MOVE-Maputo BRT.
- CMM, AMT & JICA (2014). Plano Director de Transportes Urbanos do Grande Maputo (P/D 2014).
- JICA (2023). Strategic Implementation Master Plan for Urban Transport in Maputo Metropolitan Area.
- METRAP-Maputo & JICA (2024). SIMPUT-Maputo: Plano Director de Implementação Estratégica.
- MobiliseYourCity (2021). Plano de Mobilidade Urbana Sustentável para Maputo (PMUS/SUMP).
- UITP (2020). Public Transport Strategy for Sustainable Cities.
- UN-Habitat (2022). Mobility and Urban Development Guidelines for Africa.

ARTIGO Nº23476

RE-DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO DA AVENIDA DA ONU, CIDADE DE MAPUTO

G. Gimo[1], A. Zandamela[2], J. Diogo[3]
[1]Estudante do curso de Doutoramento em Engenharia Civil-Especialização em Infraestruturas Rodoviárias e Vias-Férreas, Universidade Jean Piaget de Moçambique, geraldogimoh@gmail.com.
[2]Estudante do curso de Doutoramento em Engenharia Civil-Especialização em Infraestruturas Rodoviárias e Vias-Férreas, Universidade Jean Piaget de Moçambique, arseniozandamelaunipiaget2024@gmail.com.
[3]Professor de Tópicos avançados de dimensionamento de pavimentos de estradas e aeroportos, do curso de Doutoramento em Engenharia Civil-Especialização em Infraestruturas Rodoviárias e Vias-Férreas, Universidade Jean Piaget de Moçambique, joeddiogo@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho se debruçará sobre o re-dimensionamento do pavimento da Av. das Nações Unidas, localizada na baixa da cidade de Maputo, uma via tronco-secundária, de entrada e saída para a periferia da área metropolitana de Maputo e Matola e importante para a mobilidade de pessoas e bens desta área. O crescimento de tráfego na área metropolitana de Maputo e Matola, obriga a uma revisão dos pressupostos técnicos inicialmente usados na concepção tanto geométrica como estrutural das vias rodoviárias. O objectivo dessa revisão é a proporcional garantia de melhoria do desempenho da função das vias, mormente da capacidade de carga do pavimento. Ao longo do período de projecto as características funcionais e estruturais do pavimento, seja este asfáltico ou rígido, sofrem degradação devido à intempéries e às solicitações do tráfego. Devido à sua idade, carga excessiva e drenagem ineficiente, os pavimentos entram em fadiga. O fenómeno de fadiga significa um processo de deterioração estrutural, o qual um determinado material sofre quando sujeito à um estado de tensões e de deformações repetidas ou oscilantes, ocasionando surgimento de fissuras cuja progressão resulta na fractura completa, depois de determinado número de repetições do carregamento (PINTO e PREUSSLER, 2002 [5]). Por outro lado, a fadiga ocorre devido às solicitações dinâmicas (ou repetitivas), em que níveis de tensão inferiores aos que provocariam a ruptura de um material sob carregamento estático, conduzem ao colapso estrutural. Assim, a fadiga seria um fenómeno de surgimento de trincas oriundas da acção intermitente das cargas móveis do tráfego, em que a sucessão de estados de tensão e deformação inferiores ao estado último de tensão e deformação do material ocasiona tal ruptura (YODER e WITCZAK, 1975 [10]).

Palavras-chave: *Re-dimensionamento, pavimento, ESAL, método AASHTO, método Catálogo*

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Um pavimento é a parte da estrada, rua, ou pista, que suporta directamente o tráfego e transmite as respectivas solicitações à infraestrutura. Pode ser constituído por uma ou mais camadas tendo, no caso geral, uma camada de desgaste e camadas de fundação. Um pavimento é por conseguinte uma estrutura constituída por um conjunto de multi-camadas colocadas sobre uma plataforma de suporte (LNEC E1, 1962 [3]). O pavimento, seja este asfáltico ou rígido, sofre com o tempo, degradação devido à intempéries, solicitações do tráfego, idade, carga excessiva e drenagem ineficiente, necessitando um re-dimensionamento, que é o re-cálculo ou re-verificação de novas espessuras e materiais de forma que a vida útil seja reforçada. Corresponde, portanto, a um novo dimensionamento. Dimensionar pavimentos permite determinar as espessuras do mesmo, a configuração das camadas e os respectivos materiais constituintes, de modo a resistirem e transmitirem ao subleito as pressões impostas pelo tráfego. O dimensionamento pode considerar a construção de um novo pavimento ou reabilitação de um existente. O dimensionamento dos pavimentos pode ser abordado basicamente através de vários métodos, empíricos e mecanicistas (Diogo, 2007 [2]), sendo que para este autor, os métodos empíricos calculam espessuras da estrutura do pavimento visando proteger o subleito contra deformações excessivas durante a vida de projecto; baseando- se em observações e na experiência acumulada com certos tipos de pavimentos, para certos tipos de materiais de pavimentação e para condições específicas de clima, que não necessariamente as da região do projecto em questão. Consiste de ábacos, tabelas ou fórmulas para o dimensionamento que reflectem o desempenho observado em alguns pavimentos em serviço. São correlações directas entre alguns parâmetros estruturais e de tráfego e a vida de serviço esperada. A maior limitação dos métodos empíricos é que eles não podem ser generalizados com confiabilidade para outras condições se não aquelas para as quais foram desenvolvidas. O mesmo autor, conclui que a maior fraqueza dos métodos empíricos é não considerar os danos causados pela fadiga devido a repetição de cargas do tráfego. Relativamente aos métodos empíricos-mecanísticos, Diogo (2007 [2]), afirma que estes, utilizam uma teoria para prever as tensões e deformações provenientes do tráfego e do meio ambiente na estrutura do pavimento, e procuram compatibilizá-las com as tensões resistentes dos materiais. Este grupo de métodos, relacionam as respostas estruturais (tensões, deformações e deflexões) devido às solicitações das cargas do tráfego e à evolução dos defeitos (trincamentos e deformações plásticas), através de um modelo matemático. A relação entre carga de eixo e danos ao pavimento é exponencial: um único eixo de 80 kN causa mais de 3000 vezes mais danos do que um único eixo de 8 kN. A carga de eixo único equivalente (ESAL) fornece um meio pelo qual a carga de tráfego acumulada em um pavimento rodoviário, resultante de vários tipos de veículos com diferentes configurações de eixo, pode ser expressa como um número de passagens de uma carga de eixo padrão. O efeito cumulativo de várias passagens de veículos é uma entrada crucial no projecto do pavimento. O uso de ESALs permite que a carga de tráfego misto seja inserida num cálculo de projecto de pavimento como um único número representativo. Ao representar o efeito prejudicial de veículos com pesos e configurações de eixo amplamente diferentes, somos capazes de projectar estradas duradouras que atendem às necessidades da sociedade. Essa abordagem de equivalência de carga, onde cada classe de veículo recebe um factor de dano para converter seu efeito de carga num número de passagens equivalentes de um eixo padrão, surgiu de uma grande série de testes rodoviários conhecidos como AASHTO Road Test e publicados pelo Highways Research Board em 1962.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1.Conceitualização do Método CATÁLOGO SATCC

É possível determinar estruturas de pavimento através de catálogos, presentes em manuais de dimensionamento. Geralmente, utilizam-se esses catálogos como forma de pré-dimensionamento, para auxiliar o projectista no início do seu trabalho e, posteriormente, realizar uma optimização das espessuras. Destacamos para Moçambique o uso do método de catálogo SATCC (1998, [6]). O catálogo, obedece-se três etapas principais: (i) estimativa da quantidade de tráfego e o número equivalente de eixos padrão que irão circular na estrada durante a vida útil do projecto; (ii) avaliação da resistência do solo de fundação no qual a estrada será construída; e (iii) selecção da combinação mais económica de materiais de pavimento e espessuras das camadas. O catálogo do manual da SATCC está dividido em função da região em que se pretende construir o pavimento, podendo ser região húmida (W – *Wet*) ou região seca (D – *Dry*). Maputo, pertence a região W.

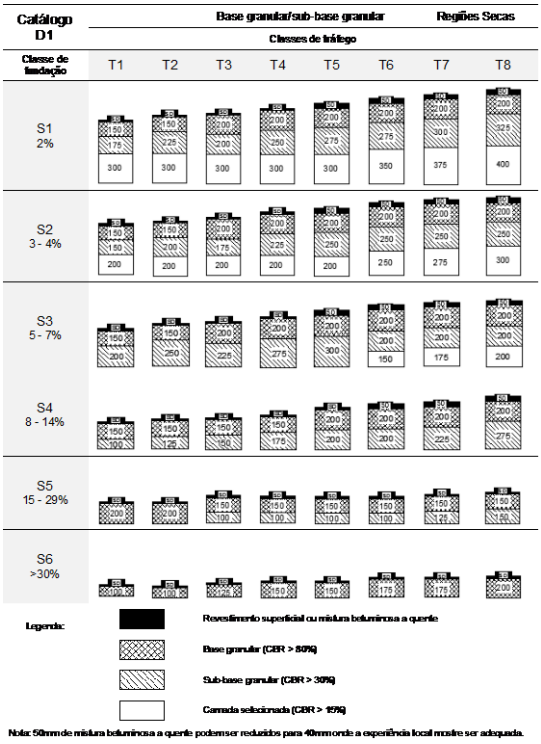


Tabela 1: Catálogo para dimensionamento (Fonte: SATCC, 1998)

2.2.Conceitualização do Método AASHTO

O método da AASHTO (1993, [1]) utiliza uma grande variedade de informação relativa às acções resultantes do tráfego, definindo o número total de veículos pesados por dia no primeiro ano. O método emprega os conceitos de: (i) equivalência de carga; (ii) coeficientes de equivalência estrutural; (iii) índice de serventia. Recomenda distintos níveis de confiabilidade no dimensionamento e fornece alguns níveis recomendados de confiabilidade incluindo os valores de desvio padrão normal. O factor de confiabilidade compreende duas variáveis: (i) Z_R - Desvio padrão normal, seu valor corresponde o nível de probabilidade desejada na expectativa de que o projecto não irá falhar abaixo do tempo, dado em percentagem; (ii) S_o - Erro padrão combinado da previsão do tráfego e desempenho, variável que define como amplamente as duas variáveis tráfego e desempenho podem variar.

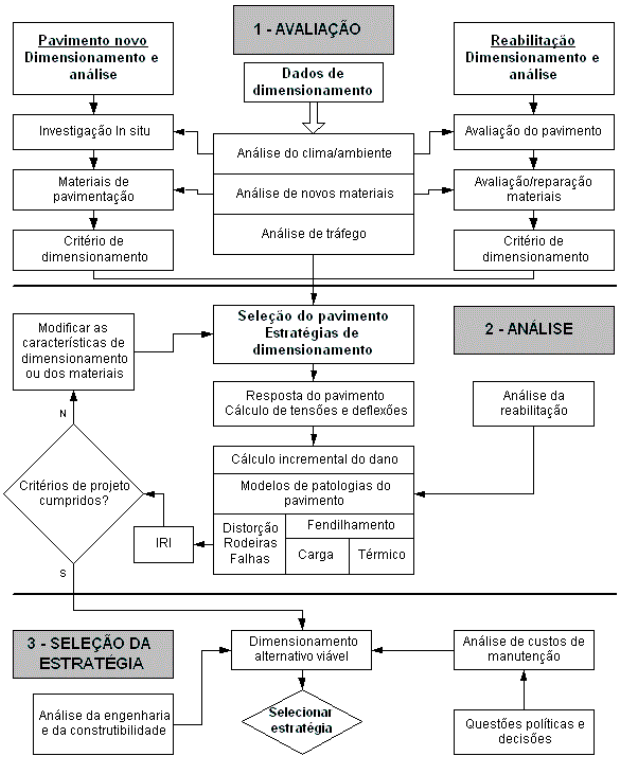


Tabela 2: Organigrama de dimensionamento de pavimentos flexíveis. (Fonte: AASHTO, 2008)

3. LEVANTAMENTO DE PATOLOGIAS

Não obstante várias reabilitações ao longo dos últimos vinte anos, esta estrada tem sofrido de forma cíclica, uma acentuada fadiga. A afluência de tráfego pesado, em direcção ao Porto de Maputo e aos armazéns da Av. da ONU e ruas conexas assim como o elevado nível freático, são as potenciais causas de degradação acelerada desta via. A secção transversal desta via é composta por duas faixas de rodagem com quatro vias, sendo duas para cada sentido. Possui uma valeta lateral de pé de talude, que recebe constantemente efluentes que emergem do talude bem como do lençol freático. No que respeita às condições do pavimento, este apresentava, antes da última intervenção em 2023, dois estados distintos de conservação: Do Km 0+000 (Praça 16 de Junho) ao Km 0+700 (sentido descendente Matola-Maputo), as condições do pavimento eram excelentes e com boa sinalização rodoviária. A restante extensão do sentido descendente até ao cruzamento com a Rua Paulino Santos Gil e limite da Av. Fernão de Magalhães, o pavimento era rígido. A faixa ascendente (sentido Maputo-Matola) apresentava predominância de buracos e excessivo desgaste da camada de rodagem, sendo que os primeiros 300 metros, a partir do cruzamento com a Rua Paulino Santos Gil não possuia nenhum revestimento. No geral existia: (i) base desgastada e exposta ao nível freático elevado e drenagem deficiente; (ii) Sub-base com solos lateríticos liquefeitos.

3.1.Contagem de tráfego

Foi realizada uma contagem de tráfego num posto principal em ambos sentidos, do dia 03.02.2025 a 09.02.2025, no período das 06.00h às 22.00h. No dia 06.02.2025 a contagem foi de 24h, isto é, das 0h às 0h. Para a realização da contagem de tráfego as viaturas foram ordenadas de acordo com a classificação da ANE, que agrupa os veículos em ligeiros e pesados. Do tratamento e calibração de dados foram encontrados **6.72×10^6 *ESAS*.**

3.2.Dados geotécnicos

Foram recolhidas amostras de solos, em quatro pontos da estrada. A média do CBR subleito é de **5% e da subbase é de 20%.**

	Valor de CBR	
Pontos de Recolha	Parte Inferior	Parte Superior
1	4%	18%
2	5%	21%
3	6%	19%
4	5%	22%

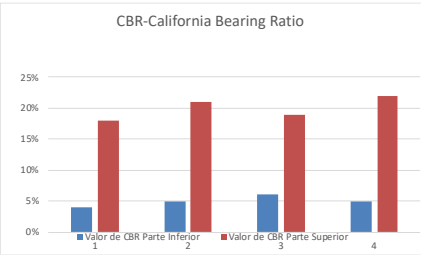
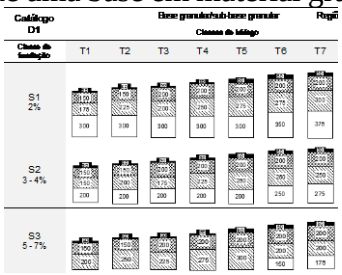


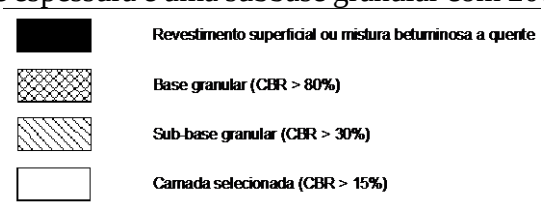
Gráfico 1: Condição da plataforma, valor do CBR existente (Fonte: Autor, 2025)

4. DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

4.1.Método Catálogo

Constatado o tipo de tráfego e considerando que que o solo da fundação possui um CBR que varia de 4% a 6% (Classe de Solo S3) e que o tráfego de é 6.72×10^6 *ESAS* (Classe de tráfego T6), propõe-se uma camada de desgaste em betão asfáltico de 50mm de espessura, antecedido de uma base em material granular de 200mm de espessura e uma subbase granular com 200mm.





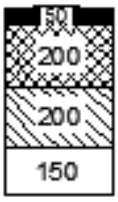




Tabela 3 – Proposta de composição do pavimento pelo método catálogo (Fonte: Autor, 2025)

4.2.Método AASHTO

Número Estrutural	1.5		Módulo Resiliente (Psi)		7,157.01
Design ESALs	6,726,604.06		Serviciabilidade Inicial		4.20
Confiabilidad	75%		Serviciabilidade Final		2.00
Desvio Padrão	-0.674				
CAPA DE MATERIAL	*Coeficiente de Capa (a)*	*Coeficiente de Drenagem (m)*	*Número Estrutural de Capa (SN)*	*ESPESSURA (cm)*	*Número Estructural de Capa (SN)*
Asfalto	0.210	1	1.04	8	1.040
Base Granular	0.138	1	0.26	15	1.951
Sub Base Granular	0.109	1	0.260	15	1.951



Tabela 4: Proposta de composição do pavimento pelo método AASHTO (Fonte: Autor, 2025)

4.3. Comparação de resultados AASHTO e CATÁLOGO e CONJUGAÇÃO



Tabela 5 – Comparação de resultados e conjugação final (Fonte: Autor, 2025)

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AASHTO – "AASHTO Guide for Design of Pavement Structures", American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C. 1993.

[2] Diogo, José Francisco Rufino, Ammar Abbas Mohammed Shubber and Mu Han Lin, 2007. Design Methodologies of Asphalt Pavement Used in China and Mozambique. Journal of Applied Sciences, 7: 1333-1338. DOI: 10.3923/jas.2007.1333.1338 URL: https://scialert.net/abstract/?doi=jas.2007.1333.1338

[3] LNEC – "Vocabulário de Estradas e Aeródromos "- Especificação E1 do LNEC. Lisboa, 1962.

[5] PINTO, S. e PREUSSLER, E. 2002. Pavimentação Rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. P. 108-113.

[6] SATCC - Divisão de Tecnologias de Estradas e Transportes, CSIR. (1998). Código de boas prácticas para o dimensionamento de pavimentos de estradas.

[7] YODER, E.J. and WITCZAK, M.W. 1975. Principle of Pavement Design. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, 711 p. http://dx.doi.org/10.1002/9780470172919.

ARTIGO Nº23481

UMA NOVA ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE TRÁFEGO BASEADO NOS UTILIZADORES

Cristina Vilarinho[1(*)], Rosaldo Rosseti [2], José Pedro Tavares [3]

[1]ICâmara Municipal do Porto(CMP) - Porto, Portugal
[2]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, LIACC - Porto, Portugal
[3]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, CITTA - Porto, Portugal
(*) *Email:* cristinavilarinho@cm-porto.pt

RESUMO

O presente apresenta uma estratégia inovadora de controlo de tráfego baseada nos utilizadores ("pessoas") a aplicar em interseções isoladas, substituindo a tradicional otimização centrada no veículo. Esta estratégia inclui simultaneamente o desenho do plano de regulação e a sua atualização com informações em tempo real sobre a dinâmica da rede. Para atualizar o plano de regulação do sinal de tráfego é aplicado um processo de negociação para o qual foi desenvolvido um mecanismo de leilão onde o controlo de tráfego é visto como um problema de alocação eficiente dos recursos disponíveis (verde) aos consumidores (sinais luminosos), onde todas as correntes de tráfego na intersecção competem. A estratégia foi aplicada numa intersecção de quatro ramos com procura variável no tempo. Os resultados obtidos, testados em ambiente de simulação microscópica, são promissores e sugerem a viabilidade numa perspetiva social no controlo de tráfego onde a base são todos os utilizadores em vez dos veículos.

Palavras-chave: sinais luminosos, estratégias de controlo, micro-regulação, sistemas multiagente.

INTRODUÇÃO

Os sinais luminosos têm impacto na circulação rodoviária de uma cidade. Estes não são as únicas peças do "quebra-cabeças", mas são sem dúvida elementos importantes na gestão de tráfego.

Os sinais luminosos têm a capacidade de melhorar a segurança rodoviária nas interseções, consideradas elementos críticos da rede viária, evitando os movimentos conflituantes de todos os utilizadores através da coordenação das dimensões espacial e temporal. De modo a evitar conflito de correntes de tráfego incompatíveis e otimizar a capacidade de escoamento da intersecção, os utilizadores têm de aguardar pela indicação do sinal verde, o que pode ter implicações na expectativa dos utilizadores e no consumo energético com o consequente impacto no ambiente. No entanto, o funcionamento ineficiente da sinalização luminosa pode ser responsável por causar problemas de mobilidade aos diferentes meios de transporte.

Tradicionalmente os sistemas de controlo de tráfego minimizam o atraso total dos veículos, ignorando a importância da mobilidade das pessoas em redes compostas por múltiplos meios de transporte. Além disso, a otimização baseada nos veículos pode levar ao tratamento injusto de veículos com alta ocupação de pessoas, o que contraria as estratégias de mobilidade mais recentes. Em algumas cidades, a prioridade para veículos de transporte público foi desenvolvida sem considerar a ocupação real do veículo.

Neste artigo foi desenvolvido uma estratégia de controlo de tráfego responsivo baseado no conjunto dos utilizadores, nomeadamente condutores, passageiros e peões, a aplicar em interseções isoladas. Em vez da tradicional otimização centrada no veículo, onde se analisam as condições de circulação deste tendo em atenção, por exemplo, a maximização da capacidade ou minimização do atraso, propõe-se uma nova estratégia baseada nas "pessoas". De facto, parece ser uma abordagem interessante olhar para as condições de circulação distinguindo os veículos de acordo com a sua ocupação, permitindo que o controlo de tráfego opere com base no tráfego de pessoas presentes/expectáveis na interseção.

Esta estratégia inclui simultaneamente o desenho do plano de regulação e a sua atualização com informações em tempo real sobre a dinâmica da rede. Um dos tópicos mais importantes no controle de tráfego é mantê-lo atualizado. Na primeira fase da estratégia é calculado o plano de regulação, passando depois para a segunda fase da operação onde os valores das variáveis do controlo de tráfego são atualizados com base nas condições de circulação detetadas. Assim, esta estratégia consegue reagir a eventos não planeados ou imprevisíveis sem intervenção humana.

Por outro lado, o controlo de tráfego é visto como um problema de alocação eficiente dos recursos disponíveis (sinal com a cor verde) aos consumidores (sinais luminosos), onde todas as correntes de tráfego na intersecção competem pelo sinal com a cor verde. De modo a criar uma estratégia de controlo de tráfego disruptiva, as variáveis tradicionais utilizadas no controlo de tráfego tais como o ciclo, o tempo de verde máximo e a sequência fixa das fases foram abandonadas. Deste modo, o sistema de controlo de tráfego proposto é menos restritivo e mais flexível que os sistemas tradicionais.

Os Sistemas Multiagente são abordagens populares para explorar soluções para problemas de gestão de tráfego. O controlo de tráfego é um problema geograficamente distribuído, que ocorre num ambiente dinâmico onde as interseções entre componentes são complexas (Chen and Cheng, 2010; Rossetti et al., 2008). Por isso, o Sistema Multiagente foi selecionado como a arquitetura global desta nova estratégia.

O presente artigo apresenta um novo sistema de controlo de tráfego baseado num mecanismo de "leilão". A metodologia inclui um processo de negociação, envolvendo todas as correntes de tráfego de modo a gerir o tempo de verde entre elas. Em cada momento de leilão é decidido se se aplica a extensão do tempo de verde da presente fase ou o seu término, com base na procura de tráfego existente/expectável e com o objetivo de minimizar o atraso das pessoas. Em caso de decisão de terminar a presente fase, uma segunda decisão é necessária sobre qual a nova fase a iniciar. O processo de negociação é muito dinâmico, e inicia-se em intervalos curtos (poucos segundos).

Para o processo de negociação é definido a priori um conjunto de valores iniciais para as variáveis de controlo de tráfego. São desenvolvidas duas abordagens para encontrar os valores iniciais para o controlo de tráfego, sem (*ITC_No_Plan*) e com (*ITC_Plan*) desenho de plano de regulação da interseção. Saliente-se que a abordagem *ITC_No_Plan* é mais simples e direta do que a abordagem *ITC_Plan*, mas mais disruptiva.

ENQUADRAMENTO

Os trabalhos mais relevantes na temática da negociação em Sistemas Multiagente foram desenvolvidos por Dresner and Stone (2005), (2009), Vasirani and Ossowski (2009), (2011) e Schepperle and Bohm (2008) Todos estes trabalhos consideram que cada veículo/condutor é um agente do leilão que pode realizar apostas.

Dresner e Stone, apresentam um mecanismo designado por "reservation-based intersection control", onde cada condutor (veículo de agente autónomo) na aproximação da interseção solicita ao agente responsável pela interseção (infraestrutura) uma reserva de "tempo verde" para cruzar a interseção. O responsável pela interseção decide se aceita ou rejeita as reservas solicitadas de acordo com a estratégia "o primeiro a chegar, o primeiro a ser atendido".

Vasirani e Ossowski, estendem o mecanismo descrito anteriormente para a dimensão de rede. Os condutores (agentes compradores) negoceiam com a infraestrutura (agente vendedor), num mercado virtual, o tempo de verde para poder cruzar a intersecção. As regras do mercado definidas pretendem estimular o "lucro global" (receitas pelo uso da infraestrutura) com o "bem-estar social" (por exemplo, o tempo médio de viagem). A inclusão do fator monetário, proposta por Vasirani e Ossowski, dá um incentivo aos condutores para explorar rotas alternativas aos caminhos mais curtos e fornece aos responsáveis pela interseção uma forma eficaz de controlar o sistema.

Schepperle e Bohm, introduzem a avaliação dos condutores no seu sistema, isto é, os condutores (agentes) podem trocar o tempo de verde atribuído. Numa primeira fase os condutores solicitam à infraestrutura o tempo de verde para cruzar a intersecção, se este não ficar satisfeito com o horário atribuído pode tentar adquirir um horário mais conveniente para ele, na vez de outro condutor. Na segunda fase, os veículos que ainda não possuem tempo de verde atribuído vão a leilão. A área de aplicação é a interseção isolada.

No controlo de tráfego com estratégia de "self-optimization" (Miller, 1963; Michalopoulos and Stephanopoulos, 1979), é prevista a diferença entre o benefício de estender o tempo verde por um período e o valor da perda para os veículos que se encontram em fila de espera com o sinal vermelho, em termos de atraso total. Este tópico foi inspirador para este trabalho onde foi incluída a ideia de levar em conta todos os utilizadores da intersecção que aguardam no sinal vermelho, para além dos utilizadores que tem o sinal verde ativo.

Outro conceito inspirador, para este trabalho, foi o conceito "time before redunction" utilizado na operação atuada da sinalização luminosa (Pacelli et al., 2000; Kell and Fullerton, 1982) onde a duração do tempo de verde é influenciada pelo pedido de sinal verde dos restantes grupos de sinais da interseção, assim que o tempo mínimo de verde é atingido e ultrapassar o tempo de verde máximo.

Bang and Nilsson (1976) implementaram na Suécia um sistema de controlo de tráfego designado por Traffic Optimization Logic (TOL), onde é estimado o impacto da extensão por um intervalo o tempo de verde na fase ativa. Por um lado, na fase ativa têm-se o impacto positivo no tempo de viagem e no número de paragens nos veículos que se encontram a receber o sinal verde. Por outro lado, na(s) fase(s) não ativa(s) têm-se o impacto negativo estimado devido ao atraso extra dos veículos, assim como no número de paragens dos veículos devido ao tempo extra do sinal vermelho. A decisão de estender o tempo de verde é em função da diferença dos impactos, se positiva o tempo de verde fase é estendida, e vice-versa. A extensão do tempo de verde é limitada até ao tempo de verde máximo.

A estratégia referida anteriormente ("self-optimization") explora o conceito da estimativa da diferença entre o benefício no atraso total de estender o tempo de verde por um período e a perda para os veículos que estão em fila uma vez que o tempo de vermelho é prolongado. A extensão do tempo de verde continua limitada ao tempo de verde máximo. O controlo de tráfego foi desenvolvido para a interseção isolada o que significa que a decisão de extensão é baseada em informações da própria intersecção, não tendo em atenção o estado de outras interseções.

ESTRATÉGIA DE CONTROLO DE TRÁFEGO PROPOSTA

O presente artigo apresenta uma nova estratégia de programação para o controlo de tráfego, onde as decisões sobre o estado da sinalização luminosa de cada corrente de tráfego são tomadas com base na informação de todos os utilizadores ("pessoas") presentes/expectáveis nas correntes de tráfego, independentemente da cor do seu sinal luminoso. O processo de decisão envolve a comparação do benefício de estender o tempo de verde por um período ou o seu término. No caso de se decidir terminar a fase ativa, a seleção da próxima fase a ser aplicada é baseada naquela que se estima que traga o maior benefício para o sistema.

A estratégia de controlo de tráfego proposta é desenvolvida para operação em tempo real em intersecções isoladas. No controlo de tráfego isolado, cada interseção é independente e as decisões de controlo são tomadas sem informação do estado das interseções vizinhas. As vantagens são um controlo de tráfego mais simples uma vez que não necessita de se coordenar com outras interseções e uma maior flexibilidade para a afetação do tempo de verde.

A arquitetura global do sistema de controlo de tráfego proposto utiliza uma abordagem de Sistema Multiagente para interseções isoladas. Vilarinho et al. (2016) apresentam o modelo conceptual deste Sistema Multiagente responsável por definir as variáveis de controlo de tráfego, a monitorização do sistema e a atualização do valor das variáveis. O sistema inclui cinco tipos de agentes por interseção, nomeadamente o "Traffic Stream Provider", o "Traffic State Provider", o "Auditor", o "Traffic Signal Planner" e o "Traffic Stream". O tipo de agente "Traffic Stream" tem n agentes, um por cada corrente de tráfego existente na interseção, o que depende das características da interseção. A estratégia de controlo de tráfego proposta é organizada em duas etapas.

A primeira etapa ocorre ocasionalmente quando o agente "Auditor", decide que é necessário um novo plano de regulação porque ou detetou uma alteração topológica ou esgotou o orçamento fixado para negociação. O agente "Traffic Signal Planer" tem o papel de projetar um novo plano de regulação de tráfego, incluindo a definição da composição das fases, a sua sequência e respetivos tempos verde. A estratégia no cálculo do plano de regulação é autónoma, necessitando apenas de um conjunto de dados de entrada (Vilarinho and Tavares, 2014) e dados de tráfego em tempo real. A duração do ciclo, o tempo verde, a composição das fases e a sua sequência são calculadas usando a abordagem de Akcelik (1980). Todos os planos de regulação possíveis são dimensionados, a escolha do plano adotar é realizada através de uma análise multicritério para promover boas condições de mobilidade (Vilarinho et al., 2017). Após a definição do novo plano é atribuído novo orçamento à intersecção para proceder à atualização do plano durante segunda etapa.

A segunda etapa é iniciada pelo agente "Traffic Stream", onde o tempo de verde é negociado após cumprido o tempo mínimo de verde da fase. O processo de negociação do tempo de verde é realizado através de um mecanismo de leilão onde participam todos os agentes do tipo "Traffic Stream" (igual ao número de correntes de tráfego), de acordo com as condições de tráfego presentes/expectáveis. O processo de negociação inclui duas decisões: em primeiro lugar, definir quando a fase atual deve ser finalizada e, em segundo lugar, definir a próxima fase a ser implementada pelo controlo de tráfego. A "próxima" fase selecionada é a que dá a contribuição mais benéfica para o desempenho de interseção. Como resultado, a sequência das fases assim como a duração do tempo de verde pode ser diferente do planeado na primeira etapa da estratégia, onde foram calculadas s variáveis iniciais do plano de regulação. A diferença entre o planeado e o implementado é deduzido no orçamento da interseção.

Embora o plano de regulação seja atualizado de acordo com as condições de tráfego presentes, algumas variáveis (débito de saturação, tempo mínimo de verde e a composição das fases) calculadas anteriormente durante a primeira fase influenciam o processo de negociação do tempo de verde, da segunda fase. Assim, o conceito de orçamento é introduzido para forçar o cálculo de um novo plano de regulação e respetivas variáveis.

As decisões sobre a cor a adotar pelas correntes de tráfego são dependentes dos dados de tráfego presentes, como o volume de tráfego, o comprimento de filas e o tempo de atraso de todas as correntes de tráfego, independentemente da cor do seu sinal luminoso. Assim, esta estratégia pode reagir a eventos não planeados ou imprevisíveis sem intervenção humana.

Com o objetivo de desenvolver um sistema de controlo de tráfego pouco restritivo e altamente flexível de modo a adaptar-se às condições de tráfego foram testados dois métodos de definir variáveis iniciais de controlo de tráfego, definidas na primeira etapa da estratégia, respetivamente com (*ITC_Plan*) e sem (*ITC_NoPlan*) plano inicial de regulação de tráfego, nomeadamente:

- *ITC_Plan* – Na primeira etapa é definido um plano de regulação inicial que inclui a composição e sequência das fases e o tempo de verde de cada uma das fases. O orçamento tem valor igual ao ciclo definido para o plano selecionado. Na segunda etapa, se a decisão é terminar a fase ativa, a fase seguinte pode ser qualquer uma das fases do plano de regulação ativo (definido durante a primeira etapa). A fase selecionada é a que se estima trazer maior benefício para o desempenho de interseção. O consumo do orçamento depende do plano de regulação implementado e planeado, quanto mais estes se afastam maior é o consumo do orçamento.
- *ITC_NoPlan* – Na primeira etapa é apenas definido todas as possíveis composições de fases. Como não existe ciclo, o orçamento assume o valor de 300s. Na segunda etapa, se a decisão é terminar a fase ativa, a fase seguinte pode ser qualquer uma das possíveis composições de fase. A fase selecionada é a que se estima trazer maior benefício para o desempenho de interseção. Logo, não há restrições impostas pelo plano de regulação, qualquer composição de fase possível pode ser selecionada em cada momento de decisão. Ao valor do orçamento é deduzido uma unidade por cada segundo passado, assim a primeira etapa é iniciada a cada 300s.

Apesar do objetivo desta estratégia seja desenvolver um controlo de tráfego flexível e disruptivo, existem algumas variáveis e respetivos limites que continuam a ser definidos por razões de segurança e de operação, nomeadamente a composição da fase (grupos), o tempo mínimo de verde de cada fase e o tempo de interverde (inclui o tempo de amarelo e de tudo vermelho). Nesta estratégia de controlo de tráfego proposta, o tempo de verde máximo e a duração do ciclo são conceitos desprezados, e o tempo de mínimo de verde dos peões é definido de acordo com a procura de tráfego pedonal.

O controlo de tráfego proposto exige a deteção de dados de tráfego em tempo real, especialmente para a segunda fase – a negociação do tempo de verde. Os dados de tráfego necessários são o número de utilizadores (nº de ocupantes nos veículos e nº de peões), o tamanho da fila de espera e o atraso dos utilizadores que aguardam na interseção. Apesar da sensorização não ser o foco deste trabalho, a indústria tem evoluído no sentido da deteção automática de dados de tráfego em tempo real através da utilização de diferentes tipos de sensorização, designadamente deteção dos sinais Bluetooth, Wi-Fi, GSM dos telemóveis e a comunicação entre veículos (V2V) e entre o veículo e a infraestrutura (V2I), entre outros.

CASO DE ESTUDO

A estratégia de controlo de tráfego proposta é testada numa interseção isolada de quatro-ramos, todos de entrada e saída, localizada no Porto, Portugal. Todas as correntes de tráfego são controladas por sinalização luminosa, onde veículos e peões competem por obter o sinal verde. No total existem 12 movimentos de veículos e 8 movimentos peões permitidos.

O perfil de procura dos veículos e peões utilizado neste estudo é apresentado em Vilarinho et al. (2017). Na primeira hora de a procura vai aumentado, na segunda hora a procura total mantém-se alterando-se a procura relativa dos movimentos dos veículos.

O caso de estudo considera uma velocidade de 50 km/h para os veículos, o intervalo se simulação de 1s, o tempo de reação de 1,10s e o tempo de "aquecimento rede" (*warm-up*) de 15 minutos que não são contabilizados nos resultados. Os resultados apresentados resultam da média dos valores resultantes de 25 replicações de cada cenário.

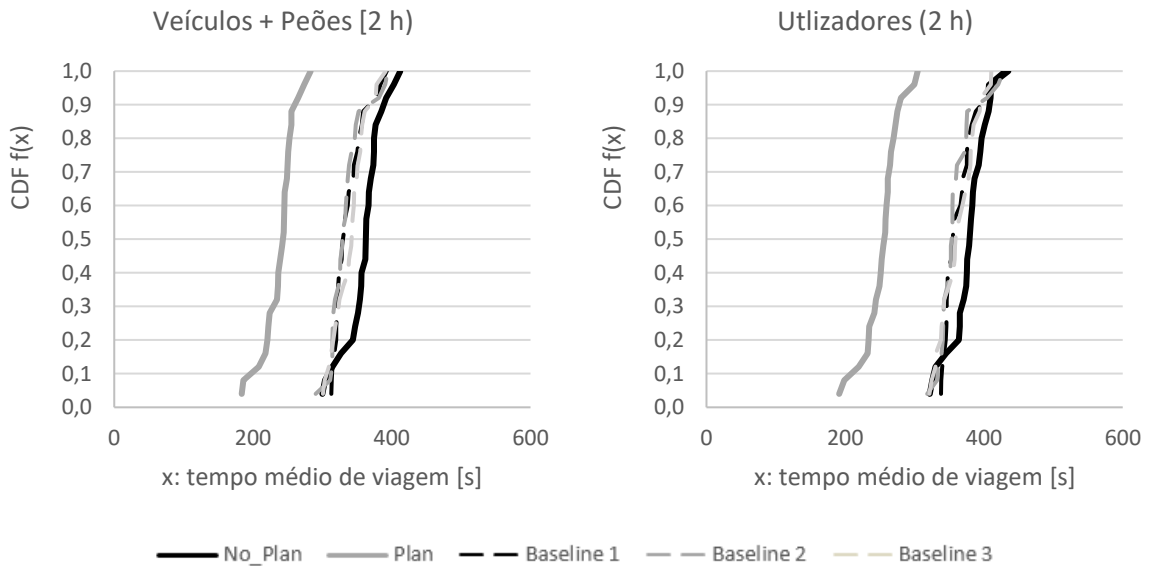
Para avaliar o desempenho dos dois métodos propostos (*ITC_Plan* e *ITC_NoPlan*) descritos anteriormente foram desenvolvidos três cenários base, nomeadamente:

- *Baseline 1*: O software de referência TRANSYT (Binning, 2014) é utilizado para calcular três planos de regulação para diferentes momentos de procura do caso de estudo sendo o controlo de tráfego deste cenário em tempos fixos ("horários");
- *Baseline 2*: Os mesmos três planos de regulação calculados para o cenário *baseline 1* são utilizados por este controlo de tráfego em operação atuada com os tempos de verde calculados adotados como tempos de verde máximos;
- *Baseline 3*: Neste cenário é adotado o plano de regulação presente na interseção em ambiente real sendo o controlo de tráfego deste cenário operado em modo atuado e os tempos de verde existentes como tempos de verde máximos.

O caso de estudo foi implementado em ambiente de simulação microscópico de tráfego com recurso ao programa de simulação de tráfego AIMSUN (Aimsun, 2011). De modo a incluir a estratégia de controlo de tráfego programada (*ITC_Plan* e *ITC_NoPlan*) no simulador foi desenvolvido um protocolo de comunicação (Vilarinho et al., 2013) que realiza a ligação entre as duas entidades permitindo que a informação do simulador de tráfego alimente a estratégia de controlo de tráfego e a estratégia de controlo de tráfego alimente o simulador com a "cor" a emitir pelos sinais luminosos, em tempo real.

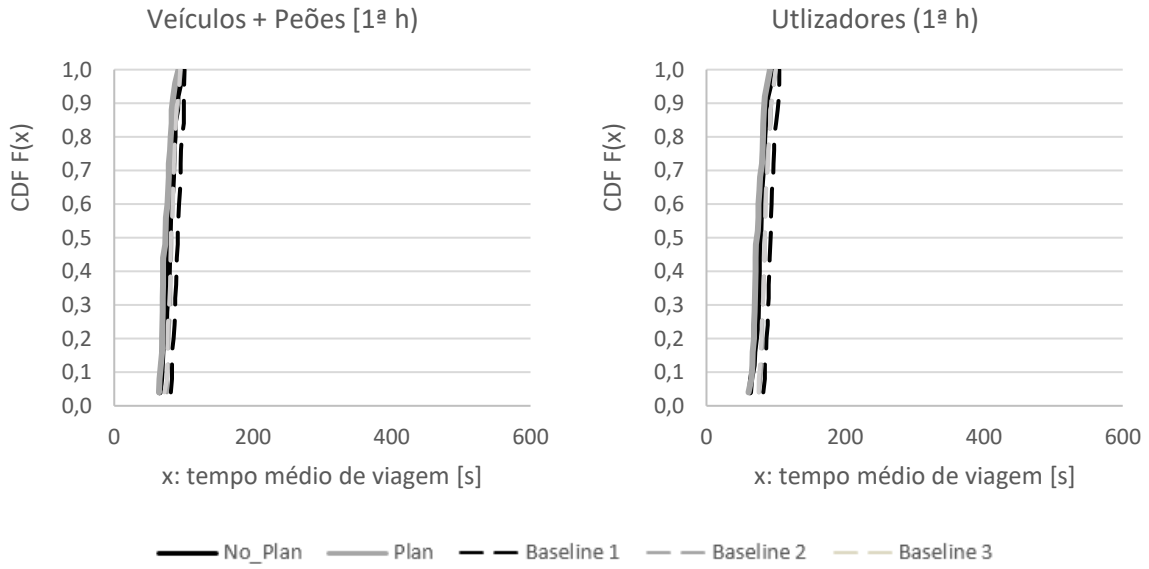
A respeito do desenho do plano de regulação, como resultado da aplicação da primeira etapa da estratégia, o caso de estudo é constituído por 10 correntes de tráfego, por 12 possíveis composições de fases e por 4 possíveis desenhos de planos de regulação (sequência de fases). A nível de esforço computacional, o tempo de execução de todas possíveis composições de fase foi de 0.130s e de todos os possíveis desenhos de planos de regulação foi de 0.080s. Assim, tendo em conta os tempos de execução computacional apresentados é possível afirmar que a aplicação em tempo real desta estratégia é teoricamente possível.

De modo a avaliar os impactos nas condições de tráfego resultantes da aplicação dos 3 cenários base com as 2 estratégias foi aplicada a função distribuição cumulativa (CDF) para a variável tempo médio de viagem (segundos) considerando veículos e peões e considerando os utilizadores (ocupantes dos veículos e peões). Os resultados são apresentados para a totalidade das duas horas de simulação (Figura 1), assim como para cada hora isoladamente (Figura 2 e Figura 3).



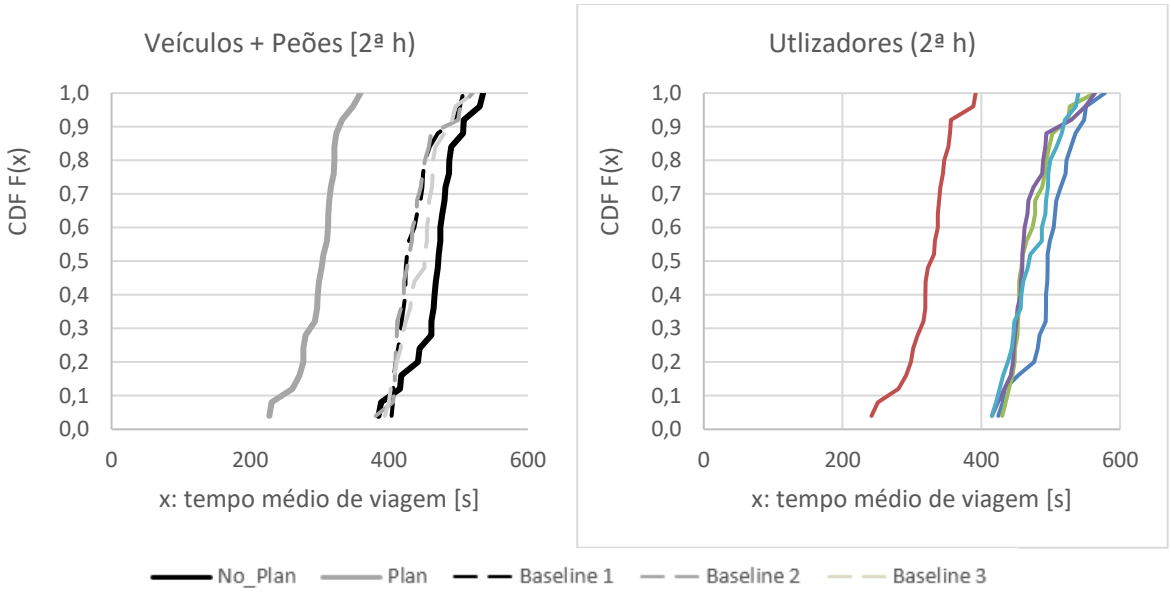
a) b)

Fig. 11: CDF empíricas do caso de estudo para a totalidade do período de simulação



c) d)

Fig. 12 - CDF empíricas do caso de estudo para a primeira hora do período de simulação



e) f)

Figura 13 – CDF empíricas do caso de estudo paea segunda hora do período de simulação

Pela análise dos resultados poder-se-á concluir que o método *ITC_Plan* conduz a um melhor desempenho quer para os 3 cenários base quer para o outro método proposto (*ITC_NoPlan*). Na primeira hora de simulação (Figura 3 c), enquanto a procura de tráfego vai aumentado em ambos os métodos da estratégia proposta tem resultados ligeiramente melhores. No entanto, o tempo médio de viagem é análogo entre todos os cenários. Na segunda hora de simulação, a procura de tráfego é elevada, o que gera um aumento do tempo médio de viagem para todos os cenários. Porém, saliente-se que o tempo médio de viagem resultante da aplicação do método *ITC_Plan* apresenta uma redução de 28% em comparação com cenário *baseline 2*.

O caso de estudo também foi avaliado tendo em conta outas métricas por ramos de entrada na interseção em vez da totalidade da rede, nomeadamente o tempo de atraso médio, o número de paragens médio e o número de veículos que saíram do ramo. Os resultados dos métodos da estratégia proposta reduzem o atraso médio e o número de paragens médio, no ramo com maior procura, apresentando o método *ITC_Plan* uma redução substancialmente maior em ambas as métricas. No entanto, nesta estratégia proposta o atraso médio dos restantes ramos aumenta, mas, aparentemente, tende a se equilibrar entre todos os ramos da interseção, independentemente da procura de tráfego.

Os resultados do processo negociação do tempo de verde também foram analisados, para ambos os métodos, *ITC_NoPlan* e *ITC_Plan*, tendo-se verificado um tempo de verde médio de 17s e 28s, e máximo de 49s e 77s, respetivamente, estando de acordo com as boas práticas e podem-se considerar aceitáveis tendo em conta a espectativa das pessoas. O método *ITC_NoPlan* apresenta valores inferiores ao *ITC_Plan*, provavelmente como consequência da maior flexibilidade do primeiro designadamente no que concerne à possibilidade de uma mudança de fases mais frequente.

Relativamente ao tempo de negociação do tempo de verde refere-se que ambos apresentam valores muito inferiores a um segundo, nomeadamente de 0,044 s e 0,038 s, para *ITC_NoPlan* e *ITC_Plan*, respetivamente, pelo que estes valores obtidos sugerem, mais uma vez, que as estratégias são possíveis para sistemas reais e em tempo real.

Por último, saliente-se que a cada 147s é calculado um novo plano de regulação, primeira etapa no método *ITC_Plan*, o que demonstra grande dinâmica da estratégia de controlo de tráfego proposta. Basicamente, o sistema de controlo de tráfego alterna a sua seleção entre dois planos de regulação fazendo variar também os tempos de verde.

CONCLUSÕES

O presente artigo apresenta uma nova estratégia de controlo de tráfego baseada nos utilizadores ("pessoas") a aplicar em interseções isoladas ao contrário da tradicional otimização centrada no veículo, onde se analisam as condições de circulação deste tendo em atenção, por exemplo, a maximização da capacidade ou minimização do atraso.

O caso de estudo analisa a aplicação dos dois métodos da estratégia de controlo desenvolvida onde a estratégia foi aplicada numa intersecção isolada de quatro ramos com procura variável no tempo.

O desempenho dos dois métodos da estratégia desenvolvida é comparado com três cenários base desenvolvidos onde os planos de regulação de tráfego foram calculados com recurso ao programa TRANSYT para condições de tráfego de referência, implementando modos de operação fixos e atuados, e com os planos reais.

Os resultados obtidos, testados em ambiente de simulação microscópica de tráfego, são animadores e sugerem que há viabilidade numa perspetiva social no controlo de tráfego onde a base são todos os utilizadores em vez de apenas os veículos. O método *ITC_Plan* apresenta melhores resultados que os restantes cenários, incluindo o outro método proposto o *ITC_NoPlan*.

Na estratégia de controlo de tráfego proposta, o ramo da interseção com maior valor de atraso vê sempre o seu valor ser reduzido, distribuindo e balanceando o atraso entre todos os ramos da interseção. Assim os ramos com menor atraso nas abordagens tradicionais tendem a aumentar o atraso com a estratégia proposta. O benefício para a rede será superior nos casos em que os ramos com maior atraso tem uma procura relativa elevada.

Em termos de eficiência computacional, o tempo de cálculo da estratégia tanto na primeira como na segunda etapa são reduzidos o que torna possível a sua aplicabilidade em tempo real.

De modo a criar uma estratégia de controlo de tráfego disruptiva, as variáveis tradicionais utilizadas no controlo de tráfego tais como o ciclo, o tempo de verde máximo e a sequência fixa das fases foram abandonadas. Deste modo, poder-se-á concluir que o sistema de controlo de tráfego proposto é menos restritivo e mais flexível que os sistemas tradicionais e os resultados obtidos sugerem que essas variáveis podem ser abandonadas sem prejuízo para a operação do controlo de tráfego.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT – Fundação para a Cieência e a Tecnologia, agência Portugal para a investigação e desenvolvido no âmbito da bolsa de doutoramento número SFRH/BD/51977/2012.

REFERÊNCIAS

Aimsun 2011. Aimsun 7 Users' Manual. 7 ed. Barcelona, Spain: TSS - Transport Simulation Systems.

Akcelik, R. 1980. Time-Dependent Expressions for Delay, Stop Rate and Queue Length at Traffic Signals. In: Board, A. R. R. (ed.) Australian Road Research Board Internal Report. Melbourne, Australia.

Bang, K. L. & Nilsson, L. E. 1976. Optimal Control of Isolated Traffic Signals. IFAC Proceedings Volumes, 9, 173-184.

Binning, J. C. 2014. Transyt 15 User Guide. In: Limited, T. (ed.). E. Wokingham Berkshire, United Kingdom.

Chen, B. & Cheng, H. H. 2010. A Review of the Applications of Agent Technology in Traffic and Transportation Systems. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 11, 485-497.

Dresner, K. 2009. Autonomous Intersection Management. PhD thesis, University of Texas.

Dresner, K. & Stone, P. Multiagent traffic management: an improved intersection control mechanism. 4th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2005), 2005 Uthrecht, Netherlands. New York: ACM Press, 471-477.

Kell, J. & Fullerton, I. 1982. Manual of traffic signal design, Institute of Transportation Engineers, Prentice-Hall.

Michalopoulos, P. G. & Stephanopoulos, G. 1979. An algorithm for real-time control of critical intersections. Traffic Engineering & Control, 20, 9-15.

Miller, A. J. 1963. Settings for Fixed-Cycle Traffic Signals. Operational Research Quarterly, 14, 373-386.

Pacelli, M., Messer, C. & Urbanik, T. 2000. Development of an actuated traffic control proccess utilizing real-time estimated volume feedback. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. USA: Texas Transportation Institute.

Rossetti, R. J. F., Ferreira, P. a. F., Braga, R. a. M. & Oliveira, E. C. Towards an Artificial Traffic Control System. 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 12-15 Oct. 2008 2008 Beijing, China. IEEE, 14-19.

Schepperle, H. & Bohm, K. Auction-Based Traffic Management: Towards Effective Concurrent Utilization of Road Intersections. Ieee Joint Conference on E-Commerce Technology (Cec'08) and Enterprise Computing, E-Commerce and E-Services (Eee'08), July 21-24 2008. 105-112.

Vasirani, M. & Ossowski, S. 2009. A market-inspired approach to reservation-based urban road traffic management. Proceedings of 8th International Conference on AAMS, 2009 2009 Budapest, Hungary. International Foundation for AAMS, 617-624.

Vasirani, M. & Ossowski, S. 2011. A computational market for distributed control of urban road traffic systems. Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on, 12, 313-321.

Vilarinho, C., Soares, G., Macedo, J., Tavares, J. P. & Rossetti, R. J. F. 2013. Capability-Enhanced AIMSUN with Real-Time Signal Timing Control. Procedia - Social and Behavioral Sciences, EWGT2013 – 16th Meeting of the EURO Working Group on Transportation, 262-221.

Vilarinho, C. & Tavares, J. P. 2014. Real-time traffic signal settings at an isolated signal control intersection Transportation Research Procedia, 3, 1021-1030.

Vilarinho, C., Tavares, J. P. & Rossetti, R. J. F. 2016. Design of a Multiagent System for Real-Time Traffic Control. IEEE Intelligent Systems, 31, 68-80.

Vilarinho, C., Tavares, J. P. & Rossetti, R. J. F. 2017. Intelligent Traffic Lights: Green Time Period Negotiaton. Transportation Research Procedia, 22, 325-334.

ARTIGO Nº23483

ANÁLISE AOS ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM MAPUTO

António Matos[1,2], Amade Mussagy [3]

[1]Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia
[3]Ordem dos Engenheiros de Moçambique
Emaisl: [1]antoniomatos61@gmail.com; [3]amade.mussagy@tvcabo.co.mz

RESUMO

Os acidentes rodoviários são uma das principais causas de mortes e ferimentos graves em todo o mundo. Em Moçambique, essa situação é agravada pelo crescimento urbano desordenado, infraestrutura inadequada e falta de educação rodoviária, entre outros. Estima-se que os acidentes de trânsito possam atingir até 5% do PIB africano até 2030. A maioria das vítimas são pedestres, ciclistas e motociclistas, evidenciando a vulnerabilidade desses grupos.

A segurança rodoviária em Moçambique é uma questão de saúde pública e de desenvolvimento. A elevada taxa de mortalidade nas estradas, aliada à juventude da população, compromete o capital humano e o crescimento sustentável. Este artigo visa apresentar um diagnóstico actualizado da situação, com base em relatórios da OMS (2018), Banco Mundial (2021) e dados do INATRO, além de propor medidas de curto e médio prazo para uma transformação sistémica.

Neste artigo, os autores, embora baseados em dados de 2017 mas também em outros documentos orientadores, obtiveram conclusões que julgamos actuais, trazendo este tema para enriquecer o debate e encontrar mais sugestões e recomendações. Notar que os acidentes rodoviários são a terceira maior causa de mortes entre 5 e 44 anos em África. Em Moçambique, estima-se uma taxa de 18 a 20 mortes por 100 mil habitantes, sendo que mais de 90% dos acidentes são causados por erro humano, onde se inclui o excesso de velocidade, ultrapassagens irregulares, uso de álcool e drogas, desrespeito à sinalização, uso do telemóvel ao volante, falta de capacitação dos condutores e infraestrutura rodoviária deficiente. Destaca-se ainda que a fiscalização inadequada e a corrupção também contribuem para o aumento dos acidentes. São discutidas as causas estruturais do congestionamento, a elevada mortalidade rodoviária (30,1/100.000 habitantes) e as estratégias propostas para mitigar estes problemas. Destacam-se os megaprojectos de transporte público e as reformas institucionais necessárias, com ênfase numa abordagem de Sistema Seguro e em metas alinhadas com os ODS 2030.

O artigo destaca a necessidade de melhorias nas vias, incluindo a sinalização rodoviária (falta de sinais de trânsito e sua má manutenção agravam os riscos), iluminação pública (áreas mal iluminadas aumentam os acidentes noturnos), condições do pavimento (defeciente manutenção contribui para derrapagens e capotamentos), canalização de tráfego (melhor organização dos fluxos de tráfego e instalação de separadores centrais podem reduzir colisões), redução de velocidade (uso de lombas, bandas sonoras e radares pode melhorar a segurança), etc.

Ao nível de medidas Legislativas e de Fiscalização, propoe-se a criação de um Comitê Nacional de Prevenção de Acidentes para monitorar e implementar políticas públicas, a revisão do Código de Estrada com medidas mais rígidas para punir infratores (a implementação do sistema de carta por pontos, onde condutores perderiam pontos por infrações graves, levando à suspensão da carta de condução), o aprimoramento da fiscalização (para evitar corrupção e garantir inspeções veiculares mais rigorosas), a educação e conscientização (iniciando nas

escolas para ensinar crianças sobre segurança no trânsito e atravessar estradas), o treinamento de condutores e fiscalização das autoescolas (para garantir formação adequada) e campanhas de sensibilização sobre os perigos do excesso de velocidade, uso de álcool e respeito à sinalização.

Ao nivel das propostas a curto e médio prazo propo-se nas áreas Urbanas, a construção de passeios para pedestres e passagens elevadas, a sinalização adequada em áreas escolares, a melhor iluminação e fiscalização de velocidade, bem como estudos espeficios em zonas de alto nivel de acidentes.

Na Capacitação Profissional, propõe-se o treinamento para socorristas e emergência médica, um maior rigor na inspeção de veículos e o monitoramento eletrônico de infrações e punições mais severas.

Em síntese, a redução da sinistralidade rodoviária exige um esforço conjunto entre o governo, autoridades de trânsito e a população. Medidas como infraestrutura adequada, fiscalização eficaz e conscientização pública são essenciais para salvar vidas e reduzir os impactos econômicos dos acidentes.

Palavras-chave: mobilidade urbana, segurança rodoviária, transporte público, BRT, ferrovia, género, Maputo, políticas públicas, sistema seguro, mobilidade, transportes, acidentes rodoviários.

1. INTRODUÇÃO

Moçambique possui uma das mais altas taxas de mortalidade rodoviária do mundo (30,1 mortes por 100.000 habitantes), afectando significativamente a população em idade produtiva e custando cerca de 10% do PIB nacional. Este artigo técnico, baseado em evidências da OMS, Banco Mundial e estudos nacionais, analisa criticamente o desempenho da segurança rodoviária do país, identifica os principais desafios estruturais e apresenta recomendações alinhadas à abordagem de sistema seguro. Propõe acções prioritárias nas áreas de gestão institucional, infra-estrutura, fiscalização, resposta pós-acidente, educação e integração de dados, com ênfase na inclusão de género e na articulação intersectorial.

A Área Metropolitana de Maputo (AMM) enfrenta desafios urbanos complexos, incluindo um crescimento populacional acelerado, infra-estruturas degradadas e um sistema de transporte público ineficiente. Estes factores resultam em congestionamento extremo, tempos de viagem excessivos e elevado risco de acidentes. Segundo a OMS (2021), Moçambique é um dos países com pior registo de segurança rodoviária no mundo, com custos equivalentes a 10% do PIB. A resposta exige planeamento integrado e intervenções multissectoriais, orientadas por dados e com forte liderança institucional.

2. DIAGNÓSTICO INTEGRADO DE MOBILIDADE E SINISTRALIDADE

- Congestionamento crítico nos principais corredores (EN1, Marginal, Circular);
- Transporte público com cobertura e qualidade insuficientes (queda de 80% para 60% na quota modal);
- Taxa de mortalidade rodoviária de 30,1 por 100.000 habitantes (OMS 2018);
- 73% das vítimas em idade produtiva (15–64 anos);
- 50% das fatalidades são peões, evidenciando vulnerabilidade urbana;
- Subnotificação grave: dados nacionais 6 vezes inferiores aos da OMS.
- Estimativas reais: entre 7.000 e 10.000 mortes por ano;

- Subnotificação grave: estatísticas oficiais seis vezes inferiores aos dados estimados;
- Peões representam mais de 50% das vítimas fatais;
- Infra-estruturas deficientes, sinalização precária, resposta pós-acidente insuficiente;
- Dados desagregados por género inexistentes nas estatísticas nacionais.

3. OS PILARES DA ONU SOBRE A SEGURANÇA RODOVIÁRIA

3.1. Reabilitação de vias com separadores, passeios e drenagem eficaz;
3.2. Redução de velocidade em zonas escolares e zonas críticas;
3.3. Fiscalização automatizada com radares, câmaras e carta por pontos;
3.4. Educação e sensibilização para mudança de comportamento (inclusive nas escolas);
3.5. Integração de dados entre polícia, hospitais e INATRO para estatísticas fiáveis;
3.6. Constituição do Conselho Nacional de Segurança Rodoviária e financiamento dedicado.

4. ABORDAGEM DE SISTEMA SEGURO

Inspirada no modelo sueco "Visão Zero", a Abordagem de Sistema Seguro assume que os erros humanos são inevitáveis, mas as mortes e ferimentos graves não devem ser. Seus princípios incluem:

- Projecto de vias e velocidades que reduzam o impacto dos acidentes;
- Veículos seguros com inspecções periódicas obrigatórias;
- Educação contínua dos utentes, com foco nas populações vulneráveis;
- Reforço da resposta pós-acidente com ambulâncias equipadas e protocolos médicos adequados;
- Dados fiáveis para orientação de políticas públicas.

5. OBJECTIVOS DO ODS

A segurança rodoviária está directamente ligada aos Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela agenda 2030 da ONU. Ela é mencionada explicitamente em um dos ODS 3, tendo referido que até "Até 2030, reduzir pela metade o número global de mortes e lesões por acidentes em estradas.". Esta meta reconhece que a sinistralidade rodoviária é uma das principais causas de morte no mundo, especialmente entre jovens, e que sua redução é essencial para proteger o capital humano e melhorar os indicadores de saúde pública.

ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis
A segurança rodoviária é vital para garantir acessibilidade segura, reduzir riscos urbanos e promover mobilidade sustentável (especialmente para peões, ciclistas e utilizadores de transportes públicos). Até 2030, proporcionar o acesso a sistemas de transporte seguros, acessíveis, sustentáveis e a preços acessíveis para todos, melhorando a segurança rodoviária, especialmente por meio da expansão do transporte público, com atenção especial às necessidades das pessoas em situação vulnerável, mulheres, crianças, pessoas com deficiência e idosos.

ODS 5 – Igualdade de Género
Mulheres, crianças e idosos estão entre os grupos mais vulneráveis no trânsito. Ambientes rodoviários seguros reduzem riscos de violência, exclusão e sinistros desiguais por género.

ODS 8 – Trabalho Decente e Crescimento Económico
Acidentes rodoviários impactam negativamente a produtividade e o capital humano, principalmente em países em desenvolvimento como Moçambique.

ODS 10 – Redução das Desigualdades
As populações mais pobres são desproporcionalmente afetadas pelos acidentes e menos protegidas por infra-estrutura segura.
ODS 13 – Ação Climática
Ao promover modos de transporte mais seguros e sustentáveis (a pé, bicicleta, transporte público), contribui-se para a mitigação das emissões de GEE.

6. PROPOSTAS DE SOLUÇÃO A CURTO E MÉDIO PRAZO

As soluções imediatas propostas para reduzir a sinistralidade rodoviária no país foram agrupadas em três níveis: infra-estrutura, regulação e capacitação, com foco especial em medidas de engenharia de baixo custo, educação e coordenação interinstitucional.

Assim, com base em experiências internacionais bem-sucedidas (como Suécia, Holanda, Reino Unido, África do Sul, Brasil e Ruanda) e em alinhamento com a Abordagem de Sistema Seguro e com os dados do seu documento base (Ordem dos Engenheiros de Moçambique), podem ser acrescentadas soluções imediatas adicionais no âmbito da segurança rodoviária. Estas medidas são de baixo a médio custo, com alto impacto comprovado em ambientes urbanos e de países em desenvolvimento.

6.1. Soluções Imediatas Adicionais Inspiradas em Experiências Internacionais

Tabela 1. Intervenções Urbanas Rápidas e Reversíveis (Urbanismo Táctico)

Exemplo	Países	Acção
"Cidades para pessoas"	Brasil, Chile, Colômbia	Pintura de faixas pedonais, recuo de esquinas, instalação de barreiras provisórias com pneus ou cones para alargar calçadas.

6.2. Reforço do Uso Obrigatório de Capacete e Cinto de Segurança
- Aplicação rigorosa com fiscalização visual e blitz educativa;
- Exemplo: *Vietname reduziu em 30% os traumatismos cranianos em motociclistas após tornar capacete obrigatório*.

6.3. Redução da Velocidade para 30 km/h em Zonas Residenciais e Escolares
- Campanhas "30 é vida", como implementado em Londres, Amsterdão e Joanesburgo;
- Implantação de zonas calmas com sinalização reforçada e "portais físicos" de entrada (ex. lombas largas).

6.4. Melhoria da Gestão de Ponto Negro (Locais com Alta Incidência de Acidentes)
- Identificação via dados policiais e hospitalares;
- Intervenções imediatas: sinalização provisória, faixas zebradas, redutores de velocidade, iluminação.

6.5. Programa Nacional de Auditorias de Segurança Viária (RSA)
- Implementado em países como o Reino Unido, Austrália e África do Sul;
- Revisão sistemática de projectos e vias existentes com base em listas de verificação;
- Pode ser iniciado com apoio técnico da Ordem dos Engenheiros e universidades.

6.6. Plataforma Digital Participativa de Mapeamento de Risco
- Ferramentas como "CrashMap" (Reino Unido) ou "Mapa de Risco Viário" (Brasil);
- Permitem que cidadãos sinalizem locais perigosos (crowdsourcing);
- Facilita alocação de recursos e transparência.

6.7. Melhoria de Resposta Pós-Acidente
- Treinamento em "Primeira Resposta" para taxistas, agentes comunitários e condutores profissionais;

- Estabelecimento de “zonas de trauma prioritárias” com ambulâncias dedicadas;
- Sistema nacional de emergência com número único (ex. 112) bem divulgado.

Essas medidas podem ser iniciadas em áreas-piloto como Maputo, Matola, Nampula ou Beira, com monitoramento e escalonamento posterior. Propomos ainda incorporar soluções adicionais na forma da tabela abaixo.

Tabela 1. Infra-estrutura e Engenharia Viária

Categoria	Medidas Propostas
Visibilidade e geometria da via	- Limpeza de vegetação e obstáculos que reduzem o campo de visão
	- Melhoria dos triângulos de visibilidade em intersecções
Sinalização e pavimentação	- Sinalização vertical e horizontal reforçada; marcas retro-reflectoras
	- Melhoria do pavimento com material antiderrapante nas curvas e travessias
Acalmia de tráfego	- Instalação de lombas, bandas sonoras e cromáticas em zonas críticas
Cruzamentos e intersecções	- Construção de rotundas com desenho seguro
	- Instalação de semáforos de controlo de velocidade
Iluminação pública	- Iluminação em pontos críticos como passadeiras e cruzamentos urbanos
Passeios e ciclovias	- Construção de passeios, passadeiras elevadas e ciclovias em zonas urbanas

6.8. Regulação, Fiscalização e Sistema Legal

Tabela 2 - Outras medidas de âmbito legal

Categoria	Medidas Propostas
Carta por pontos	- Introdução da carta de condução com penalização por infracções
Fiscalização reforçada	- Rigor na inspecção veicular e no controle de velocidade, álcool e uso de cinto
Normas para veículos importados	- Proibição ou restrição de importação de veículos em 2ª mão com baixos padrões de segurança
Código da Estrada	- Revisão legal para incluir ESP, ABS, airbags, luzes diurnas obrigatórias

6.9. Capacitação e Educação

Tabela 3 - Outras medidas da capacitação

Categoria	Medidas Propostas
Educação cívica escolar	- Aulas mensais com a polícia nas escolas primárias sobre segurança na via
Formação profissional	- Cursos de prevenção de acidentes em escolas de condução e instituições públicas
Mediatização preventiva	- Programas televisivos e entrevistas educativas com sobreviventes de acidentes
Campanhas locais	- Distribuição de panfletos e sensibilização junto de locais de elevado tráfego

6.10. Institucional e Coordenação Nacional

Tabela 4 - Outras medidas institucionais

Categoria	Medidas Propostas
Comité Nacional de Prevenção	- Transformar o Conselho Técnico do INATTER em órgão multissectorial com autoridade
Base de dados integrada	- Criação de um livro único de registo de acidentes com articulação hospital/polícia
Sistema de emergência	- Divulgação de número nacional de emergência e ampliação da rede de ambulâncias
Auditorias técnicas	- Avaliação sistemática das vias com apoio da Ordem dos Engenheiros

Essas soluções foram concebidas como intervenções de impacto rápido, baixo custo e alta efectividade, particularmente em zonas urbanas e rurais de elevada sinistralidade, com forte incidência de atropelamentos e más condições viárias

As propostas de soluções a curto e médio prazo apresentadas, visam melhorar a segurança rodoviária em Moçambique, baseadas nos princípios da Abordagem de Sistema Seguro e nas evidências apresentadas nos documentos analisados.

Tabela 5 - Propostas de Solução a Curto Prazo (1–3 anos)

Área	**Propostas Específicas**
Gestão Institucional	- Criação do Conselho Nacional de Segurança Rodoviária (CNSR) vinculado ao governo central.
Infra-estrutura Urbana	- Reabilitação de vias críticas com separadores centrais e passeios protegidos.
	- Construção de passagens elevadas para peões em zonas escolares e mercados.
Fiscalização	- Instalação de radares fixos em zonas de alta sinistralidade.
	- Lançamento da carta por pontos para infracções graves.
Educação e Sensibilização	- Campanhas escolares sobre segurança viária e travessia segura.
	- Campanhas mediáticas sobre álcool, velocidade, uso do cinto/capacete.
Veículos e Condutores	- Revisão do currículo das escolas de condução e fiscalização activa das mesmas.
Dados e Monitoria	- Integração de bases de dados entre polícia, hospitais e INATTER.
	- Definição padronizada de lesões e causas de acidente.

Tabela 6 - Propostas de Solução a Médio Prazo (3–7 anos)

Área	**Propostas Específicas**
Planeamento Urbano	- Zoneamento urbano sensível à segurança viária, com prioridade a modos activos.
	- Criação de zonas de trânsito calmo em bairros residenciais e escolares.
Reforma Legal	- Revisão e harmonização do Código da Estrada alinhado com a abordagem de sistema seguro.

Área	Propostas Específicas
Transporte Público Seguro	- Modernização da frota com padrões mínimos de segurança (freios ABS, cintos, inspecção regular).
Capacitação Técnica	- Formação contínua de agentes da polícia e técnicos municipais em auditorias de segurança viária.
Financiamento Sustentável	- Criação de um Fundo Nacional de Segurança Rodoviária, alimentado por multas e contribuições orçamentais.
Género e Inclusão	- Inclusão de perspectiva de género em todas as políticas e estatísticas de mobilidade e sinistralidade.

7. ESTRATÉGIAS E INTERVENÇÕES RECOMENDADAS

Tabela 7 – Estratégia e recomendações

Eixo Estratégico	Medidas Propostas
Gestão e Coordenação	Criar o Conselho Nacional de Segurança Rodoviária com apoio de gabinete ministerial
Infra-estruturas seguras	Reabilitar vias com passeios, passagens elevadas, lombas, separadores centrais
Dados e monitoria	Sistema nacional integrado de dados com base hospitalar, policial e INATRO
Fiscalização	Implementar radares fixos, carta por pontos e reforçar formação da polícia de trânsito
Educação e sensibilização	Campanhas escolares, uso do cinto/capacete, prevenção do álcool na condução
Veículos e condutores	Reforçar inspecções técnicas, modernizar escolas de condução e aplicar GDL
Género e inclusão	Políticas sensíveis ao género, com envolvimento de OSC e promoção da equidade
Financiamento	Criar fundo dedicado e sustentável para segurança rodoviária

8. OPORTUNIDADES DE VITÓRIAS RÁPIDAS (QUICK WINS)

- Proibição do transporte de passageiros em pé nas caixas dos camiões;
- Redução da velocidade em zonas de risco e construção de chicanes e rotundas seguras;
- Caminhos pedonais livres de obstáculos e ocupações indevidas;
- Soluções de engenharia para pontos negros com base em dados;
- Integração dos dados da polícia, hospitais e INATRO com definição padronizada de lesões.

9. INDICADORES E FONTES DE FINANCIAMENTO)

Propõe-se indicadores que visam monitorar a eficácia das políticas, intervenções e uso dos recursos públicos na redução da sinistralidade rodoviária:

9.1. Taxa de Mortalidade Rodoviária

- Definição: Número de mortes por acidentes rodoviários por 100.000 habitantes/ano.
- Meta: Reduzir para menos de 15/100.000 até 2030 (hoje ≈30,1).
- Fonte: INATRO, Ministério da Saúde, INE.

9.2. Número de Pontos Negros Eliminados

- Definição: Total de intersecções ou trechos com elevado número de acidentes requalificados anualmente.
- Meta: Eliminar pelo menos 20 pontos críticos por ano em zonas urbanas prioritárias.
- Fonte: Municípios, Polícia de Trânsito, AMT.

9.3. Proporção de Escolas com Infra-estrutura Segura

- Definição: % de escolas urbanas com passadeiras elevadas, lombas e sinalização visível.
- Meta: Cobertura de 100% das escolas primárias urbanas até 2027.
- Fonte: Ministérios da Educação, Obras Públicas, Municípios.

9.4. Tempo Médio de Resposta Pós-Acidente

- Definição: Tempo médio entre a ocorrência de acidente e chegada da assistência médica.
- Meta: Reduzir para menos de 15 minutos em áreas metropolitanas.
- Fonte: INEM, INATRO, hospitais.

9.5. Percentagem de Veículos Inspeccionados

- Definição: % da frota que realiza inspecções técnicas obrigatórias.
- Meta: 80% da frota formal inspeccionada até 2026.
- Fonte: INATRO, centros de inspecção.

9.6. Número de Infracções por Excesso de Velocidade Notificadas

- Definição: Número de multas aplicadas via radares por excesso de velocidade.
- Meta: Aumentar a cobertura de fiscalização electrónica e a aplicação de penalidades com carta por pontos.
- Fonte: Polícia de Trânsito, INATRO.

9.7. Cobertura de Campanhas de Sensibilização

- Definição: Nº de distritos urbanos com campanhas regulares sobre álcool, velocidade, travessia e capacete.
- Meta: Campanhas em todos os 11 municípios da AMM pelo menos duas vezes ao ano.
- Fonte: Ministérios da Juventude, Educação, ONGs, AMT.

9.8. Percentagem de Condutores com Formação Certificada

- Definição: % de novos condutores formados em escolas certificadas com currículo actualizado.
- Meta: 100% até 2028.
- Fonte: INATRO, escolas de condução.

9.9. Fontes Específicas para Financiamento do Fundo Nacional de Segurança Rodoviária

9.9.1. Multas de Trânsito e Penalizações

- 50–70% do valor das multas revertido automaticamente para o fundo.
- Incentiva cumprimento da lei e garante autofinanciamento de parte da fiscalização.

9.9.2. Taxa de Inspecção Veicular

- Percentual das taxas pagas em inspecções técnicas obrigatórias de veículos.
- Ex: 10% para segurança rodoviária.

9.9.3. Taxa de Licenciamento de Veículos

- Aplicação de pequena sobretaxa (ex: 50–100 MZN/ano) para financiar o fundo.

9.9.4. Taxas sobre Importação de Veículos Usados

- Destinar parte da receita de importação de carros em 2ª mão para ações de renovação de frota e segurança.

9.9.5. Contribuição Orçamental Anual (OE)

- Linha orçamental dedicada nos ministérios dos Transportes, Saúde, e Obras Públicas.

9.9.6. Apoio Internacional

- Fundos como:
    - Global Road Safety Facility (Banco Mundial);

- Fundo Verde para o Clima (GCF) – via projectos de mobilidade segura e sustentável;
- JICA, GIZ, UN-Habitat, MobiliseYourCity.

9.9.7. Contribuições Municipais e Privadas

- Contrapartidas de projectos urbanos (ex: construção de shoppings, condomínios);
- Acordos com seguradoras e empresas de frotas/logística.

10. OUTRAS CONTRIBUIÇÕES

- O sistema de licenciamento de rotas deve ser revisto para uma **via mais transparente** de selecção de Operadores, constituídos em forma de Empresas comerciais, que é o **Concurso Publico**. A Empresa concorrente deverá demonstrar capacidade para prestar um serviço de Qualidade e Seguro aos seus utentes, incluindo a apresentação de todo o tipo de seguros requeridos pela legislação em vigor. Um segundo Operador só poderá ser seleccionado pela mesma via caso se conclua, por avaliação sistemática, que o detentor da primeira concessão não satisfaz cabalmente a Demanda.
- A utilização de viaturas com capacidade até 30 lugares, só poderá ser permitida para percursos inferiores a 150km. Acima desta distância os operadores só poderão utilizar Autocarros devidamente preparados (com limitador de velocidade) e tacógrafo digital;
- Embora não haja uma norma única universal que defina uma "distância máxima" para viaturas de 15 lugares, as boas práticas e normas de segurança viária e operação de transportes recomendam limitar a utilização desse tipo de viatura a viagens de curta distância.

Tabela 7 – Distância de viagem em função do tipo veículo

Tipo de Viatura	Capacidade	Distância Recomendada	Justificativa Técnica
Van / Mini-bus (15 lugares)	15 pax	até 50 km	Falta de conforto, segurança limitada, capacidade de carga reduzida
Mini-bus longo / Midibus (30 lugares)	25-30 pax	50–150 km	Ideal para ligações distritais e suburbanas
Autocarro convencional (mais de 40 lugares)	40+ pax	150–500+ km	Projetado para conforto, segurança, bagagem, e durabilidade em estrada

- Os Condutores de veículos que fazem transporte de passageiros, seja urbano ou interprovincial deverão ser habilitados com Carta de Condução Profissional para Serviço Publico;
- Para percursos até 500km os operadores poderão utilizar um condutor. Acima desta distância só poderão fazer o transporte de passageiros mediante a utilização de dois Condutores habilitados;
- Deverá ser instituído uma Caderneta de registo de ocorrências onde conste toda a informação do condutor e registo da hora de partida, comprovado por uma entidade competente seleccionada pelo Ministério que superentende a área de transportes. A troca de condutor só poderá ser feita nos pontos intermédios onde exista a entidade comprovadora;
- Todos os operadores de transporte publico acima de 50km deverão ter um registo de passageiros onde conste o nome, a identificação completa do passageiro, contacto de outra pessoa em caso de sinistro, ponto de partida e de destino.

- Todos os pontos de paragem intermédia e de descanso a cada duas horas deverão ser previamente aprovados pela autoridade competente.
- Estas normas deverão ser implementadas gradualmente no espaço temporal de seis a doze meses.

11. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As nossas considerações finais deste importante tema abrangem várias perspectivas interligadas: infra-estrutura, fiscalização, educação, gestão institucional, regulamentação, resposta pós-acidente, dados e financiamento.

11.1. Adoptar a Abordagem de Sistema Seguro

- Reconhecer que erros humanos são inevitáveis, mas mortes e lesões graves são evitáveis.
- Projectar vias e velocidades compatíveis com segurança.
- Melhorar veículos, fiscalização, educação e resposta pós-acidente.

11.2. Melhorar a Infra-estrutura Viária

- Reabilitar vias com separadores centrais, passeios e passagens elevadas.
- Iluminação pública em pontos críticos (escolas, mercados, passagens de peões).
- Redutores de velocidade (lombas, bandas sonoras) em zonas residenciais e escolares.
- Construção de ciclovias e faixas pedonais contínuas.
- Intervenções urbanas de baixo custo como o urbanismo táctico.

11.3. Reforçar a Fiscalização e Regulação

- Implementar carta por pontos e uso de radares automáticos.
- Inspecção veicular rigorosa, incluindo controlo de veículos importados.
- Proibir transporte de passageiros em pé em caixas de camiões.
- Reforçar fiscalização ao uso de capacetes e cintos de segurança.

11.4. Educação e Sensibilização

- Educação cívica nas escolas primárias com apoio policial.
- Formação profissional contínua de condutores e técnicos de trânsito.
- Campanhas mediáticas sobre velocidade, álcool e comportamento seguro.
- Participação comunitária com uso de plataformas digitais de mapeamento de risco.

11.5. Gestão Institucional e Coordenação Nacional

- Criar o Conselho Nacional de Segurança Rodoviária (CNSR) multissectorial.
- Estabelecer sistema nacional de dados integrados (polícia, hospitais, INATRO).
- Auditorias técnicas regulares às vias com apoio de universidades e ordens profissionais.

11.6. Resposta Pós-Acidente

- Formação de primeiros socorros para taxistas e agentes comunitários.
- Ambulâncias dedicadas em zonas de alto risco com tempo de resposta inferior a 15 minutos.
- Número nacional de emergência amplamente divulgado (ex: 112).

11.7. Financiamento Sustentável

- Criar um Fundo Nacional de Segurança Rodoviária financiado por:
  - Multas de trânsito
  - Taxas de inspecção e licenciamento
  - Taxas sobre importação de veículos usados
  - Contribuições orçamentais e parcerias internacionais (ex: Banco Mundial, JICA)

11.8. Inclusão e Equidade

- Integrar perspectiva de género e inclusão social nas políticas de segurança viária.

- Priorizar investimentos em áreas de elevada vulnerabilidade (bairros pobres, escolas, zonas periféricas).
- Atingir cobertura universal de escolas urbanas com infra-estrutura viária segura até 2027.

Mensagem Final dos autores

A redução da sinistralidade rodoviária em Moçambique não depende apenas de engenharia viária, mas de liderança institucional, financiamento estruturado, educação cívica, fiscalização eficaz e compromisso social colectivo. Investir em segurança rodoviária é investir em vidas, em capital humano e no desenvolvimento sustentável.

Referências bibliográficas:

Este artigo foi escrito com base nas experiências de longos anos dos autores, não tendo um carácter iminentemente científico. As referências bibliográficas são genéricas sendo de salientar:

- Banco Mundial (2017). "O Elevado Custo dos Ferimentos Causados pelo Trânsito Rodoviário."
- Banco Mundial (2021). "Moçambique: Preservar o Capital Humano através da Melhoria da Segurança Rodoviária."
- Elvik, R., Høye, A., Vaa, T. & Sørensen, M. (2009). *The Handbook of Road Safety Measures (2nd Edition).*
- JICA (2023). Strategic Implementation Master Plan for Maputo Metropolitan Area.
- MobiliseYourCity (2021). Plano de Mobilidade Urbana Sustentável de Maputo.
- OMS (2018). Global Status Report on Road Safety.
- ONU (2015). Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Resolução da Assembleia Geral A/RES/70/1. Organização das Nações Unidas. Disponível em: https://sdgs.un.org/goals
- Ordem dos Engenheiros (2023). Estudo sobre Acidentes Rodoviários em Moçambique.
- Organização Mundial da Saúde (2018). Global Status Report on Road Safety.
- Plano Nacional de Segurança Rodoviária de Moçambique (2020–2024).
- SIMPUT-Maputo (2024). Plano Director Estratégico para o Sistema de Transportes Urbanos.
- UN Second Decade of Action for Road Safety (2021–2030).
- UN-Habitat (2022). Mobility and Urban Development Guidelines for Africa.
- World Bank (2021). Moçambique: Segurança Rodoviária e Capital Humano.

ARTIGO Nº23488

MOBILIDADE SUSTENTÁVEL E SERVIÇOS TECNOLÓGICOS DE INFORMAÇÃO E PAGAMENTO PARA ÁREAS METROPOLITANAS

Marta Campos Ferreira[1], Joaquín Romero de Tejada[2], João Falcão e Cunha[1]

[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal
[2]Agência Metropolitana de Transportes de Maputo, Moçambique
Email: mferreira@fe.up.pt; joaquinrdt@goteo.coop; jfcunha@fe.up.pt

RESUMO

A mobilidade sustentável tornou-se uma prioridade nas grandes áreas metropolitanas de todos os países, face ao crescimento populacional, aos desafios ambientais e ao avanço das tecnologias. O conceito refere-se à implementação de sistemas de transporte eficientes, acessíveis e ambientalmente responsáveis, emissões de carbono e dependência de combustíveis fósseis. A par das políticas públicas, os serviços tecnológicos de informação e pagamento desempenham um papel essencial na modernização do sector, melhorando a acessibilidade e a eficiência dos transportes públicos e partilhados.

Mobilidade Sustentável e Transformação Digital. A mobilidade sustentável procura soluções que diminuam o impacto dos transportes com diversas estratégias: (i) melhoria do transporte público: modernização dos autocarros, expansão de redes ferroviárias e implementação de corredores exclusivos para BRT ou Bus Rapid Transit; (ii) sistemas de transporte partilhado: uso de serviços de boleia digital, bicicletas e trotinetes elétricas para deslocações curtas; (iii) infraestruturas para mobilidade ativa: criação de passeios e ciclovias seguras para promover o uso de meios não motorizados; (iv) diminuição da necessidade de realização de deslocamentos físicos para realização de certas atividades ou gestões porque são substituídos pela utilização de diverso tipo de plataformas ou ferramentas digitais. A adoção de tecnologias digitais melhora a gestão do transporte urbano, permitindo maior integração e fluidez das operações.

Serviços de Informação e Pagamento. O uso de aplicações móveis, plataformas digitais e bilhética inteligente otimiza a experiência do utilizador e agiliza os pagamentos no transporte público. Algumas das principais inovações incluem:

1. Aplicações de Mobilidade: aplicações como Move-me, Moovit e Google Maps fornecem informações em tempo real sobre as rotas e horários dos transportes públicos; plataformas MaaS (Mobilidade como Serviço) integram diferentes meios de transporte num único sistema digital; aplicações de gestão operacional (GIST, Hastus, Trapeze) permitem otimizar as atividades.

2. Pagamentos Eletrónicos e Bilhética Inteligente, por exemplo (i) utilização de cartões sem contato, código QR e pagamentos móveis (M-Pesa: Vodacom, e-Mola: Movitel e M-Kesh: T-mcel, em Moçambique) para reduzir o uso de dinheiro físico; (ii) tarifas flexíveis e (iii) sistemas de passes digitais facilitam o acesso ao transporte.

3. Uso de Inteligência Artificial e "Big Data" para monitorização em tempo real do tráfego para otimizar o planeamento urbano, e para fazer modelos preditivos para melhorar a gestão do transporte público e reduzir atrasos.

A adoção de soluções com tecnologias inovadoras melhora a mobilidade urbana, tornando-a mais eficiente, acessível e ambientalmente responsável. Permite adotar políticas públicas ativas tais como facilitar a gratuitidade seletiva do transporte público urbano e metropolitano.

Em Moçambique, e nas suas maiores áreas metropolitanas, a modernização dos sistemas de transporte, aliada a novos serviços tecnológicos de informação e pagamento, pode impulsionar o desenvolvimento sustentável e melhorar a qualidade de vida das populações.

***Palavras-chave**:* transportes, sustentabilidade, tecnologias, gestão, digital.

ARTIGO Nº23506

DESAFIOS E ESTRATÉGIAS PARA A MOBILIDADE DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA NOS TRANSPORTES PÚBLICOS DE MAPUTO

Amuza J. Sande (*)

Instituto Superior de Transportes e Comunicações (ISUTC) - Maputo, Moçambique

(*) *Email:* amuza.sande@isutc.ac.mz

RESUMO

Este artigo examina os desafios enfrentados por pessoas com deficiência na utilização dos transportes públicos em Maputo, integrando investigação de campo, revisão de literatura, análise legislativa e análise comparativa com práticas internacionais. Identificam-se barreiras físicas, institucionais e atitudinais, e propõem-se estratégias para promover a acessibilidade, a inclusão social e o direito à mobilidade, com recomendações detalhadas para políticas públicas e práticas operacionais visando garantir o direito à mobilidade e melhorar a qualidade de vida deste grupo vulnerável.

Palavras-chave: mobilidade urbana, acessibilidade, transporte público, inclusão social, pessoas com deficiência.

1. INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana é um direito fundamental, e elemento central para a inclusão social, o acesso ao emprego, à educação e à saúde. Em Maputo, a população com deficiência enfrenta obstáculos estruturais nos transportes públicos, comprometendo a sua autonomia e participação plena na vida urbana. A ausência de infra-estruturas adaptadas, a fraca fiscalização da legislação e a prevalência de atitudes discriminatórias por parte de operadores e passageiros perpetuam um sistema excludente[1][2].

Estudos como os de Barbosa (2016) e Venter et al. (2004) sublinham a importância de políticas de acessibilidade para garantir a inclusão social e a igualdade de oportunidades. Este artigo aprofunda o diagnóstico da situação em Maputo, propõe soluções adaptadas à realidade local e inspira-se em experiências internacionais bem-sucedidas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Mobilidade e acessibilidade

A mobilidade urbana refere-se à capacidade de deslocação eficiente no espaço urbano, enquanto a acessibilidade diz respeito à possibilidade de todos, independentemente das suas limitações, acederem aos serviços de transporte[3]. A literatura destaca que a falta de acessibilidade é uma das principais causas de exclusão social das pessoas com deficiência[4].

2.2 Pessoas com mobilidade reduzida

O conceito abrange pessoas com deficiência física, idosos, grávidas e outros grupos com limitações temporárias ou permanentes. A sua inclusão nos sistemas de transporte é um imperativo ético e legal, consagrado em instrumentos internacionais como a Convenção das Nações Unidas sobre os Direitos das Pessoas com Deficiência (2006)[5].

Painel IV: Ensino Da Engenharia E Tecnologias De Informação

22175 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E VIRTUAL DE MODELOS TUBULARES UTILIZANDO UMA TECNOLOGIA DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA. Samara C. R. Soares; Elza M. M. Fonseca; Gilmar C. Silva; Carlos C. António. 375

22205 ENSINO DO PROJETO ÓPTIMO NO MESTRADO DE ENGENHARIA MECÂNICA. Carlos C. António. 385

22505 BRIDGING CONTINENTS THROUGH BLENDED MOBILITY: ADVANCING EUROPE-AFRICA COOPERATION IN HIGHER EDUCATION. Nuno Escudeiro; Paula Escudeiro 393

22567 ENGENHARIA E CONTROLO ESTATÍSTICO DE QUALIDADE. Neto Pascoal; Maria Luísa Rocha; António Oliveira. 405

23464 ENERGIA GEOTÉRMICA. UMA UC EM FUNCIONAMENTO NA UNIVERSIDADE DE ÉVORA. Maria Rosa Duque. 411

23501 PROMOTION OF ECOLOGICAL RESTORATION TECHNIQUES THROUGH AN EDUCATIONAL PLATFORM. ADDITIVE MANUFACTURING OF ARTIFICIAL REEFS BASED ON WASTE MATERIALS. Ilse Valenzuela Matus; Joaquim Góis; Paulo Vaz-Pires; Jorge Lino Alves. 417

23508 A IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES. Mário A. P. Vaz; Gonçalo J. Pires Vaz. 431

23566 MOBILIDADE VIRTUAL E INTERCÂMBIO INTERNACIONAL COMO ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO DE ENGENHARIA EM MOÇAMBIQUE. Leila Omar; Roxan Cadir; Vali Issufo. 441

ARTIGO Nº 22175

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL E VIRTUAL DE MODELOS TUBULARES UTILIZANDO UMA TECNOLOGIA DE CONFORMAÇÃO PLÁSTICA

Samara C. R. Soares[1], Elza M. M. Fonseca[2(*)], Gilmar C. Silva[1], Carlos C. A. António[3]

[1]Universidade de Minas Gerais– PUC Minas, Belo Horizonte, MG, Brasil
[2]Instituto Politécnico do Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) - Porto, Portugal
[3]Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto (FEUP) - Porto, Portugal
(*)*Email:* elz@isep.ipp.pt

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia de simulação computacional aplicada à deformação plástica de um tubo em alumínio Al 6061-T6 e em aço SAE 1006, através do seu enrugamento numa matriz com cavidades. A metodologia utiliza o método dos elementos finitos para dar resposta a um processo de fabricação, otimizando o processo de conformação plástica, estipulando dessa forma as dimensões finais do tubo, com base na matriz utilizada. A simulação numérica permite assim, obter a geometria virtual enrugada do tubo e a otimização dos parâmetros do processo, variando o carregamento aplicado ao tubo necessário a esse fim. O carregamento é efetuado com base na pressão exercida na direção axial do tubo numa região interior próxima da cavidade existente na matriz. A conformação plástica do mesmo tubo, num processo de fabricação, ocorre pelo escorregamento desse tubo de alumínio a uma chapa fina metálica em dois estágios: num primeiro estágio é realizada uma primeira deformação ao tubo e num segundo estágio de deformação, é adicionada uma chapa ao conjunto para garantir o enrugamento do tubo. A metodologia computacional abordada neste trabalho representa uma vantagem em relação a este processo de fabricação, por não necessitar de elementos adicionais (a chapa metálica) nem processos de soldadura na realização do enrugamento plástico do tubo.

***Palavras-chave**:* otimização de parâmetros, conformação plástica, modelo computacional, enrugamento do tubo.

INTRODUÇÃO

O enrugamento de tubos com chapas metálicas tem vastas aplicações na engenharia e na indústria, sendo obtido por diferentes processos. Algumas aplicações encontram-se em componentes estruturais de suporte, andaimes, escadas, aparelhos de ginástica, entre outras. O processo mais comum na obtenção do enrugamento do tubo é a soldadura. Sendo o processo mais tradicional, apresenta algumas limitações relativas às diferentes propriedades mecânicas e metalúrgicas a que os materiais ficam envolvidos, de acordo com (Vyas, 2021). Há ainda outros processos mecânicos, utilizados no enrugamento de tubos sob encosto a chapas, nomeadamente através de colagem, prensagem, ou juntas adesivas. Segundo (Budynas, 2008), estes últimos processos requerem cuidados, atendendo às limitações que estão relacionadas com a vedação de fluidos transportados nos tubos, na resistência à corrosão e nas tolerâncias de montagens. Alguns investigadores têm proposto alternativas para minimizar as limitações referidas. Entre eles está a união por conformação mecânica. Estas juntas podem ser aplicadas mais amplamente e geralmente são mais fortes do que as juntas de processos de fixação

mecânica, como a rebitagem, a costura e a crimpagem, segundo (Moori, 2013). Com o objetivo de aprimorar os processos de fabrico e garantir peças mais eficientes, alguns investigadores (Buffa, 2022) têm efetuado estudos para avaliar os parâmetros do processo, a energia absorvida e os esforços necessários, otimizando a geometria das matrizes a utilizar na configuração final do tubo após deformação. Noutros estudos, como referido por (Winiarski, 2021), foi obtida uma peça oca com uma flange externa, por deformação plástica, envolvendo operações de extrusão e forjamento numa cavidade de matriz cónica. Foi depois analisada a técnica de conformação proposta, em relação à cinemática do fluxo de material, pela distribuição de tensões efetivas e critério de fratura dúctil de *Cockcroft-Latham*, bem como os parâmetros de força.

Segundo (Campos, 2022), a simulação computacional surge assim, como uma ferramenta de extrema importância, permitindo a redução do número de ensaios experimentais, custos de produção e de projeto. A modelação baseada em cálculo matemático tem sido cada vez mais aplicada na resolução de problemas técnicos relacionados com o processo de conformação plástica de tubos. Outro trabalho, como o de (Gilmar, 2021) apresenta uma simulação numérica, com base no método dos elementos finitos, da deformação plástica de um tubo em aço SAE 1006 na união com chapas metálicas. Os resultados matemáticos da geometria final do tubo foram comparados com os obtidos experimentalmente, tendo sido o modelo validado. Outro estudo, de (Rosa, 2004) revela a ocorrência de encurvadura local durante a compressão axial de tubos entre matrizes planas, tendo obtido uma boa concordância entre os resultados experimentais, numéricos e os cálculos analíticos da carga de instabilidade crítica. Ainda segundo os mesmos autores, a deformação do tubo é essencialmente controlada pelos valores das tensões circunferenciais, enquanto a fissuração é provavelmente devida ao acúmulo de danos dúcteis.

De acordo com (Necpal, 2020), o sucesso dos resultados obtidos nos processos de deformação plástica de tubos metálicos está diretamente relacionado com a geometria das ferramentas de trabalho e com as condições do processo, influenciando a conformação e as características finais da peça.

No presente trabalho, pretende-se realizar uma modelação computacional da deformação plástica de tubos de alumínio Al 6061-T6 e de aço SAE 1006 por enrugamento, sem nenhuma chapa adicional, que é necessária nos processos de fabrico. Os resultados obtidos são relativos ao campo de deslocamentos, tensões e deformações, garantindo a análise do processo de enrugamento virtual do tubo. A deformação plástica do tubo, ocorre pelo seu escoamento dentro das cavidades de uma matriz, através da aplicação incremental de uma pressão na direção radial do tubo. O modelo computacional é baseado numa análise numérica estrutural, carga incremental e não linear material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, pretende-se analisar o processo de deformação de um tubo, de materiais distintos, através do escoamento dentro da cavidade de uma matriz, preenchendo-a e permitindo ficar com a forma final de enrugamento. A análise computacional foi realizada no programa Ansys® 2022 R2 com base no método de elementos finitos (MEF). Neste estudo, efetuaram-se modelos bidimensionais (2D) com axissimetria geométrica, numa análise estrutural incremental não-linear material. Atendendo aos componentes, tubo e matriz, foram utilizados elementos finitos planos e elementos de contacto, entre as fronteiras dos mesmos.

Foram utilizados dois materiais distintos para a simulação de um tubo em alumínio Al 6061-T6 e outro em aço SAE 1006, ambos com diâmetro externo de 42,6 mm, espessura de 3,2 mm e 120 mm de comprimento. A matriz foi identificada como um material mais rígido. Os resultados

obtidos permitem verificar o preenchimento da matriz pelo tubo, em função da pressão incremental aplicada e das propriedades mecânicas constituintes. Esta escolha foi baseada na aplicabilidade destes componentes, nesses materiais, e as suas opções comerciais. A Figura 1 representa essas junções de tubos de aço, com recurso a chapas de variadas geometrias, obtidas experimentalmente como protótipos dos processos de fabricação.



Fig. 1 - Processo de junção e enrugamento de tubos com chapa adicional.

Simulação Computacional e Virtual dos Modelos Tubulares

Atendendo à axissimetria da geometria, o conjunto tubo-matriz foi modelado utilizando o eixo vertical de simetria e restrição dos graus de liberdade da matriz. O carregamento foi imposto nos tubos, como linear e incremental, numa região central da cavidade da matriz. O valor máximo considerado da pressão foi 150 MPa, tendo como referência o trabalho de ajuste de interferência por crimpagem de tubos em mandris, referência de (Martin, 2020). No estudo numérico foram ainda consideradas as zonas de contato entre o tubo e a matriz, utilizando-se como propriedade tribológica o coeficiente de atrito de 0,15 (Kim, 2014). A Figura 2 apresenta o modelo 2D tubo-matriz com as condições de fronteira enunciadas.

Foram consideradas as propriedades mecânicas em regime não-linear elastoplástico dos materiais dos tubos e da matriz.

As propriedades mecânicas adotadas para o tubo de alumínio foram o Módulo de Young e o coeficiente de Poisson, respectivamente, 69 GPa e 0,3. Para o regime não linear, foram considerados os valores de tensão de escoamento e o módulo tangente de 280 MPa e 100 MPa, respectivamente, segundo a referência de (Kim, 2014).

Para o tubo de aço, os valores de Módulo de Young e o coeficiente de Poisson, são respetivamente, 210 GPa e 0,3. Para o regime não linear, os valores de tensão de escoamento e módulo tangente foram 240 MPa e 100 MPa, respectivamente, segundo (Gilmar, 2021).

Em relação à matriz, foram admitidas propriedades mecânicas significativamente elevadas para garantir a sua rigidez.

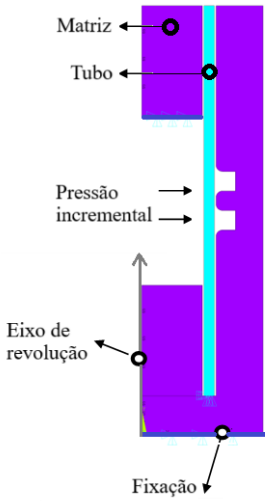


Fig. 2- Condições de fronteira no modelo 2D tubo-matriz.

O modelo geométrico do conjunto encontra-se representado na Figura 3, através do desenho de definião para o tubo e a matriz. O modelo computacional, baseado no método dos elementos finitos, visa otimizar os parâmetros do processo, necessários na obtenção do tubo enrugado.

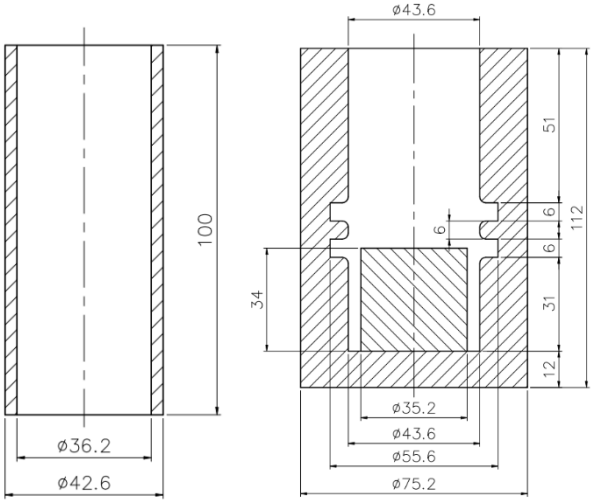


Fig. 3 - Desenho técnico do tubo (à esquerda) e da matriz (à direita).

RESULTADOS

Malha de elementos finitos

A matriz foi projetada com as duas cavidades para a dupla deformação do tubo. Dessa forma, foi possível analisar a deformação do tubo ao preencher as cavidades, sem necessidade da chapa que é utilizada nos processos de fabrico para o enrugamento na união de tubos. Nos modelos experimentais, deve ser considerado o espaço na junção da chapa ao tubo. As cavidades foram dimensionadas como uma cavidade arredondada, cujo raio é de 2 mm, altura 6 mm e profundidade de 6 mm, conforme se visualiza na Figura 4.

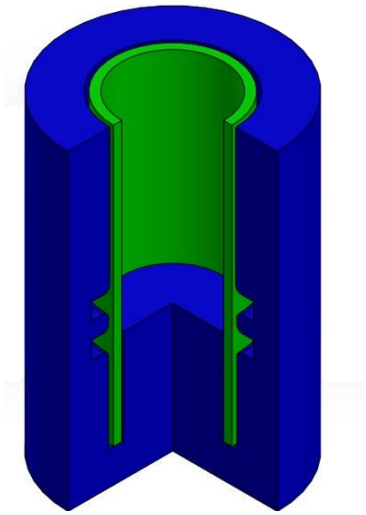
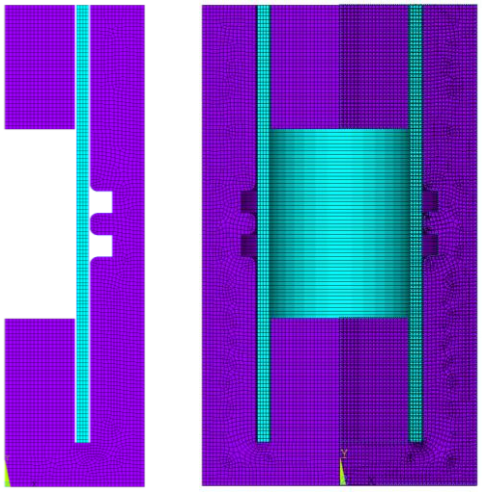


Fig. 4 - Cavidades da matriz e montagem ao tubo antes da deformação.

A obtenção da malha de elementos finitos no conjunto foi realizada através de um processo de convergência, com base em elementos de 2, 1,5 e 1 mm de comprimento. Os resultados que permitiram a redução de distorções nos elementos durante a simulação numérica, foi obtida com a malha mais refinada de 1 mm, tendo sido gerados 8078 elementos. A Figura 5 apresenta a malha de elementos finitos utilizada no modelo tubo-matriz, no plano 2D e através da sua expansão axissimétrica.



a) b)

Fig. 5 - Malha de elementos finitos no modelo 2D tubo-matriz. a) sem expansão, b) ½ expansão axissimétrica.

Pressão Máxima e Deslocamentos no Tubo

Os resultados obtidos são relativos aos valores de tensão equivalente de von Mises, aos deslocamentos verticais e horizontais do tubo após a deformação. O deslocamento horizontal foi analisado na região central da cavidade, enquanto o deslocamento vertical foi avaliado a partir de uma região central da espessura do tubo. A Figura 6 e as Tabelas 1 e 2 mostram os resultados numa escala real.

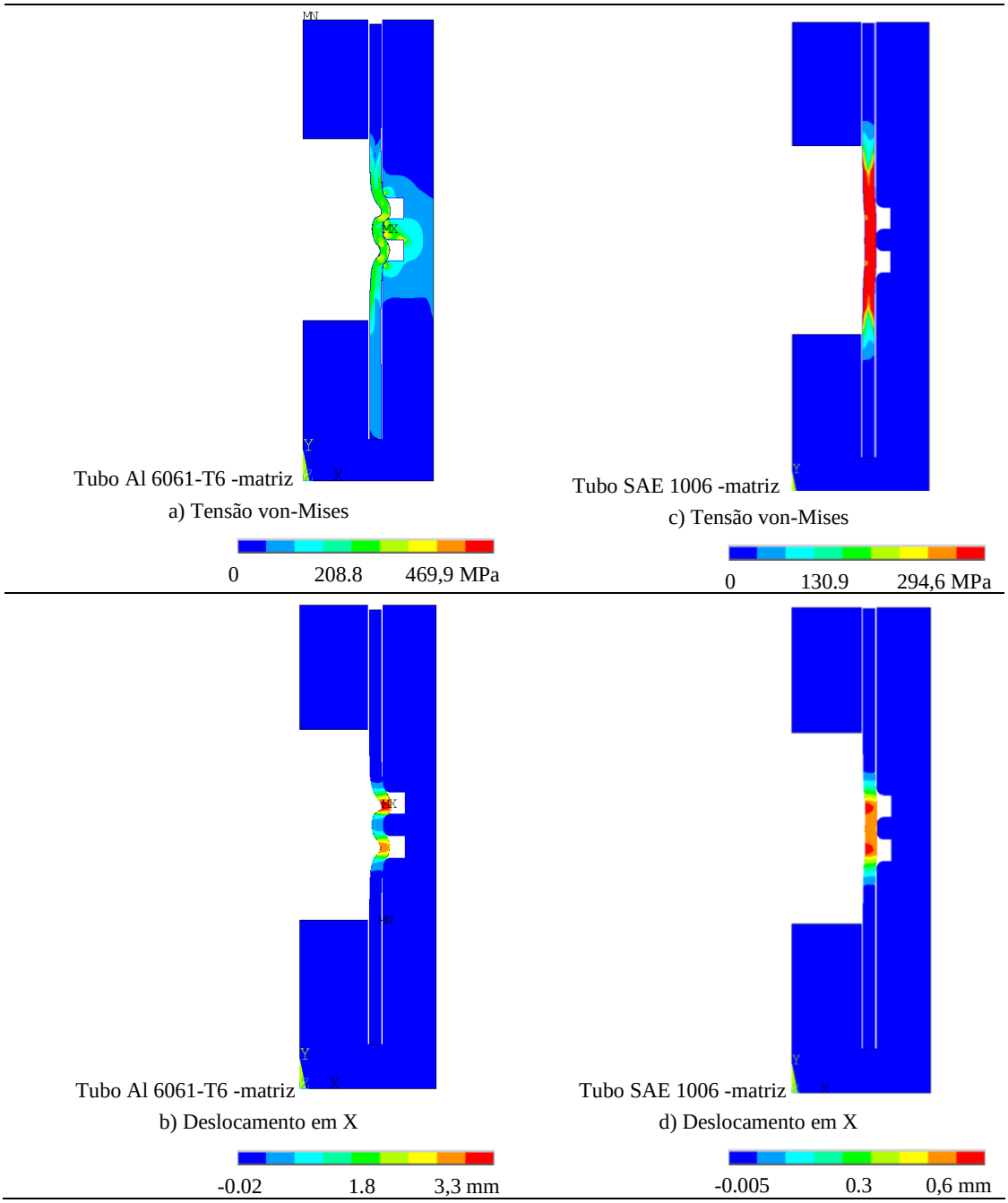


Fig. 6 - Tensão equivalente e deslocamento em X, tubo Al 6061-T6 a) e b) e tubo de aço SAE 1006 c) e d).

Tabela 1. Deslocamentos nos eixos X e Y após deformação do tubo de Alumínio Al 6061-T6.

Eixo X, cavidade superior- Nó 11238: +2,937 mm	Eixo Y, cavidade superior- Nó 11592: -1,2645 mm
Eixo X, cavidade inferior - Nó 11215: +3,28 mm	Máxima pressão aplicada: 301,02 N/mm²

Tabela 2. Deslocamentos nos eixos X e Y após deformação do tubo de Aço SAE 1006.

Eixo X, cavidade superior- Nó 11392: +0.535 mm	Eixo Y, cavidade superior- Nó 11040: -0,246 mm
Eixo X, cavidade inferior – Nó 11176: + 0.635 mm	Máxima pressão aplicada: 589,5 N/mm²

Como a pressão aplicada na direção radial do tubo foi incremental linear, o resultado do valor máximo atingido irá garantir o escoamento do tudo nas cavidades da matriz. O valor máximo para cada uma das soluções é o registado nas tabelas anteriores, junto à cavidade da matriz.

Finalmente, o modelo utilizando o tubo de alumínio garantiu que a cavidade da matriz fosse preenchida após a deformação completa do tubo e produziu um resultado otimizado para a geometria e parâmetros da simulação. Para uma visualização mais clara dos resultados, a Figura 7 apresenta: a) uma vista em expansão de ½ do conjunto, e b) uma vista em expansão de ¾ do modelo após a deformação do tubo de alumínio e o preenchimento das cavidades da matriz. A Figura 7 c) e d) apresentam uma vista em expansão ½ do conjunto, e b) uma vista em expansão de ¾ do modelo após a deformação do tubo de aço, mas não registando a deformação por enrugamento desejada.

O resultado dos deslocamentos (Tabelas 1 e 2) nas direções radial e axial estão em concordância com os obtidos por (Rahmani, 2020), que realizou o processo de deformação de um tubo a quente para criar uma protuberância axissimétrica em tubos de alumínio AA6063. Segundo os autores, não há uma relação significativa entre o diâmetro da protuberância e o comprimento final do tubo, sendo que o avanço radial tem o maior efeito no comprimento do tubo, enquanto o avanço axial não é tão significativo.

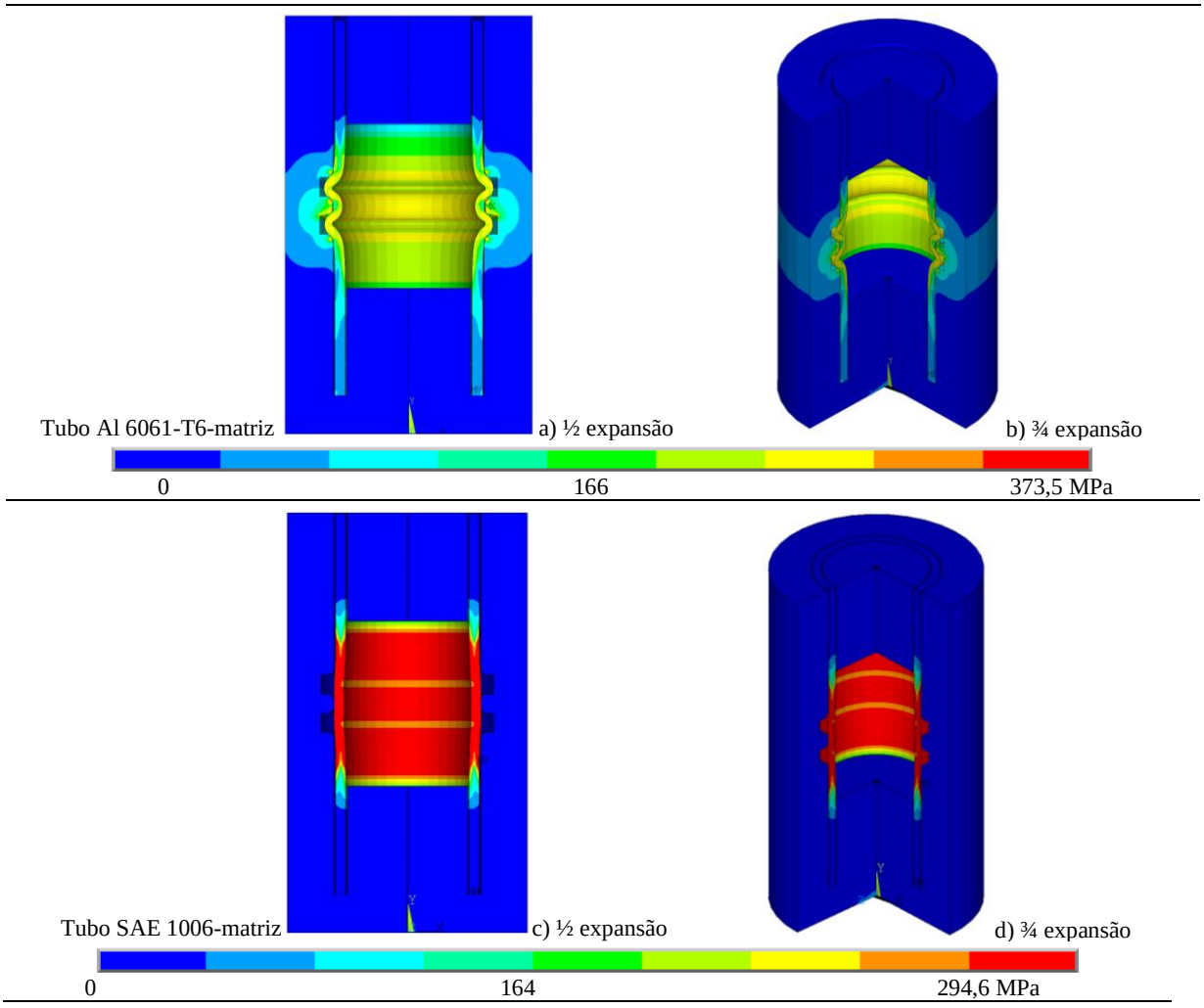


Fig. 7 - Tubo Al 6061-T6-matriz: a) ½ e b) ¾ expansão. Tubo SAE 1006-matriz: c) ½ e d) ¾ expansão.

Com base nos resultados, não foi possível obter a deformação plástica completa no tubo de aço, tendo sido garantida a realização no modelo do tubo em alumínio. É possível assim, obter junções em tubos cujos materiais tenham um comportamento mecânico próximo ao das ligas de alumínio.

CONCLUSÃO

A geometria do conjunto matriz-tubo gerou bons resultados, quando utilizado o material de alumínio, pelo preenchimento uniforme e completo das cavidades da matriz após a sua deformação. Este resultado foi possível devido à menor resistência mecânica da liga de alumínio Al 6061-T6 em comparação com o aço SAE 1006.

Trabalhos futuros poderão incluir o mesmo tipo de análise computacional, estrutural linear e incremental com comportamento de material não linear, mas utilizando elementos finitos distintos na modelação do tubo, como sejam elementos de casca. Outros trabalhos poderão ainda utilizar uma formulação tridimensional, mas com base numa análise dinâmica explícita. Além disso, a comparação dos resultados numéricos com novos protótipos de testes experimentais, conforme sugerido em (Phan, 2023), será importante para otimizar a força necessária no processo de conformação de tubos em matriz aberta.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES)-Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

Budynas, R. G., Nisbett, J. K., Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw Hill, 2008.

Campos, A. A., Coppieters, S., Strano, M., Optimization and inverse analysis in metal forming: scientific state-of-the-art and recent trends, International Journal of Material Forming, vol. 15, 2022.

G., Buffa; L., Fratini; U., La Commare; D., Römisch; S., Wiesenmayer; S., Wituschek, M., Merklein, Joining by forming technologies: current solutions and future trends, Int J Mater Form, vol. 15, n.27, 2022.

Gilmar, C. S.; Samara, C. R. S., Alysson, L. V., Pipe joining by mechanical conformation in thin sheets with rotary locking via a notch, Engineering Structures, vol. 249, pp. 113151, 2021.

Kim, C.; Lee, J.; Barlat, F., Lee, M., Frictional Behaviors of a Mild Steel and a TRIP780 Steel Under a Wide Range of Contact Stress and Sliding Speed, Journal of Tribology, vol. 136, pp.21606, 2014.

Martin, G., Evandro, P., Rodrigo R., Pedro A. R. R. , Roberto P. H., Experimental Analysis of Interference-Fit Joining of Aluminum Tubes by Electromagnetic Forming, EEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 30, pp.1-6, 2020.

Mori, K., Bay, N., Fratini, L., Micari, F. A., Erman Tekkaya, Joining by plastic deformation, CIRP Annals, Vol. 62, Issue 2, pp.673-694, 2013.

Necpal, M., Hodúlová, E., Martinkovič, M., Numerical Simulation of Material Plastic Deformation Using the Drawing Forming Process of Contoured Internal Surface Tubes, Key Engineering Materials, vol. 841, pp.54–58, 2020.

Rosa, P. A., Rodrigues, J. M. C., Martins, P. A. F., Internal inversion of thin-walled tubes using a die: experimental and theoretical investigation, International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 44, pp.775-784, 2004.

Phan, T. H. L.; Luyen, T. T., Nguyen, D. T., A Study Utilizing Numerical Simulation and Experimental Analysis to Predict and Optimize Flange-Forming Force in Open-Die Forging of C45 Billet Tubes, Applied Sciences, vol. 13, 9063, 2023.

Rahmani, F., Seyedkashi, S. M. H., Hashemi, S. J., Experimental Study on Warm Incremental Tube Forming of AA6063 Aluminum Tubes, International Journal of Engineering: Basics, Applications and Aspects, vol. 33, pp.1773-1779, 2020.

Vyas, H. D.; Mehta, K. P.; Badheka, V., Doshi, B. Friction welding of dissimilar joints copper-stainless steel pipe consist of 0.06 wall thickness to pipe diameter ratio, Journal of Manufacturing Processes, Vol. 68, pp.1176-1190, 2021.

Winiarski, G, Bulzak, T., Szala, M., Numerical analysis of a two-stage forming process for a hollow part with external flange, Journal of Physics: Conference Series, vol. 1736, 2021.

ARTIGO Nº 22205

ENSINO DO PROJETO ÓPTIMO NO MESTRADO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Carlos C. António[1(*)]

[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, LAETA/INEGI, Porto, Portugal
[(*)] *Email:* cantonio@fe.up.pt

RESUMO

No âmbito da restruturação do Mestrado em Engenharia da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (UP) foi criada a nova unidade curricular (UC) de Otimização de Sistemas Mecânicos. O novo plano de estudos entrou oficialmente em vigor no ano letivo de 2021-2022 e esta nova UC faz parte do plano de estudos de três ramos do curso: (i) Projeto de Máquinas, (ii) Estruturas Aeronáuticas e de Veículos e (iii) Fluidos e Energia. Neste artigo descrevem-se os objetivos da aprendizagem, isto é, os conhecimentos, as aptidões e as competências a desenvolver pelos estudantes. O objetivo da unidade curricular é ministrar aos estudantes conhecimentos sobre a Teoria da Otimização em geral e sobre o projeto otimizado de sistemas mecânicos em particular. A capacitação dos estudantes para a aplicar os conhecimentos adquiridos nesta UC a outras unidades curriculares do plano de estudos, nomeadamente na sua dissertação (Tese), é fundamental.

***Palavras-chave**:* mestrado em engenharia mecânica, otimização, sistemas mecânicos, ensino.

1. INTRODUÇÃO

O segundo ciclo de estudos em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal – designado por Mestrado em Engenharia Mecânica (M.EM), surge na sequência da reorganização dos planos de estudo do ensino superior decidida pelo Ministério da Ciência e Tecnologia do Governo português.

A entrada em vigor deste novo plano de estudos deu-se no ano letivo de 2021/2022 e teve como objetivos por um lado modernizar a formação ministrada aos futuros Engenheiros Mecânicos, incrementando significativamente a densidade técnica e científica das especializações e por outro lado ir ao encontro das necessidades da indústria, quer nas áreas tecnológicas emergentes da mecânica quer nas áreas com forte investigação, acompanhando a instalação no norte de Portugal de muitos centros de desenvolvimento e unidades produtivas de várias empresas nacionais e internacionais. O Mestrado em Engenharia Mecânica (M.EM) oferece as seguintes Especializações:

- Projeto de Máquinas
- Estruturas Aeronáuticas e de Veículos
- Fluidos e Energia
- Automação
- Materiais e Processos Tecnológicos
- Engenharia e Gestão da Produção
- Engenharia Mecânica - Geral

O ensino do projeto ótimo no curso de Mestrado em Engenharia Mecânica centra-se na unidade curricular de "Otimização de Sistemas Mecânicos". A unidade curricular de "Otimização de Sistemas Mecânicos (OSM)" é parte integrante do ciclo de estudos de três especializações: Projeto de Máquinas; Estruturas Aeronáuticas e de Veículos; e Fluidos e Energia. Poderá ainda ser selecionada como Unidade Curricular opcional para completar o plano de estudos de outras especializações. No plano de estudos do M.EM, a unidade curricular OSM é lecionada no 1º ano, 1º semestre letivo.

A UC de Otimização baseia-se em parte em conhecimentos adquiridos nas UCs propedêuticas da Licenciatura em Engenharia Mecânica (L.EM) como a Álgebra e essencialmente a Análise Matemática com os conceitos previamente adquiridos de derivada parcial, derivada direcional, derivada total, generalização da regra derivação em cadeia, derivação implícita, extremos de funções e condições de otimalidade. É fundamental ter conhecimentos de algoritmia e de linguagens de programação para desenvolver modelos computacionais de projeto ótimo, incluindo a sua implementação e validação.

2. OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS MECÂNICOS

A Otimização é um ramo da área da Matemática e dos Métodos Numéricos que tem sido objeto de investigação teórica e aplicada intensiva ao longo das últimas décadas. Em particular, a Engenharia é uma das áreas onde a otimização tem encontrado terreno propício para a sua aplicação e desenvolvimento teórico e prático. As técnicas de otimização alcançaram uma maturidade sem precedentes e são usadas num largo espectro de aplicações industriais em diferentes áreas nomeadamente engenharia estrutural, aeroespacial, automóvel, química, eletrónica, fabricação assistida por computador e produção industrial. Com o rápido avanço das tecnologias computacionais têm aumentado a dimensão e a complexidade dos problemas resolvidos com o recurso a técnicas de otimização. A integração com poderosas ferramentas de projeto e fabrico assistido por computador (CAD/CAM) é já uma realidade (Conceição António, 2020). A Figura 1 indica alguns dos benefícios da integração da otimização em áreas da engenharia mecânica.

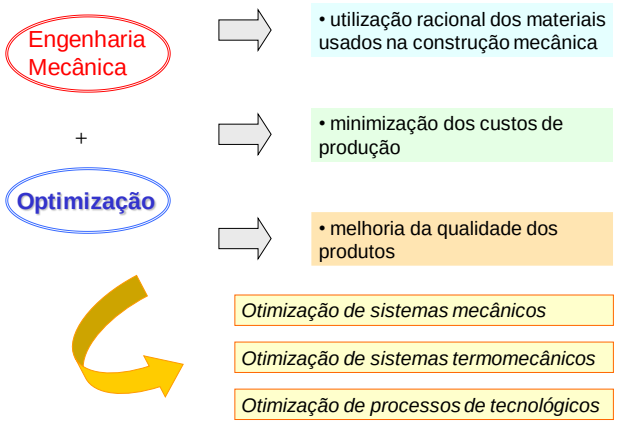


Figura 1 - Integração da otimização em áreas da engenharia mecânica.

A conceção de um sistema pode ser formulada como um problema de otimização, em que uma ou mais medidas de desempenho são otimizadas enquanto todos os outros requisitos são satisfeitos. Ao analisar o projeto ótimo, é necessário abordar algumas questões fundamentais.

- Qual é o objetivo ao projetar um produto ou um processo tecnológico?
- Que nível de detalhe deve ser utilizado na definição de um projeto que deve ser otimizado?

- Dado que um projeto evolui numa série de fases, onde é que a otimização se encaixa?
- Pode integrar as importantes decisões de projeto de alto valor?
- Quais são as questões e os benefícios do processo industrial associados à implementação da otimização de projeto?
- Quais são os benefícios para o produto ou para os processos tecnológicos?

A Figura 2, dá uma visão geral de um ciclo de evolução do projeto e a interação das diferentes fases de desenvolvimento.

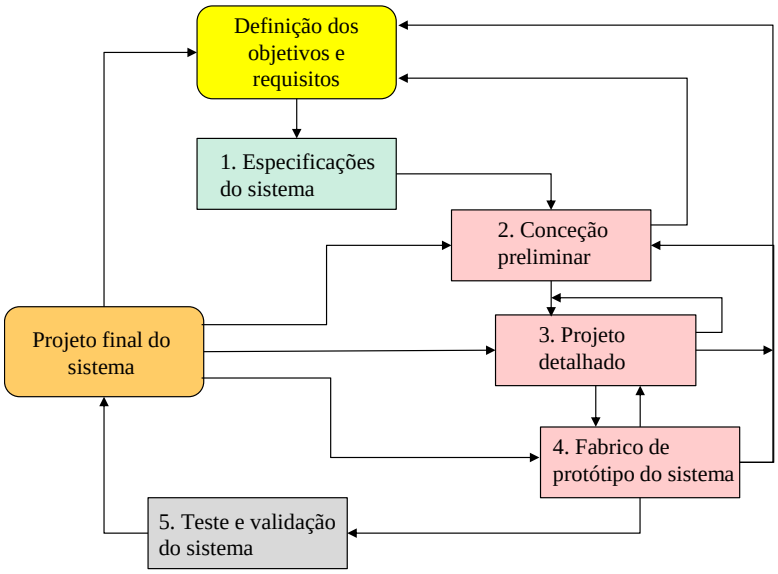


Figura 2 - Visão geral de um ciclo de evolução do projeto e a interação das diferentes fases de desenvolvimento (Conceição António, 2020).

A otimização no ciclo de projeto pode ser definida como o estabelecimento racional de um projeto que é o melhor dentro de todos os projetos possíveis de acordo com um ou mais objetivos predefinidos e obedecendo a um conjunto prescrito de restrições geométricas e/ou restrições relacionadas com o comportamento e a integridade dos sistemas em engenharia, restrições tecnológicas, etc. A otimização sugere a seleção da melhor opção dentro de uma gama de possíveis escolhas. É natural considerar este aspeto quando se produz um novo produto.

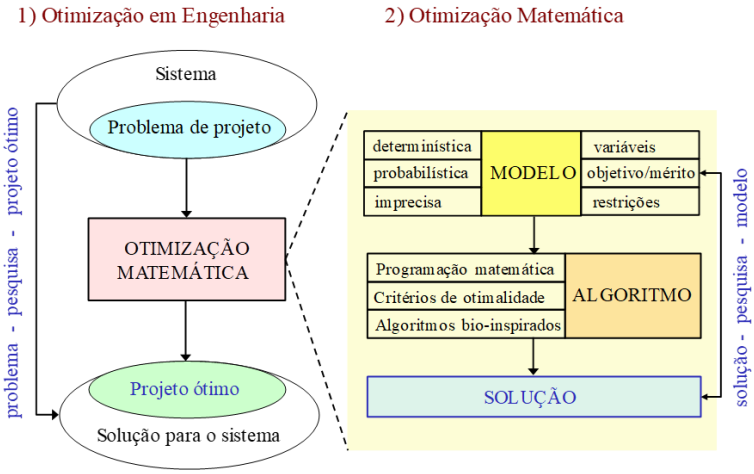


Figura 3 – A integração da otimização no ciclo de projeto (Conceição António, 2020).

Para aplicar os conceitos matemáticos à pesquisa de projeto ótimo, deve-se formular o problema matemático subjacente e construir o respetivo modelo. Para tal é necessário definir as variáveis de projeto, os objetivos e as restrições do problema. A natureza destas entidades matemáticas depende da informação disponível sobre o problema de projeto que pode ser determinística, probabilística/estocástica ou difusa. Por outro lado, os algoritmos de otimização podem ser enquadrados em três grandes classes: programação matemática, critérios de otimalidade e algoritmos bioinspirados. A integração da otimização no ciclo de projeto em engenharia é apresentada na Figura 3.

Objetivos e competências a adquirir

A inclusão da unidade curricular Otimização de Sistemas Mecânicos no Mestrado em Engenharia Mecânica visa ministrar aos estudantes conhecimentos sobre a Teoria da Otimização em geral e sobre o projeto otimizado de sistemas mecânicos em particular. No fim do período letivo os alunos devem ser capazes de:

1 - Formular problemas de otimização;
2 - Escolher as técnicas de otimização apropriadas para resolver problemas em engenharia mecânica (Figura 4);
3 - Formular e desenvolver modelos de otimização seguindo metodologias apropriadas visando o projeto ótimo de sistemas mecânicos (Figura 5);
4 - Implementar modelos de otimização e analisar criteriosamente os resultados obtidos;
5 - Proceder à validação dos modelos desenvolvidos.

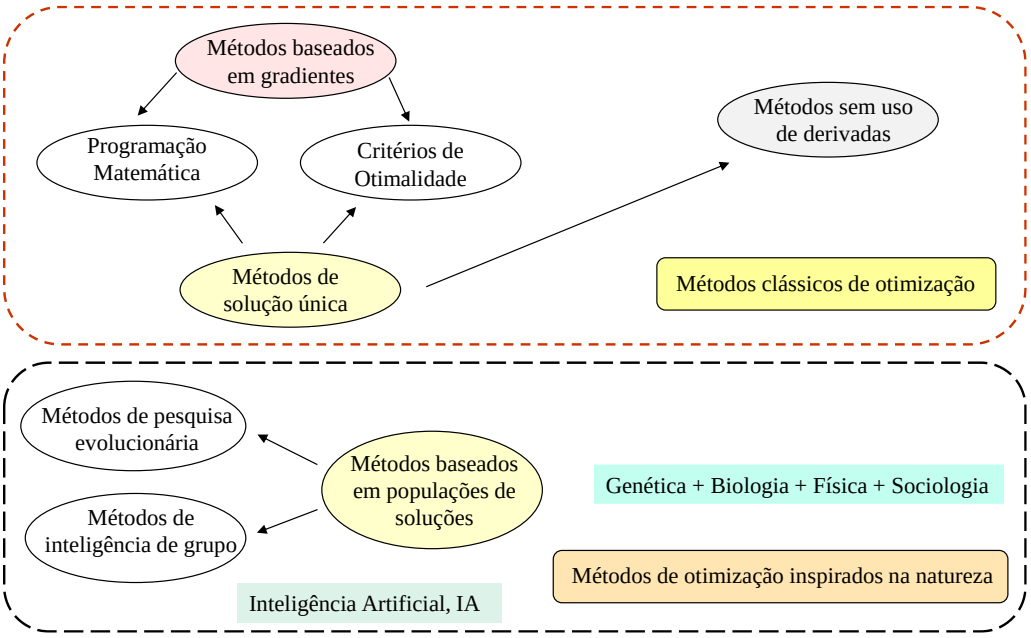


Figura 4 - Classificação dos métodos de otimização usada em OSM (Conceição António, 2021).

Um problema de otimização pode geralmente ser tratado de acordo com o Conceito dos Três Pilares (Three-Columns-Concept) integrado no processo de otimização de projeto conforme se mostra na Figura 5. Este conceito estabelece três entidades:

1. O modelo de análise do sistema.
2. O algoritmo de otimização.
3. O modelo de otimização.

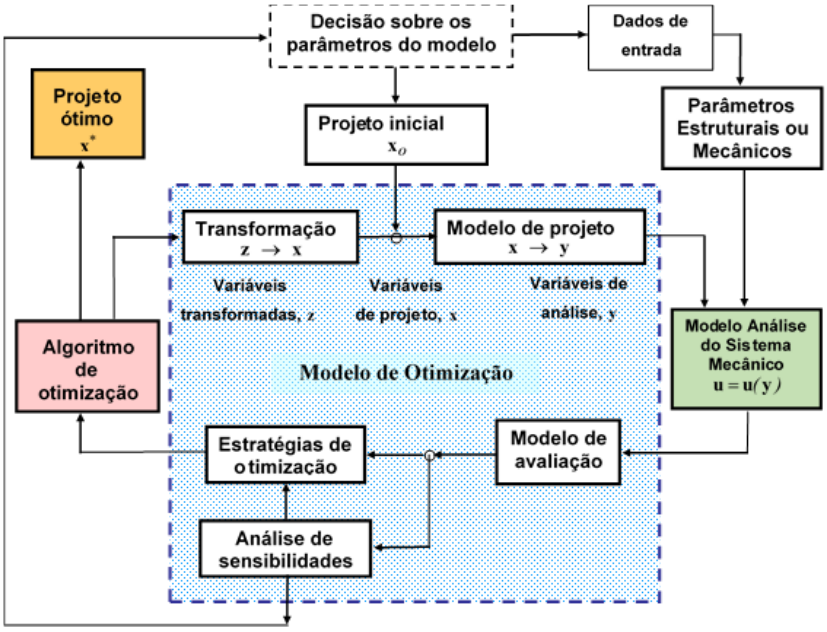


Figura 5 – Abordagem de um problema de otimização e construção do modelo segundo o conceito dos "Três Pilares da Otimização (Conceição António, 2020).

A metodologia de ensino adotada para a unidade curricular baseia-se no estabelecimento de uma relação permanente entre os diferentes temas tratados de forma a facilitar a assimilação das matérias. A consulta de bibliografia e o estudo de artigos da especialidade é encorajada tendo como objetivo o desenvolvimento de modelos de otimização para a resolução de pequenos problemas ou trabalhos de síntese que envolvam consulta bibliográfica.

Programa da unidade curricular

Os estudantes devem adquirir competências computacionais, isto é, a capacidade para desenvolver modelos computacionais de projeto ótimo, incluindo a sua implementação e validação. Devem ainda adquirir competências transversais traduzidas em conhecimentos de algoritmia e de linguagens de programação. Os conteúdos programáticos da unidade curricular agrupam-se em:

1. Otimização: função objetivo, variáveis de projeto, restrições geométricas, comportamentais e tecnológicas. Formulação do problema. Condições de otimalidade. Modelos de otimização.
2. Programação matemática e critérios de otimalidade. Sensibilidades. Métodos da penalidade e do Lagrangeano (Vanderplaats, 1984; Conceição António, 2020, 2021).
3. Pesquisa evolucionária: paradigmas e componentes dos algoritmos bio-inspirados. Algoritmo Genético: codificação, operadores, elitismo e diversidade. Algoritmos Meméticos: evolução genética e aprendizagem (Goldberg, 1989; Conceição António, 2020, 2021).
4. Introdução à otimização baseada em inteligência de enxame (Conceição António, 2020, 2021).
5. Otimização multiobjectivo: frente de Pareto, transformação, dominância e pesquisa evolucionária (Deb, 2001; Conceição António, 2020, 2021).
6. Aplicações: cascas/placas, topologia, compósitos, seleção de materiais, estruturas aeronáuticas, comportamento de veículos, identificação de propriedades, biomecânica, fluídos e energia. Uso de programas (Visual Studio, MATLAB) e de novos modelos com análise e otimização.

Métodos de ensino e atividades de aprendizagem

O objetivo essencial desta unidade curricular é proporcionar os conhecimentos fundamentais de Teoria da Otimização, as suas metodologias e a integração das ferramentas de simulação e otimização necessários para análise e o projeto ótimo de sistemas mecânicos. Preparar o estudante na aplicação de modelos computacionais, nomeadamente de elementos finitos e otimização, na análise e no projeto ótimo de sistemas mecânicos. Assim os conteúdos programáticos definidos em 1, são consentâneos com o objetivo mencionado em 1. Os conteúdos programáticos descritos nos pontos 2, 3, 4, 5 e 6 permitem atingir os objetivos preconizados em 2 e 3. Finalmente os conteúdos programáticos definidos em 7 permitem alcançar os objetivos estabelecidos em 4 e 5.

Demonstração da coerência das metodologias de ensino

A metodologia de ensino adotada para a unidade curricular baseia-se no estabelecimento de uma relação permanente entre os diferentes temas tratados de forma a facilitar a assimilação das matérias. A consulta de bibliografia e o estudo de artigos da especialidade é encorajada tendo como objetivo o desenvolvimento de modelos de otimização para a resolução de pequenos problemas ou trabalhos de síntese que envolvam consulta bibliográfica. A unidade curricular funciona no regime de uma aula teórico-prática (TP) por semana com uma duração de 2h e 1 aula de ensino prático e laboratorial de 1 hora.

Esta tipologia de aulas permite que o docente se dedique na parte inicial à exposição de matéria teórica, logo seguida de exemplos práticos de aplicação. Subsequentemente, será proposto aos estudantes a formulação, desenvolvimento e a implementação de módulos usando uma linguagem de programação adequada que abordem a temática subjacente ao conteúdo teórico ministrado.

Avaliação

A unidade curricular tem avaliação distribuída com exame final. As diferentes componentes da avaliação são apresentadas na Tabela 1. A distribuição dos tempos de ocupação da aprendizagem está apresentada na Tabela 2.

A unidade curricular tem **avaliação distribuída com exame final**. As diferentes componentes da avaliação são apresentadas na Tabela 1. A distribuição dos tempos de ocupação da aprendizagem está apresentada na Tabela 2.

Tabela 1 Componentes da Avaliação

Designação	Peso (%)
Participação presencial	10,00
Teste	50,00
Trabalho laboratorial	10,00
Trabalho prático ou de projeto	30,00
Total:	100,00

Tabela 2 Componentes de ocupação da aprendizagem

Designação	Tempo (Horas)
Estudo autónomo	52,00
Frequência das aulas	39,00
Trabalho laboratorial	42,00
Trabalho de campo	13,00
Trabalho de investigação	16,00
Total:	162,00

Os estudantes são convidados a desenvolver, implementar e validar **dois trabalhos práticos** de otimização de sistemas mecânicos através de aplicações em **ambiente de software comercial ou em linguagem de programação adequada** de sua escolha. Um dos trabalhos envolverá **técnicas clássicas de otimização** e no segundo trabalho será usado um **método de otimização bio-inspirado**. Estimula-se a comparação de resultados obtidos com duas ou mais técnicas de otimização diferentes. Os estudantes submetem dois relatórios (ou um relatório com duas partes) sobre os modelos desenvolvidos, implementados e validados.

3. CONCLUSÕES

Nos anos letivos de 2021-2022 a 2024-2025, os estudantes foram convidados a desenvolver, a implementar e a validar dois trabalhos práticos de otimização de sistemas mecânicos através de aplicações em ambiente de software comercial ou em linguagem de programação adequada de sua escolha. Um dos trabalhos envolveu técnicas clássicas de otimização e no segundo trabalho desenvolveram um algoritmo de otimização bio inspirado. Estimulou-se a comparação de resultados obtidos com duas ou mais técnicas de otimização diferentes. Os estudantes submeteram dois relatórios (ou um relatório com duas partes) sobre os modelos desenvolvidos, implementados e validados. Os resultados obtidos na avaliação subsequente foram muito positivos permitindo tirar ilações para o futuro da UC de "Otimização de Sistemas Mecânicas". A capacitação dos estudantes para a aplicar os conhecimentos adquiridos nesta UC a outras unidades curriculares do plano de estudos, nomeadamente na sua dissertação (Tese), é fundamental.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece o financiamento do Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior, FCT, Portugal, ao abrigo do financiamento concedido ao LAETA-INEGI.

REFERÊNCIAS

Carlos Conceição António; Otimização de sistemas em engenharia: Fundamentos e algoritmos para o projeto ótimo, Porto, Portugal, Engebook, 2020, ISBN: 978-989-901-734-4 (www.engebook.pt)

Carlos Alberto da Conceição António; Optimization of mechanical systems - fundamentals and algorithms. Edição: Efeitos Gráficos, 2021, ISBN: 978-989-53416-0-3

Garret N. Vanderplaats; Numerical optimization techniques for engineering design with applications. ISBN: 0-07-066964-3

David E. Goldberg; Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. ISBN: 0-201-15767-5

Kalyanmoy Deb; Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. ISBN: 978-0-470-74361-4

PAPER Nr.22505

BRIDGING CONTINENTS THROUGH BLENDED MOBILITY: ADVANCING EUROPE-AFRICA COOPERATION IN HIGHER EDUCATION

Nuno Escudeiro[1(*)], Paula Escudeiro[1]

[1]Instituto Politécnico do Porto, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) - Porto, Portugal
[(*)] *Email:* nfe@isep.ipp.pt

ABSTRACT

Virtual and blended mobility are unique educational modalities to promote sustainable education and to foster equity and inclusion in higher education. However, these paradigms are not being explored to their full potential. For many years, virtual and blended mobility have been discussed and explored in higher education; during the Covid19 pandemic, virtual mobility was the only channel supporting higher education. Nevertheless, the internationalization of education is still relying, almost exclusively, on physical mobility, while neglecting virtual and blended mobility. Complementing physical mobility schemes through virtual and blended channels will empower higher education institutions to promote, to unprecedented levels, the international contacts of students during their studies. This paper presents educational approaches based on virtual and blended modalities, being implemented in Europe and Africa, and their impact in modern education.

***Keywords**:* blended mobility, equitable education, internationalization of education.

INTRODUCTION

Virtual and blended mobility tear down many barriers to international mobility. A holistic view of international mobility, that seamlessly combines physical, blended and virtual schemes will empower higher education institutions to promote the international contacts of students during their studies to unprecedent levels. Virtual and blended mobility, together with physical mobility, constitute an all-encompassing portfolio of mobility alternatives leaving no one behind; it is this unique feature of virtual/blended mobility that empowers students, academics and administrative staff to leverage university resources to the benefit of themselves and their institution. A significant increase in international mobility and the internationalization of higher education institutions can be achieved through these paradigms if they are clearly stated, promoted, assisted by the administration of the institutions, and accountable. When focusing on physical mobility alone, we leave behind many students that face barriers to physical mobility and cannot benefit from the added value of international contacts during studies.

Academics remain, in general, sceptical in relation to novel educational approaches involving virtual mobility. National regulations for higher education might also be blocking factors, for instance, when limiting the number of teaching hours that can be held in any other mode than in-person. These circumstances restrict the adoption of novel educational approaches and hold back the potential of such channels to escalate and democratize the international exposure of students during studies and the internationalization reputation of the institutions. Nevertheless, virtual and blended mobility as key elements of the higher education transformation process

that Europe is crossing, and many novel approaches to curricular activities held in virtual and blended modes are rising and showcasing their relevance to modern education.

The remainder of this paper describes the current standing of international mobility in Europe, followed by a proposal to clarify terminology and operational rules. Next, we discuss distinct practices promoting globalized education and highlight the main conclusions.

HIGHER EDUCATION MOBILITY IN EUROPE

The core goal of mobility is to provide an international academic experience for students [1]. Due to the Erasmus+ program[1], physical, traditional, mobility for studies and traineeships is well established in Europe. The concepts, the procedures, the workflow, the administrative burden and the roles as well as the supporting documentation are well known after more than 35 years of successful implementation of the program. Physical mobility is a transparent process, uniformly used by the generality of higher education institutions (HEI); mobility statistics are transparently computed, available, accountable and recognized as a key indicator regarding the internationalization performance of HEI.

The 2021-2027 Erasmus+ program, eventually pushed by the Covid-2019 pandemic, introduces *Short Term Blended Mobility Grants*, known as *BIP – Blended Intensive Programs* [1], allowing groups of HEI to jointly develop blended mobility curricula and activities for students as well as academic and administrative staff [2], [3]. After 10 to 15 years of several initiatives and developments in the blended [4] and virtual mobility arena [5], we start seeing these pedagogical approaches being credited with their true potential [6]. The European Commission started promoting virtual mobility in 2014; the European Universities initiative[2] (EUi) can mobilize HEI to mainstream virtual and blended mobility to reach and overcome the goal of 50% student mobility [7].

Although frequently referred to as academic activities partially or fully held at a distance supported by information technologies, the “blended” and “virtual mobility” terms are often criticized for their semantics. Several other terms are proposed and claimed to be more meaningful, such as “internationalization at home”, “blended learning”, and “virtual exchanges” [8]. The Erasmus+ Programme Guide [9] defines “learning mobility”, “virtual learning”, and “virtual cooperation” but not “virtual mobility”, although the term is used in the guide.

The Erasmus Charter for Higher Education for the 2021/27 program explicitly declares an interest in advancing more inclusive mobility and green Erasmus+ activities [10].

There is a common understanding among all stakeholders on the significant relevance of international mobility during studies and the extraordinary impact it produces on the participants [11,12,13]. Moreover, there is a declared political interest in stimulating mobility [14]. Novel education environments, based on digital education that is supported by the extensive use of the Internet, information technologies, and 5G, together with innovative pedagogies, make it possible to design and utilize new generation learning environments encouraging all to engage in mobility in several formats, not necessarily restricted to physical mobility.

[1] https://erasmus-plus.ec.europa.eu/

[2] https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/european-universities-initiative

We must go over semantics and focus on the essential issues. The top three goals for internationalization of higher education, as reported at the 2018 EAIE Global Barometer [15], are to "Prepare students for a globalised world"; "Enhance student employability, improve institutional reputation, competitiveness and/or position in rankings" and "Improve the quality of education". All of these are mentioned by more than 60% of the respondents – 2317 individual respondents from 1292 unique HEI in 45 EHEA countries.
Regardless of how we name it, the relevant point to address and discuss is how to share a common transparent understanding of all the alternatives that universities can offer their students and staff to increase mobility and international cooperation in the most comprehensive, equitable and sustainable way.

Advancing Mobility Towards Sustainable Globalized Education

Sustainability is grounded by a stable and just society, a stable and resilient economy, and a diverse and clean environment. Offering students a broad portfolio of mobility alternatives plays a key role in sustainable higher education with core contributions in several fields, such as equity and equal opportunities, viability, access to resources, lifelong learning, internationalization, and green education.

Students face several barriers to physical mobility, preventing many of them from experiencing international contact during studies and hampering their odds of benefiting from a unique chance to foster personal, professional, and social competencies. These barriers stem from distinct causes, such as cost of international mobility, family issues, risk of missing local job opportunities, student workers, anxiety while anticipating long periods abroad, prevalence of impairments, disabilities, handicaps, health issues, chronic diseases permanently requiring specific treatment, geopolitical issues, visa, travel restrictions, public health crisis. Blended and virtual mobility academic activities overcome all these barriers and reduce the impact of such circumstances. Standard formats of blended mobility, such as those prevalent in BIP, reduce the carbon footprint between 60% and 28% compared to traditional/physical Erasmus mobility [16].

Virtual and blended mobility possess the required characteristics to advance excellence and inclusiveness in higher education and play a key role in sustainable and democratic education. However, to maintain academic activities grounded on these educational settings, we need a formal specification adopted at the European level that might bring transparency, accountability and trustworthiness to this field, that will raise awareness, that might establish how such approaches can be recorded and accounted for the internationalization profile of a higher education institution and that encourages its adoption.

Virtual mobility, blended mobility and physical mobility are complementary dimensions of academic mobility. When we offer our students and staff a mobility portfolio that aggregates opportunities in all these dimensions, we leave no one behind; if, on the contrary, for any reason, we forsake any of these paths then we are leaving behind all those who cannot overcome the barriers inherent to the remaining mobility modalities.

Virtual and Blended Mobility

Virtual Mobility and Blended Mobility are pedagogical approaches that evolved from the early years of the first decade of 2000, supported by the internet and new technologies. Although the terms *blended mobility* and *virtual mobility* are commonly used, there is no general agreement on the best phrasing, which leads to ambiguity and misjudgement. The commonly agreed meaning of blended mobility is a combination of periods of learning abroad with others taking

place in a virtual environment. Virtual mobility refers to the academic activities organized at the institutional level, entirely at a distance, without traveling, and digitally assisted.

The Covid-19 pandemic pushed academics in 2020 and 2021 to adopt pedagogical practices delivered through online channels; suddenly, the added-value of such paradigms became more evident. However, the lack of standard formulation and a formal specification of virtual and blended mobility prevents transparency and weakens the potential of such paradigms and its recognition as a sound indicator of internationalization achievements in higher education.

Mainstreaming virtual and blended mobility will open the doors of internationalization for many more students than those benefiting from international education through physical mobility only. There is a general, and obvious, understanding that physical mobility impacts the participants' personal, academic, and professional competencies more effectively than blended or virtual mobility [11, 12]; however, the reach of blended and virtual mobility is considerably higher.

Physical, blended, and virtual mobility complement each other and should be available to all, grounded on a formal specification to assure clarity, transparency, accountability and trustworthiness.

Several initiatives promoted by educational institutions and related organizations in Europe and abroad are exploring the benefits of non-physical learning environments. In this paper we discuss three such approaches addressing distinct dimensions of the problem, being promoted at the Polytechnic of Porto and the ATHENA European University.

The transformation of higher education currently running in Europe, anchored on the European Universities initiative (EUi), requires a significant boost in international mobility that cannot be achieved uniquely based on physical mobility due to the high costs and carbon footprint of flight travels. The European Union’s ministers agreed on reaching a target of at least 20% of students that spend some part of their studies or training abroad by 2020; this ambitious goal was not achieved. Through the EUi, the European Commission aims at achieving a rate of 50% of students’ international mobility by 2025 [7]; however, even though Erasmus+ mobility flows are growing in Europe, achieving 50% mobility rates exclusively based on physical mobility seems to be unachievable. Virtual and blended mobility are core components of a comprehensive portfolio of student exchange tools aiming at excellence and inclusiveness in education and will play a critical contribution to increasing mobility to such goals.

REGULATING INTERNATIONAL MOBILITY

Regulating teaching/learning activities, partially based on distance learning – which we have been referring to by “blended mobility” and “virtual mobility” – will contribute to a more sustainable education (more inclusive, mode democratic and greener), stimulating international mobility during studies to achieve and overcome the 50% goal that was proposed to the EUi Alliances by the European Commission [17].

This regulatory initiative aims at elevating blended and virtual mobility by promoting transparency and accountability among all stakeholders with interest in inclusive, green and globalized higher education.

This topic has been discussed on several occasions under the frame of the EUi [18] with higher education stakeholders, including DG EAC – Directorate-General for Education and Culture, European University alliances, universities, European associations in the field of higher education, International Relations officers, students, employers, among others. Blended and

virtual mobility is instrumental in achieving the unprecedented mobility rates of 50% aimed at by EUi alliances. Therefore, there is a general understanding that such regulations should not be too restrictive to avoid limiting innovative approaches.

A practical and compelling specification of blended and virtual mobility demands: (1) a straightforward and flexible terminology and (2) a concrete, simple and transparent accountability mechanism that empowers practitioners to record mobility statistics covering all mobility channels in a holistic view.

Terminology

Virtual Mobility and Blended Mobility are the core concepts in need of a clear and practical definition that becomes generally agreed upon, accepted, and adopted by Higher Education stakeholders. The use of these terms in such a context is currently controversial but benefits from a consistent association with Physical Mobility, clearly stating the relationship between the three. It adds that, despite this controversy, these terms are tacitly known and being steadily used in the Erasmus+ arena.

Virtual Mobility is any teaching/learning activity held at a distance, where students and teachers use another institution than their home institution to study or teach for a limited time without physically leaving their home [19]. Virtual mobility is not a replacement for physical mobility, which assures international immersion in another academic, linguistic and cultural environment. Physical mobility is required when such immersion is needed. Physical and virtual mobility serve different objectives and can be organized at different stages depending entirely on the design of a curriculum or course [20].

Nevertheless, virtual mobility significantly contributes to the internationalization of education and promotes students' and teachers' personal, social and academic competencies. Virtual mobility academic activities are unique, overcome barriers and create novel opportunities for internationalization and its benefits. Virtual mobility cannot be replaced by other means due to its nature. Virtual mobility possesses a unique intrinsic value that cannot be neglected. To have virtual mobility (and blended mobility) contributing to the transformation of higher education currently crossing Europe, it needs an official status based on transparent definitions and procedures that bring trust and seriousness to such academic activities and make them accountable.

By having this involvement settled, the potential of such academic activities will be transferred to the stakeholders, including students, teachers, HEI, governmental institutions in education, employers, and society. We will then have created the necessary conditions for academia and the new European Higher Education Area (EHEA) to take full advantage of these tools and have them mainstreamed to the benefit of our students.

For effectiveness, Virtual Mobility academic activities must trigger and promote the students' competencies related to the internationalization of education, i.e., tolerance, respect for cultural diversity and European values, and European citizenship, besides the technical skills from their study field linked to their courses.

A teaching/learning activity (course/module) can be considered “virtual mobility” subject to the following conditions:

1. It is held at a distance, where students and teachers use another institution than their home institution to study or teach for a limited time, without physically leaving their home,

2. It may involve the collaboration of students and/or teachers from several partner universities, as is the case of COIL courses – Collaborative Online International Learning [21],[22],

3. It involves both synchronous and asynchronous activities; teachers give support to students besides synchronous activities,

4. Students have assignments to deliver in cooperation with colleagues and/or teachers from other institutions than their home institution,

5. It demands a minimum effort of 3 ECTS.

Blended Mobility is any teaching/learning activity held through a deliberate combination of physical and virtual mobility based on educational design. The blend is flexible and is determined by educational design: it can be a predominant physical mobility course supported by online mobility or a predominant online course supported by physical mobility. Blended mobility academic activities benefit from the advantages of a (short or long) immersion period combined with the advantages of flexible implementation of mobility, capturing both the benefits of physical and virtual mobility [20]. Once a clear definition of virtual mobility is available, the above definition of blended mobility is implicitly settled.

Rules and Procedures

The general procedure to adopt virtual and blended mobility shall be equivalent to the one already established for Erasmus+ physical mobility. Despite all three approaches to mobility being distinct in several aspects, they also address the same core issue – providing an international academic experience for students (and staff) – under the same setting – higher education. Following standard procedures and rules for all, adapted to the specificities of each one, will simplify the adoption process and reduce the efforts required to incorporate the new types of mobility. In fact, Blended Intensive Programs [1], a blended mobility approach, are already in place and might be suited for novel blended mobility formats.

Virtual and blended mobility shall be based on mobility schemes formally agreed upon and established among two or more universities.

COIL courses [21] might be framed under virtual or blended mobility depending on their work plan.

Available courses are pre-recognized by the student’s home university. Therefore, no negotiation from the student is needed.

The recognition of the courses at any participating institution is pre-arranged; since this type of mobility, mainly virtual mobility, is expected to involve a significant number of students, having a learning agreement for each student might be demanding from the administration's point of view. Having such broad learning agreements previously agreed upon will simplify the process.

The content of the international courses is coherent with the home university program.

Virtual mobility should be free for students, except for study materials and books.

The costs of the physical mobility activities in blended mobility courses/modules shall be supported by a mobility grant for students and teachers.

Students can find selected courses from other universities directly on the website of their home university.

Students attending a course at their home institution that involves international students and/or teachers and matches the requirements established in Section 5.1 also qualify for virtual mobility since they will benefit from the international experience. This will be particularly relevant in COIL courses.

PRACTICES PROMOTING GLOBALIZED EDUCATION

The Polytechnic of Porto, in cooperation with several other European and foreigner universities, has been promoting novel practices that rely on virtual and blended mobility to advance sustainable and global higher education. The ATHENA European University Alliance is a favourable environment to essay and sustain such innovations.

Databases COIL course

Internationalization in higher education enhances students' personal, academic, and professional growth, boosting employability. However, many face barriers to traditional mobility, limiting their access to international experiences. It is the responsibility of HEI to find means and models to democratize and promote inclusion in higher education, ensuring that all students, without exception, have access to the necessary conditions, resources and means to successfully complete their academic journey, including benefiting from international exposure during studies.

Between 2021 and 2023, the School of Engineering of the Polytechnic of Porto and its partners of the ATHENA European University, adapted the Databases course unit (2nd year of the Bachelor's Degree in Computer Engineering – LEI), to a teaching model that guarantees that all LEI students have access to internationalization during their studies, regardless of obstacles to traditional mobility.

This model is simple, immediately applicable, and does not require any changes to the course syllabus, teaching staff, and facilities/classrooms. Students and faculty in the course benefit from international cooperation throughout the semester via theoretical sessions and laboratory-based practical work in collaboration with partner universities that also teach database-related courses.

During a preparatory phase (March – July 2021), a group of professors from Portugal, Germany, France, Italy, Lithuania, Slovenia, and Greece compared their syllabi and study plans, selecting common topics for joint teaching. A curriculum alignment was achieved between database courses in Portugal, Germany, Slovenia, and Greece, forming a consortium that has implemented an international joint database course.

Each partner institution follows its established curriculum except for a set of sessions conducted simultaneously for all students enrolled in the consortium's database courses. This set includes five theoretical sessions and three laboratory sessions that are held in hybrid mode: local students attend in person while students from other universities attend online, all of them cooperating in the same class.

- The five theoretical sessions were taught by five professors from different universities and delivered to all participating students.
- The three laboratory sessions involve international teams of students from the participating institutions. These teams collaborate to solve a three-level challenge—the "Database Escape Room" — one level per laboratory session.

Five database course units were involved, engaging over 700 students and 16 faculty members: Bases de Dados (ISEP, Portugal), Databases I & Databases for Media (University of Maribor, Slovenia), Datenbanksysteme I (University of Siegen, Germany), Databases (Hellenic Mediterranean University, Greece).

The innovative and added value of this model lies in its international setting, the teamwork towards shared objectives, the discussion of common topics from different perspectives, and

the exchange of cultures and academic experiences. All this is achieved without requiring changes to the existing educational structure. This is a simple model that depends on cooperation and trust among partners; however, it has high potential to provide barrier-free access to internationalization during the academic cycle for all students. With this model, we can ensure 100% access to internationalization in higher education.

BlendEd Challenge-Based Project Course

The BlendEd course implements a state-of-the-art blended mobility learning model – acknowledged as a good practice in the Higher Education Mobility Handbook for Higher Education Institutions, published by DG-EAC in May 2021 [6]. The course is designed to help students develop soft skills such as communication, teamwork, problem-solving, critical thinking, cultural awareness, global outlook and adaptability, which are highly valued in today's engineering job market.

BlendEd – standing for Blended Education – is an educational approach in development since 2008. The concept was born at the Department of Informatics of the School of Engineering of the Polytechnic of Porto where we were trying to attract more students for international mobility. The first two editions of the course ran on the academic years of 2009/2010 and 2010/2011, under the MUTW – Multinational Undergraduate Team Work – project supported by the Lifelong Learning programme of the European Commission.

BlendEd is a blended mobility project course unit, combining physical and virtual mobility, where students are integrated in an international and multidisciplinary team of 6 to 10 students to develop a proof-of-concept for a challenge from a company. It is a particular blended mobility course granting students a chance to benefit from intensive intercultural, international, and multidisciplinary experience during studies while remaining at their home institution for all the semester except for two weeks. This course has been run since 2009/10 by a group of universities that have enrolled 500+ students.

Developing curricular activities involving students from different countries and disciplines, collaborating as a team to complete projects that generate relevant outputs to the community, improves students' enthusiasm as well as their teamwork, entrepreneurship, and communication skills.

The BlendEd course is a Project Based Learning (PBL) approach that tears most of the barriers to international mobility thus becoming a key approach to promote equity and inclusion. These barriers arise from many different causes, such as: cost of international mobility, family issues, risk of missing local job opportunities, student workers, anxiety while anticipating long periods abroad, prevalence of impairments, disabilities, handicaps, health issues, chronic diseases permanently requiring specific treatment, geopolitical issues, visa, travel restrictions, public health crisis, etc..

The BlendEd course is a resilient approach to international mobility that can be simply implemented in any field of study. The simple implementation comes from the fact that we do not act at the level of the content but simply on the way the course is offered to students. BlendEd creates a novel learning environment that fosters the acquisition of transversal skills in an informal way while acquiring the technical skills related to the course content.

It is through this innovative paradigm that BlendEd develops transversal skills, promotes international cooperation, and improves the quality of higher education both from the point of view of the students, the teachers, and the employers. BlendEd implements an innovative PBL paradigm that develops soft skills while practicing the hard/technical skills taught during the

bachelor's degree. These skills and competences, which are of critical relevance to the labour market, are not addressed as effectively in traditional class environments.

BlendEd pushes students (and teachers) to develop digital literacy and digital competences since its online phase requires the intensive use of online collaborative tools. Students are required to setup a pool of online tools to support their co-creation process and collaborative work at a distance during the period of approximately 4 months that mediates between the kick-off and the closure face-to-face meetings. The communication between the course chair committee, the supervisor teachers, the students, and the companies' representatives is mediated by IT tools requiring all those involved to master and use them. The BlendEd course is grounded on a portfolio of online collaborative tools to support the core management and operational functions, including calendar management, contact management, document storage and management, project management, task management, version control, co-creation, real time distributed editing, video conferencing, central repositories, etc..

Currently running its 15th edition in Europe and its second edition in Africa, the BlendEd challenge-based PBL course has become a core tool to tear down barriers to international mobility at more than 30 universities.

CONCLUSÕES

The Polytechnic of Porto, in cooperation with several other European and foreigner universities, has been promoting novel practices relying on virtual and blended mobility to advance sustainable and global higher education. The ATHENA European University Alliance is a favourable environment to essay and sustain such innovations. Joint courses exploring virtual learning environments are critical to facilitate and promote access to international cooperation on regular courses. Challenge-based project courses, held in hybrid mode, combining face-to-face with online cooperation bring real professional scenarios to the classroom, tearing down common barriers to international mobility. Reorganizing educational assets in competence clusters promote synergies and open fast gateways to the effective internationalization of higher education, research and innovation. These multidisciplinary and multicultural learning environments cover three complementary dimensions of higher education that may transform engineering education to a globalized and inclusive environment where all have the chance to learn, teach, research, co-create and develop professional and personal skills and competences in an open and culturally diverse setting that boosts international mobility to unprecedented levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

The work described in this paper has been developed by several universities, under the coordination of the GILT research group of the Polytechnic of Porto, with support from several R&D projects funded by the Erasmus+ program, notably, 101128996-ABC BlendEd - ERASMUS-EDU-2023-CBHE-STRAND-2 and 101004096-ATHENA-EAC-A02-2019.

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

REFERÊNCIAS

[1] European Association of Distance Teaching Universities (EADTU), https://virtualmobility.eadtu.eu/, accessed in February 2022

[2] KA131-HED - Mobility of higher education students and staff, https://erasmus-plus.ec.europa.eu/programme-guide/part-b/key-action-1/mobility-project-for-higher-education-students-and-staff, accessed in February 2022

[3] Erasmus+ Programme Guide, Mobility project for higher education students and staff, https://wikis.ec.europa.eu/pages/viewpage.action?pageId=40706342, accessed in February 2022

[4] Means, B., Toyama, Y., Murphy, R., Bakia, M., & Jones, K. (2009). Evaluation of evidence-based practices in online learning: A meta-analysis and review of online learning studies. Washington, DC: U.S. Department of Education, Office of Planning, Evaluation, and Policy Development. Retrieved from http://www.ed.gov/rschstat/eval/tech/ evidence-based-practices/finalreport.pdf, accessed in February 2022

[5] Stansfield, M.; Connolly, T., eds. (2009). Institutional transformation through best practices in virtual campus development: advancing E-learning policies. Hershey, PA: Information Science Reference. ISBN 978-1-60566-358-6

[6] Daniela HEYER, European Commission (2021). Higher Education Mobility Handbook, https://wikis.ec.europa.eu/display/NAITDOC/Higher+Education+Mobility+Handbook, accessed in February 2022

[7] Gaebel, M., European University Association (2020). 2020: the year of European virtual mobility? https://eua.eu/resources/expert-voices/182-2020-the-year-of-european-virtual-mobility.html, accessed in February 2022

[8] ESU, ESN (2021), Bringing the students perspective to the debate on mobility, virtual exchange & blended learning, joint position paper by the European Students' Union and the Erasmus Students Network. https://www.esn.org/news/esu-esn-position-paper-mobility-virtual-exchange-blended-learning, accessed in February 2022

[9] Erasmus+ programme guide (2021). https://erasmus-plus.ec.europa.eu/programme-guide/erasmusplus-programme-guide, accessed in February 2022

[10] Erasmus Charter for Higher Education (2021), https://erasmus-plus.ec.europa.eu/resources-and-tools/erasmus-charter-for-higher-education, accessed in February 2022

[11] Brandenburg, Uwe. (2014). The Erasmus Impact Study. Effects of mobility on the skills and employability of students and the internationalisation of higher education institutions. DOI: 10.2766/75468

[12] European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Brandenburg, U., Berghoff, S., Taboadela, O., The Erasmus impact study : effects of mobility on the skills and employability of students and the internationalisation of higher education institutions, Publications Office, 2017, https://data.europa.eu/doi/10.2766/75468

[13] European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Erasmus+ higher education impact study: final report, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2766/184038

[14] European Commission, Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, Study on the impact of Erasmus+ higher education partnerships and knowledge alliances at

local, national and European levels on key higher education policy priorities : final report, Publications Office, 2019, https://data.europa.eu/doi/10.2766/35865

[15] Laura E. Rumbley, Anna-Malin Sandström, The EAIE Barometer: Internationalisation in Europe (second edition) – "Money matters", Published by The European Association for International Education (EAIE), Copyright © 2019 EAIE, ISBN 978-90-74721-52-3, 2018, https://www.eaie.org/barometer, accessed in May 2022

[16] Nuno Escudeiro, et al. 2020. The ATHENA European University model for Sustainable Education: Mainstreaming good practices for all-inclusive life-long sustainable learning in the digital era. In Eighth International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality (TEEM'20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 552–557. DOI: https://doi.org/10.1145/3434780.3436682

[17] Erasmus+ Programme Guide (2020), https://erasmus-plus.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-09/erasmus_programme_guide_2020_v3_en.pdf, accessed in April 2022

[18] https://education.ec.europa.eu/education-levels/higher-education/european-universities, accessed in February 2022

[19] Henderikx, P., Ubachs, G., European Association of Distance Teaching Universities. (2018). EADTU Mobility matrix, https://eadtu.eu/documents/Publications/VM/2018_-_EADTU_Mobility_Matrix.pdf, accessed in February 2022

[20] Henderikx, P., Ubachs, G., European Association of Distance Teaching Universities. (2019). Innovative Models for Collaboration and Student Mobility in Europe, https://eadtu.eu/documents/Innovative_Models_for_Collaboration_and_Student_Mobility_in_Europe.pdf, accessed in February 2022

[21] What is COIL, http://www.coilconsult.com/what-is-coil-.html, accessed in April 2022

[22] Gokcora, D. (2021). Benefits of Collaborative Online International Learning Projects. Academia Letters. https://doi.org/10.20935/AL202

ARTIGO Nº 22567

ENGENHARIA E CONTROLO ESTATÍSTICO DE QUALIDADE

Neto Pascoal[1(*)], Maria Luísa Rocha[2], António Oliveira[3]

[1] Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Moçambique e Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa, Portugal
[2] Universidade dos Açores, Faculdade de Economia e Gestão – Ponta Delgada, Portugal
[3] Instituto Superior de Administração e Finanças – Luanda, Angola
(*) *Email:* polenepascoal@gmail.com

RESUMO

Este estudo aborda a importância da amostragem de aceitação, das cartas de controlo e da gestão da qualidade total, destacando o papel fundamental do monitoramento contínuo e da metrologia na certificação e competitividade dos produtos. Adicionalmente, sublinha a relevância do ensino do Controlo Estatístico da Qualidade na Engenharia, capacitando os futuros profissionais para a compreensão da variabilidade dos processos e a aplicação de métodos estatísticos que assegurem a eficiência e a fiabilidade na produção. Bens e serviços devem obedecer a especificações e cadernos de encargos para satisfazer os clientes. A variabilidade aleatória, mantida dentro de limites de controlo pré-estabelecidos, é aceitável, mas variações deterministas afastando a produção do valor alvo são um alarme indicando que é necessário proceder a revisão e afinação. A amostragem de aceitação deve ser usada para aquisição de matérias-primas adequadas, e para classificação final dos lotes produzidos com vista a satisfazer os clientes. Para gestão de qualidade total a linha de produção é considerada uma concatenação de tarefas, em que o *output* de cada uma delas é o *input* da seguinte, havendo monitorização automática contínua das mais sensíveis, e inspeções periódicas guiadas por renovamento de outras, eventualmente com produção de cartas de controlo adequadas. A compreensão dos passos e decisões usando gestão de qualidade é essencial em Engenharia, Economia e Gestão, nomeadamente para execução de tarefas de avaliação.

***Palavras-chave**:* controlo de qualidade, cartas de controlo, amostragem de aceitação, gestão de qualidade total de Taguchi, inspeção, processos de renovamento.

INTRODUÇÃO

O Controle Estatístico de Qualidade (CEQ) é essencial para monitorar processos produtivos, garantindo a conformidade de bens e serviços com especificações predefinidas. A variabilidade dos processos pode ser analisada por ferramentas matemáticas e estatísticas, como cartas de controle e amostragem de aceitação. Para que produtos e serviços tenham qualidade que os torne bens de consumo competitivos a sua produção deve obedecer a um projeto que assegure características específicas, sejam elas características físicas, sensoriais ou temporais.

Esse estudo ressalta a importância de ensinar CEQ em cursos de Engenharia, pois induz aos futuros profissionais a compreenderem a variabilidade dos processos e aplicarem métodos estatísticos para garantir a confiabilidade e eficiência da produção.

Por exemplo, na produção industrial de batatas fritas, são exemplo de características físicas o diâmetro das batatas usadas (que assegura que a dimensão das rodelas ou dos palitos é adequada

para o intervalo de variação da boca dos consumidores-alvos), o peso das embalagens; exemplos de características sensoriais o teor de sal e o grau de fritura; e exemplo de característica temporal o prazo de validade.

Note-se que o projeto varia com o produto e consumidores-alvos a que se destina, por exemplo a mesma planta industrial produz batatas fritas às rodelas, lisas ou onduladas, aos palitos, e palha, e cada um destes produtos tem características distintas exigindo a separação de um projeto base comum em subprojectos distintos.

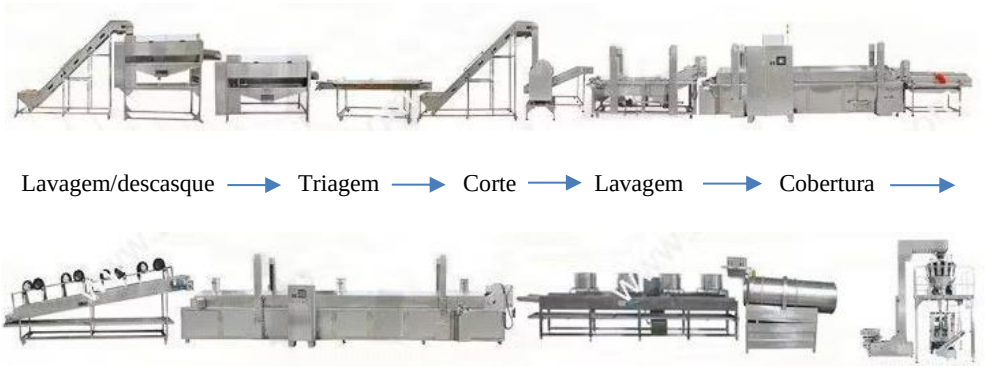


Figura 1: Arrefecimento → Secagem → Fritura → Secagem → Temperos → Embalagem

Na linha de produção intervêm várias componentes eletromecânicas complexas, total ou parcialmente automatizadas e ligadas por passadeiras rolantes ou elevadores, cujas tarefas são:

- lavar e descascar as batatas ou imperfeitamente descascadas;
- triagem, para remoção manual de batatas estragadas;
- cortar, fatiar com espessura entre 1.0mm e 2.0mm;
- lavar para remover amido livre da superfície (porque afetaria a vida útil do óleo de fritura);
- cobertura com água quente entre 60º e 90º durante 2 minutos (para proteger a cor de oxidação);
- arrefecimento com água fria;
- secagem com ar frio;
- fritura de 2 a 3 minutos em óleo a 180ºC;
- secagem e remoção de óleo;
- adição de temperos;
- embalagem

O Controlo Estatístico de Qualidade é essencial para manter produtos e serviços competitivos, em todos os passos da linha de produção. Grande parte do controlo está incorporado no equipamento — por exemplo a temperatura da água na zona de cobertura não deve exceder 90º e a temperatura do óleo de fritura deve estar entre 178º, e 182º, pelo que nessas componentes há termómetros incorporados e produção de gráficos mostrando a flutuação em torno do valor alvo, com linhas marcando os limites de tolerância (*U: upper* e *L: lower*) aceitáveis. Porém, todos os procedimentos automáticos vão-se degradando com o tempo, e o fornecimento de equipamentos deve ter alguma informação sobre os processos de renovamento exigindo revisões periódicas (por exemplo, o rolo de carborindo usado para lixar as cascas das batatas vai acumulando resíduos e desgastando, exigindo lavagem, aumento do tempo da operação de

descasque, e eventual substituição; e o óleo de fritura tem uma duração útil cuja modelação estocástica implica decisões sobre a sua substituição). O custo do controlo de qualidade é de um modo geral exíguo e muito inferior à mais-valia da competitividade e manutenção da satisfação dos clientes.

Anote-se que o controlo de qualidade não se limita à linha de produção, pois há desde logo uma fase de amostragem de aceitação prévia para verificar o tipo e envelhecimento das batatas, que além disso devem ter forma arredondada e regular para descasque por fricção, e a calibração adequada para produzir rodelas ou palitos com as especificações pretendidas; e no final da produção de novo amostragem de aceitação para verificar se o produto está dentro das margens de tolerância que satisfaçam os consumidores (tamanho, tempero, crocância), e fiabilidade, assegurando que o produto mantém as qualidades durante o prazo de validade indicado.

A amostragem de aceitação lida com dados qualitativos, e em geral procura estimar a percentagem ou o total de unidades defeituosas, havendo à partida uma regra para rejeição dos lotes. No que se refere a amostragem de aceitação, é conveniente que os utilizadores tenham elementos para determinar se se deve usar amostragem aleatória simples sem reposição (modelo hipergeométrico). Se um lote contém *N* itens, sendo *D* defeituosos e (*N*-*D*) não defeituosos, e retirar uma amostra de tamanho *n*, a probabilidade de encontrar exatamente *k* itens defeituosos seria:

$$P(X = k) = \frac{\binom{D}{k}\binom{N-D}{n-k}}{\binom{N}{n}}, \quad (1)$$

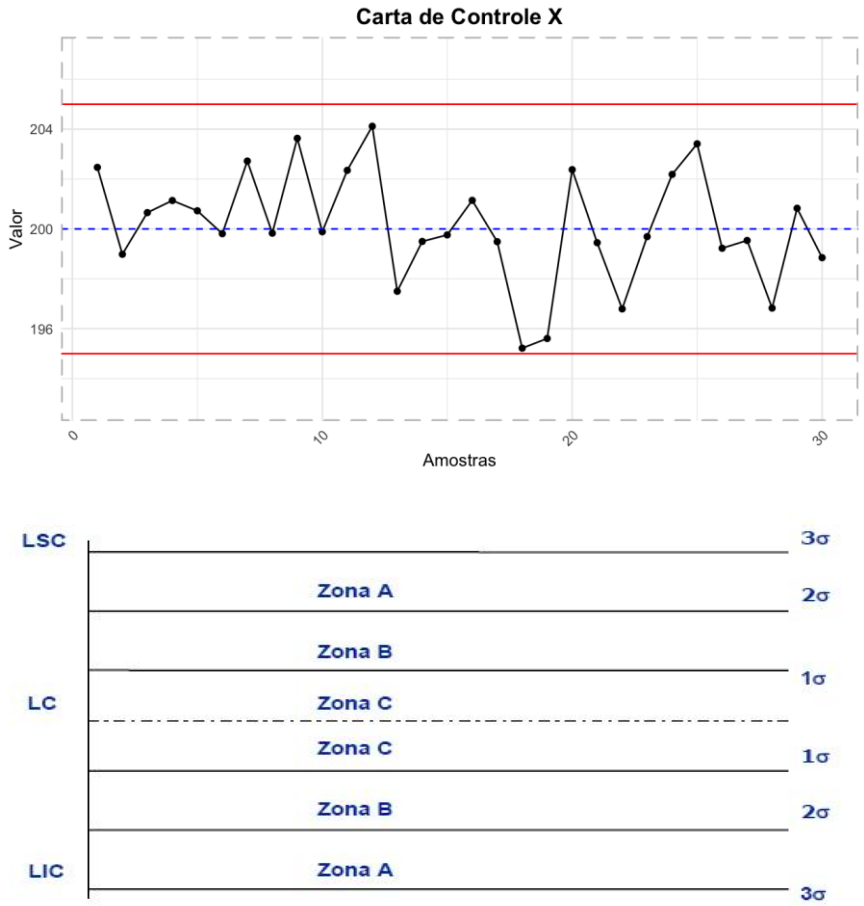
onde: $\binom{a}{b} = \frac{a!}{b!(a-b)!}$ representa um coeficiente binomial. As probabilidades podem ser calculadas para eventos exatos $P(X = k)$, acumuladas até um valor $P(X \leq k)$ ou a partir de um valor $P(X \geq k)$, somando as probabilidades individuais dentro dos limites estalecidos. Ou com reposição (modelo binomial), ou se há razões para usar amostragem sistemática, ou ainda se se deve recorrer a covariáveis e medir uma coisa para estimar outra com ela correlacionada.

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1-p)^{n-k}, \quad (2)$$

onde $p = \frac{D}{N}$ é a proporção de itens defeituosos no lote.

No que se refere a variáveis quantitativas, na maioria dos casos o que está em causa é manter flutuação aceitável em torno de um valor alvo. Quando os fatores predominantes são estatísticas ordinais centrais, em geral admite-se que modelação gaussiana é adequada, devido ao teorema limite central.

Nesta situação a produção de cartas de controlo com uma linha marcando o valor alvo e zonas delimitadas por $\mu \pm \sigma$, $\mu \pm 2\sigma$ e $\mu \pm 3\sigma$ (μ e σ eventualmente estimados por $\bar{x}$ e s), em sintonia com as modernas filosofias "*three sigma and beyond*", e "*fit sigma*", ver *The Council for Six Sigma Certification* (2018) e Basu (2011).



LC: Linha de Controlo; LSC, LIC: Limites Superior e Inferior de Controlo.

Se tomamos amostras de tamanho *n* e calculamos a média amostral $\bar{x}$, a distribuição da média é aproximadamente normal:

$$\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma^2}{n}\right). \tag{3}$$

Os limites de controlo dados por

$$\left\{LSC = \mu + 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad , \quad LIC = \mu - 3\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right\}. \tag{4}$$

Por via de proporções de defeitos em uma amostra, então:

$$\hat{p} = \frac{X}{n} \sim N\left(p, \frac{p(1-p)}{n}\right). \tag{5}$$

Os limites de controle são:

$$\left\{LSC = p + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad , \quad LIC = p - 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}\right\}. \tag{6}$$

Isto permite estabelecer critérios adequados para interrupção, revisão e afinação, por exemplo considerar alarme quando houver cinco observações consecutivas numa zona B, ou três numa zona C, ou uma observação para além do limite superior ou do limite inferior.

Por outro lado, situações há em que são as estatísticas ordinais extremais que devem determinar se o processo está controlado ou não. No exemplo que nos ocupa, se o óleo de fritura exceder limites elevados rapidamente ficará alterado, comprometendo o sabor, e se não estiver suficientemente quente as batatas ficarão empapadas, mal fritas, e será mais difícil remover o óleo previamente a temperá-las. Sobre cartas de controlo para máximos e mínimos, veja-se a secção 5.5.1 de Gomes et al. (2010), ou Amin et al. (1999).

Metrologia e normalização são fundamentais para a certificação de qualidade, e o impacte económico que a gestão de qualidade total (Taguchi et al., 1989) tem na rentabilidade das empresas levam a considerar que são uma componente essencial na formação de economistas, gestores e engenheiros. Gomes et al. (2010) fornecem uma panorâmica facilmente acessível, que poderá ser complementada pelo clássico Montgomery (2019) e a visão moderna de Sarkar (2024), para além das outras obras referidas.

$$\{LSC = \mu + 6\sigma \quad , \qquad LIC = \mu - 6\sigma\}. \tag{7}$$

Este critério reduz drasticamente a probabilidade de defeitos, garantindo um nível de qualidade superior, em cerca de 3,4 defeitos por milhão de oportunidades, de acordo com Basu (2011) e Gomes et al. (2010).

As cartas de controle para extremos (máximos e mínimos) são amplamente utilizadas no monitoramento de processos industriais, apesar de sua menor fiabilidade. Sua sensibilidade a variações aleatórias pode resultar em falsos alarmes ou atrasos na identificação de problemas reais. No entanto, são úteis para situações onde limites extremos afetam criticamente a qualidade do produto. A teoria de valores extremos descreve o comportamento das causas de distribuição de probabilidade (Gomes, 2019). Em situações onde o processo de produção segue uma distribuição normal $N(\mu, \sigma)$, consequentemente, os valores extremos a distribuição de Gumbel.

$$M_n = max(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad \text{e} \quad m_n = min(X_1, X_2, \dots, X_n) \tag{8}$$

Para processos normais com média μ e desvio-padrão σ, os limites de controle para extremos podem ser aproximados por:

$$\{LSC = \mu + k\sigma \quad , \qquad LIC = \mu - k\sigma\} \tag{9}$$

Onde o fator k pode ser ajustado empiricamente com base em valores históricos ou baseado na teoria de valores extremos (Gumbel).

$$k = \frac{X_{max} - \mu}{\sigma} = \frac{\mu - X_{min}}{\sigma} \tag{10}$$

Esse fator ajusta limites de controle conforme a variabilidade observada, permitindo detectar desvios anómalos no processo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Engenharia e o Controle Estatístico de Qualidade são essenciais para assegurar a padronização e a eficiência nos processos produtivos, minimizando defeitos e garantindo a satisfação dos clientes. Métodos como amostragem de aceitação, cartas de controlo e monitorização contínuo são fundamentais para manter a qualidade dentro dos limites aceitáveis.

A adoção de técnicas modernas, como o Six Sigma, contribui significativamente para a otimização da produção e a redução de custos.

Adicionalmente, destaca-se a importância da inclusão do ensino de CEQ nos cursos de Engenharia, uma vez que isso permite aos futuros profissionais compreenderem a variabilidade dos processos e aplicarem métodos estatísticos de forma eficaz, garantindo a fiabilidade e a eficiência da produção. Por outro lado, será oportunidade para chamar a atenção para questões como velocidade de convergência e aproximações assintóticas, nomeadamente indicando que a convergência no teorema limite central é muito rápida, nomeadamente se houver quase simetria da distribuição de base, enquanto a velocidade de convergência no teorema limite extremal é lenta, o que evidentemente diferencia substancialmente a confiança entre usar cartas de controle para médias e para extremos.

É igualmente importante considerar a aplicação de outras técnicas estatísticas além das cartas de valores extremos, como as apresentadas neste estudo, pela sua robustez e precisão. Em síntese, a aplicação rigorosa desses conceitos fortalece a competitividade das empresas e assegura a sustentabilidade dos processos industriais, promovendo a inovação e a melhoria contínua.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do projeto UID/00006/2025 e UI/BD/154312/2022 (URL: https://doi.org/10.54499/UIDB/00006/2020), ao Centro de Estatística e Aplicações da Universidade de Lisboa (CEAUL), bem como ao CEEAplA - Centro de Estudos de Economia Aplicada do Atlântico, Ponta Delgada.

REFERÊNCIAS

Ahmad, S. Curved finite elements in the analysis of solid, shell and plate structures, Ph.D. Thesis, University College of Swansea, UK, 1969.

Amin, R.W., H. Wolff, W. Besenfelder, R. Jr. Baxley, EWMA control charts for the smallest and largest observations. J. Quality Technology 31, 189-206, 1999.

Basu, R. Fit Sigma: A Lean Approach to Building Sustainable Quality Beyond Six Sigma, John Wiley and Sons, 2011.

Gomes, M. I., Figueiredo, F., Barão, M. I. Controlo Estatístico de Qualidade, Sociedade Portuguesa de Estatística, 2ª ed., 2010. Disponível em: https://www.spestatistica.pt/storage/app/uploads/public/600/480/d4d/600480d4d2c65185425935.pdf.

Gomes, M. I., Henriques-Rodrigues, L., & Pestana, D., Estimação de um índice de valores extremos positivo através de médias generalizadas e em ambiente de não-regularidade. Estatística: Desafios Transversais à Ciência de Dados - Atas do XXIV Congresso da Sociedade Portuguesa de Estatística, 213-226, 2021.

Gomes, M. I., Estatística e Sociedade: Controlo da Qualidade e Extremos. *ResearchGate*. 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.33301.17125.

Montgomery, D.C., Introduction to Statistical Quality Control. John Wiley and Sons, 2019.

Sarkar, S., The Essence of Quality: Improve Operational Excellence Through SPC, Kindle Edition, 2024.

Taguchi, G., Elsayed, E., Hsiang, T. Quality Engineering in Production Systems. McGraw-Hill. 1989.

The Council for Six Sigma Certification. Six Sigma: A Complete Step-by-Step Guide: A Complete Training & Reference Guide for White Belts, Yellow Belts, Green Belts, and Black Belts, The Council for Six Sigma Certification, 2018.

ARTIGO Nº 23464

ENERGIA GEOTÉRMICA. UMA UNIDADE CURRICULAR EM FUNCIONAMENTO NA UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Maria Rosa Duque[1(*)]

[1]Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade de Évora e CREATE- Évora, Portugal
[(*)] *Email:* mrad@uevora.pt

RESUMO

O estudo da energia geotérmica raramente é oferecido aos alunos de licenciatura, aparecendo geralmente em cursos de mestrado, sob a forma de módulos integrados numa UC de âmbito mais geral, integrando geralmente outros tipos de energia. Neste caso temos uma UC semestral em que o seu objetivo consiste em, para além de explorar os vários tipos de utilização dos fluidos geotérmicos, nos pormos na situação de querermos saber o que fazer numa região onde existem informações superficiais sobre a sua existência. São estudados os principais métodos de prospeção destes reservatórios (secos ou com água) de modo a saber interpretar os resultados obtidos (por outras equipas especializadas). Depois é necessário saber o volume do reservatório e de fluido bem como se faz a recarga e o tempo necessário para que ela aconteça. Não se pode esgotar o reservatório. São estudadas aplicações que vão desde a utilização direta dos fluidos geotérmicos até ao estudo dos diferentes tipos de centrais geotérmicas para produção de energia elétrica. A utilização de bombas geotérmicas para climatização e edifícios é outro assunto estudado. Terminamos analisando os impactos ambientais relacionados com a fase de perfuração e de funcionamento da aplicação feita.

***Palavras-chave**:* energia geotérmica, energias renováveis, ensino semestral, prospeção de recursos, aplicações diretas.

INTRODUÇÃO

O plano de estudos da licenciatura em Engenharia de Energias Renováveis da Universidade de Évora inclui, no 3º ano, 6º semestre do plano de estudos, uma UC optativa semestral com o título "Energia Geotérmica", funcionando em regime presencial, com 6 ECTS, 30 horas de aulas teóricas e 30 horas de atividades práticas. No total prevê-se que os alunos necessitem de 156 horas de estudo individual+ aulas para obterem sucesso no final do semestre.

A primeira novidade associada a esta UC reside no facto de a maioria dos alunos desconhecerem o que é a energia geotérmica. Os poucos que dela ouviram falar associam-na às centrais elétricas existentes no Arquipélago dos Açores, região privilegiada do Globo Terrestre para este tipo de fenómenos, não existindo no território continental qualquer manifestação deste tipo de energia.

O primeiro objetivo da UC é explicar aos alunos que esta ideia está errada e porquê. A existência de vulcões em atividade, que têm sido notícia por parte da comunicação social, tem servido para explicar o que não é a energia geotérmica.

Estudamos energia térmica proveniente do interior para o exterior do globo terrestre, mas o processo é feito de forma controlada e tendo sempre em mente a sustentabilidade do recurso e a segurança das populações.

Existem variadas regiões do Globo terrestre onde se fazem sentir manifestações superficiais da energia proveniente do seu interior. Elas podem passar quase despercebidas, exigindo atenção a quem caminha na sua vizinhança (Figura 1), ou podem ser aproveitadas para fins turísticos sendo convenientemente assinaladas pelos humanos (Figura 2).



Fig. 1. Manifestações superficiais de energia geotérmica que podem, por vezes, parecer sinais de incêndio.



Desde tempos remotos (Época de ocupação Romana em Portugal) as águas das nascentes termais têm sido utilizadas, em Portugal, para banhos e fins medicinais. Nos Açores o vapor existente no solo foi utilizado para cozinhar o célebre "Cozido das furnas" onde os ingredientes deste prato eram cozinhados durante horas em recipientes enterrados no solo. Atualmente ainda são utilizadas as águas das furnas para cozer o milho encerrado em sacos devidamente fechados (Figura 3).



Fig. 3. Utilização direta dos fluidos geotérmicos para cozer o milho dentro dos sacos (à direita na foto)

Os exemplos apresentados são reais, mas eles não esgotam, de modo algum, o assunto que se pretende estudar. Basicamente, temos fontes térmicas no interior da Terra, e queremos ter acesso a elas e utilizá-las à superfície. Pensando deste modo vemos, facilmente, que o nosso trabalho consiste em:

-Descobrir onde estão essas reservas para as podermos estudar.

-Sabermos se temos um fluido (água) que possa ser utilizado para transportar a energia térmica para a superfície.

-Depois de termos a energia à superfície, devemos saber como a poderemos utilizar, tendo em conta as características da reserva e as necessidades das populações que irão usufruir dela.

PROSPEÇÃO E DESCOBERTA DA RESERVA

Esta é a parte da UC mais exigente para os alunos. Numa UC semestral é impossível estudarmos detalhadamente os vários métodos de prospeção (geoquímica e geofísica), técnicas e processamentos de dados a ser utilizados. O objetivo consiste em que os alunos tomem conhecimento dos vários métodos e técnicas existentes e das situações em que devem ser utilizados, tendo em vista a solicitação dos trabalhos necessários a equipas especializadas, para que os resultados obtidos possam ser analisados e integrados de modo a chegar-se a uma solução.

A descoberta da profundidade e do local do topo do reservatório é um dado importante, mas ele não é suficiente para o nosso estudo. Precisamos conhecer as condições de temperatura e pressão a que se encontra o fluido no reservatório e o volume de fluido envolvido. Só com estes dados poderemos obter uma estimativa do valor da energia térmica associada ao reservatório.

A RECARGA DO RESERVATÓRIO

Este é um ponto extremamente importante para quem queira fazer uma aplicação/investimento desta natureza. O fluido utilizado para o transporte da energia térmica é, geralmente, água. Os

trabalhos de pesquisa/prospeção dos reservatórios são caros exigindo investidores. O prazo de durabilidade dos materiais utilizados nas aplicações geotérmicas é de 20 a 25 anos. Quem investe exige que, no mínimo, tenhamos um prazo equivalente ao apresentado, sem esgotar a energia nem ficarmos sem fluido para a transportar. Tudo isto deverá ser feito tendo em conta as populações que vivem na região /regiões que poderão servir para a recarga do aquífero. Temos aqui um problema de sustentabilidade do recurso "água e fonte térmica" que vai exigir estudos interdisciplinares (clima, infiltração de água no solo, existência e localização de falhas, etc.).

Para que não se pense que se trata de um mero problema académico, e que não acontece na prática, é estudado um exemplo real de utilização de um recurso em quantidades superiores ao que podia ser fornecido pelo reservatório, com quebra de fornecimento de energia, e modo como foi evitado o colapso, estando o fornecimento estável (Glassley, 2010).

UTILIZAÇÃO DA ENERGIA À SUPERFÍCIE

Como já foi dito anteriormente a utilização e aproveitamento do recurso geotérmico depende das características da reserva e das necessidades das populações. Existem alguns povos/ países onde o principal obstáculo à utilização de reservas geotérmicas em locais onde são conhecidas é de natureza religiosa. Devido às temperaturas a que ficam submetidas e às profundidades atingidas, as águas geotérmicas têm dissolvidas diferentes substâncias, que fazem com que tenham sido utilizadas ao longo da História Humana como elementos que "curam" determinados tipos de doenças. Os locais onde estas águas emergem são considerados "locais santos", solo que "não pode ser pisado" onde só alguns elementos devidamente escolhidos poderão chegar. Em Portugal não temos este problema, no entanto, habituámo-nos a "ver" as nossas nascentes geotérmicas associadas a locais com termas. A sua utilização é feita apenas nas termas e, por vezes, nos hotéis associados à gestão e administração das clínicas, sendo grande parte do fluido utilizado nos tratamentos lançado diretamente nos esgotos das localidades onde funcionam.

Esta situação tem vindo, lentamente, a ser alterada, tendo a Câmara de Chaves (localidade onde a temperatura da água da nascente tem o valor mais elevado) anunciado recentemente a abertura de uma piscina ao ar livre com água de origem geotérmica. Trata-se de uma utilização puramente para lazer, não ligada a tratamentos termais da região.

Recentemente foi feito um estudo de avaliação do potencial de exploração de recursos hidrominerais e geotérmicos com base nas nascentes termais existentes em Portugal, com verbas do Fundo de Apoio à inovação em colaboração com a Direção Geral de Energia e Geologia. Trata-se de um trabalho importante pois ele engloba os recursos conhecidos existentes, relacionados com nascentes termais, bem como o que está a ser utilizado, e projetos a curto prazo.

AS PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SOLO-BOMBAS GEOTÉRMICAS

Sabemos que a temperatura à superfície da Terra sofre variações ao longo do dia e ao longo do ano. Sendo o solo um material essencialmente no estado sólido, essas perturbações vão-se propagar em profundidade, verificando-se que os picos e mínimos medidos à superfície sofrem um atraso temporal que aumenta com a profundidade. A intensidade destes picos vai sofrendo atenuação em profundidade até ser atingida a profundidade onde já não se verificam as

perturbações medidas à superfície. Este efeito vai depender do clima da região em estudo, mas também das propriedades térmicas do solo.

As bombas geotérmicas são dispositivos que utilizam água retirada do solo para aquecimento no Inverno e refrigeração no verão. Estamos a falar de dispositivos que podem ser utilizados em qualquer lugar onde seja possível retirar do solo a água necessária para o seu funcionamento, que sendo de pequenas dimensões podem ser armazenadas dentro do edifício climatizado ou num anexo (Duque, 2016).

PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE

Trata-se, sem dúvida, da utilização mais divulgada da energia geotérmica. Os diversos tipos de centrais e de fluidos geotérmicos são estudados recorrendo a conhecimentos adquiridos em unidades curriculares frequentadas previamente pelos alunos. São apresentados alguns problemas que podem surgir bem como a sua resolução. São ainda apresentadas as vantagens e inconvenientes da utilização deste recurso para produção de eletricidade utilizando exemplos conhecidos de centrais em funcionamento.

CONCLUSÕES

A UC descrita pretende atingir vários objetivos que se vão atingindo ao longo do semestre sendo o primeiro o da informação/ divulgação acerca de uma forma de energia disponível para ser utilizada, mas que ninguém reconhece como tal. Ao falarmos de energia é comum pensar-se imediatamente em eletricidade esquecendo que existem outras utilizações que podem funcionar simplesmente com água quente ou vapor de água.

Um outro objetivo, muito importante nos tempos atuais, reside na utilização da palavra **sustentabilidade,** que aqui deixa de ser um conceito teórico, passando a ser aplicado em exemplos concretos, e levando os alunos à perceção da necessidade de trabalho de grupo, feito por elementos com diferentes especialidades, trabalhando todos para um objetivo comum.

Um outro aspeto importante reside no facto de nos apercebermos que o problema energético pode ser visto sob diferentes formas, e verificarmos que, muitas vezes, o problema reside na gestão/utilização dos recursos e não na sua existência.

REFERÊNCIAS

Direção Geral de Energia e Geologia. Avaliação do potencial de exploração dos recursos hidrominerais e geotérmicos e da sua utilização para temperaturas superiores a 25^{o}C, SYNEGE, pp192.

Duque, M.R., Some comments about the use of GHP in Alentejo (Portugal). Proceedings of EGEC 2016 (European Geothermal Congress), Strasburgh, France, September 2016, T-O-275, 4 pages, 2016.

Glassley, W. E.,Geothermal Energy . Renewable Energy and the Environment. CRC Press. Taylor 5 Francis Group, United States of America, 2010. 978-1-4200-75700.

PAPER Nr.23501

PROMOTION OF ECOLOGICAL RESTORATION TECHNIQUES THROUGH AN EDUCATIONAL PLATFORM. ADDITIVE MANUFACTURING OF ARTIFICIAL REEFS BASED ON WASTEMATERIALS.

Ilse Valenzuela Matus[1], Joaquim Góis[2], Paulo Vaz-Pires[3], Jorge Lino Alves[4]

[1]Faculty of Engineering and Faculty of Sciences, University of Porto, Portugal;
[2]CERENA, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal;
[3]ICBAS, University of Porto, Portugal and CIIMAR, University of Porto, Portugal;
[4]INEGI, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal
(*) *E-mail:* ilse-va@hotmail.com

ABSTRACT

This work aims to investigate the application of artificial reefs as an emerging technological tool for ecological restoration. The initiative is designed to develop an interdisciplinary curriculum and e-learning platform to promote marine conservation, while enhancing the training of Erasmus students and professionals. This aligns with the EU Green Deal's objectives for sustainable ecosystems and facilitates knowledge exchange and skill development across Europe. Funded by Erasmus+, the project analyzes both European and national data on reef habitats, restoration practices, and the deployment of artificial reefs. In addition, a series of face-to-face training programs will be organized, enabling participant mobility across Portugal, Spain, and Croatia. The project also involves the development and implementation of an artificial reef through extrusion-based additive manufacturing, utilizing waste-derived materials such as mussel shells. The scientific findings from this process will be integrated into the curriculum, providing students and professionals with access to multidisciplinary research and practical knowledge on artificial reefs and their role in ecological restoration.

Keywords: Artificial reef, marine restoration techniques, e-learning platform, additive manufacturing.

INTRODUÇÃO

Restoring coral reefs and enhancing marine biodiversity are among the most urgent global environmental challenges. Coral reefs, renowned for their extraordinary biodiversity, are also among the most threatened ecosystems on the planet. These ecosystems are currently under significant stress, with coral bleaching identified as one of the primary drivers of their degradation (Wangpraseurt et al., 2022).

Habitat restoration is the process of assisting the recovery of ecosystems that have been degraded, damaged, or destroyed (McAfee et al., 2022). It involves a wide range of ecological, technical, and socio-economic actions aimed at re-establishing the structure, function, and dynamics of natural habitats (Edwards and Cerullo, 2024). Restoration efforts are guided by ecological principles and aim to enhance biodiversity, ecosystem resilience, and the provision of ecosystem services.

In the context of the European Union's environmental policies, habitat restoration plays a pivotal role in addressing biodiversity loss and meeting the targets set out in the EU Biodiversity Strategy for 2030 (European Comission, 2025). Restoring ecosystems, particularly in areas protected under the Natura 2000 network (European Environment Agency, 2023), is considered essential for achieving sustainable environmental management and mitigating the effects of climate change.

Artificial substrates have emerged as a practical and cost-effective method to restore marine ecosystems. They serve multiple purposes, including reef restoration, the conservation of endangered species, and the facilitation of marine research (Barton et al., 2015). A wide range of materials has been used for coral propagation, such as calcium carbonate, naturally occurring in reef systems, modified with additives like sands, glass, and alkaline earth carbonates (Levenstein et al., 2022). Other substrates include polyvinyl chloride, terracotta (Berman et al., 2023; E. V. Kennedy et al., 2017; Levy et al., 2023; Mundy, 2000), limestone (Levenstein et al., 2022; Matus et al., 2021), porcelain (E. Kennedy et al., 2017), Portland cement, fiberglass, and flax-based polylactic acid (Leonard et al., 2022).

Additive manufacturing (AM) represents a transformative and rapidly evolving technology in this domain. It enables the fabrication of complex, multifunctional, bio-inspired structures suitable for artificial reef construction, which has been increasingly recognized as an effective marine restoration strategy (Siddique et al., 2022). However, despite the growing availability of materials for AM applications, the understanding remains limited regarding how their physical and chemical properties influence coral larval settlement, recruitment success, and the broader benthic community dynamics.

This knowledge gap underscores the relevance of further research into material selection and design strategies for artificial reefs. In addition to its ecological importance, artificial reef technology holds promises for supporting circular economy principles, enhancing marine ecosystem recovery, and serving as a foundation for interdisciplinary education and stakeholder engagement.

The RestReef Project addresses this critical need by developing an innovative educational platform focused on artificial reef-based marine restoration, specifically targeting Habitat 1170. The platform integrates both theoretical and hands-on content, including cultural exchange, diving instruction, and a certified course. Its modular curriculum spans diverse topics such as reef ecology, artificial reef systems, marine restoration techniques, diving skills, and underwater photography, thereby promoting knowledge dissemination, awareness, and active involvement in ocean conservation.

ARTIFICIAL REEFS AND RESTREEF CONTEXT

The RestReef initiative was developed within the framework of an Erasmus+ project funded by the European Union, involving a transnational consortium comprising institutions from Portugal, Spain, and Croatia. The project aims to advance marine habitat restoration through the creation of a multidisciplinary educational platform focused on artificial reef-based techniques. To conduct the scientific survey on existing artificial reef developments, the following identification categories were defined based on their shape, structure and purposes they serve (Figure 1).

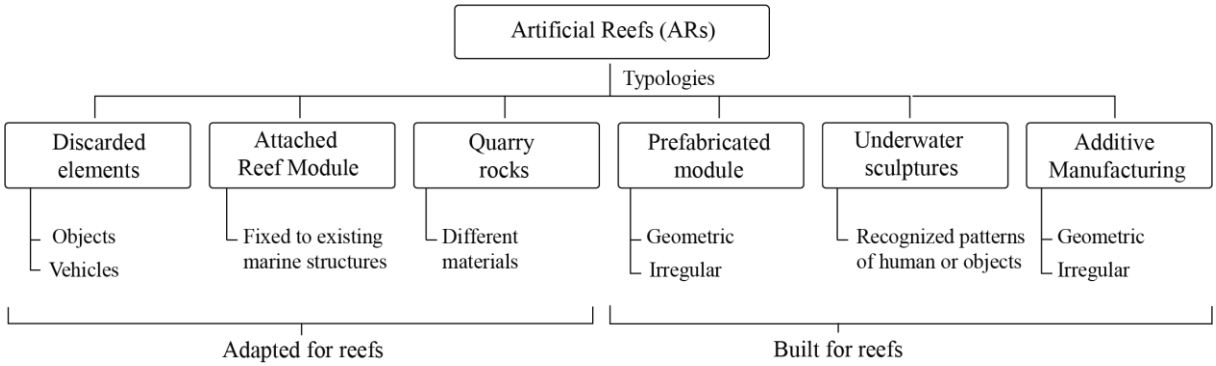


Figure 1. Artificial Reef classified in typologies regarding its morphology, purpose and manufacturing technique (Matus et al., 2024).

a) Discarded elements: Historically, discarded objects have been widely used as artificial reefs, particularly those that were originally intended for other purposes but were accidentally or intentionally disposed of in marine environments. These items, which often lack regulation or oversight, were sometimes released into the sea without fully understanding their ecological implications or the types of marine species they might support. Examples of such discarded elements include shipwrecks, car tires, military tanks and armoured vehicles, and subway cars, among others (Hylkema et al., 2021). Additionally, structures that have sunk accidentally also fall into this category.

The primary advantage of using these objects as artificial reefs is that they eliminate the need for custom fabrication while unintentionally promoting biodiversity. However, these structures typically do not foster the development of microhabitats, may contain materials that are harmful or corrosive to certain marine species, and are not always conducive to enhancing marine populations. Moreover, they are often introduced into environments where they do not naturally occur, potentially disrupting the ecological balance of the habitat.

b) Attached reef module: Attached Artificial Reefs are modular reef structures designed to be fixed to existing marine infrastructure, such as offshore wind farms, breakwaters, and floating platforms (Degraer et al., 2020; Muriel, 2023; Werner et al., 2024). Made from various materials and technologies, including cement casting, prefabricated modules, and metal frameworks, these reefs leverage pre-installed marine structures to enhance biodiversity and promote marine life settlement. By integrating artificial reefs with operational structures, this approach optimizes space and resources, contributing to ecosystem restoration and sustainable marine development.

c) Quarry rocks: Among the various materials used in their construction, quarry rocks have emerged as a particularly effective and sustainable option. These rocks, often repurposed from construction or mining operations, provide a durable and stable substrate for marine organisms to colonize (Sturges and Claisse, 2024; Walker et al., 2002) . Their natural texture, weight, and

irregular shape closely mimic the characteristics of natural reef systems, making them ideal for fostering ecological growth. This approach not only supports marine habitat restoration but also offers an environmentally responsible method for utilizing excess or waste rock materials. As interest in marine conservation and coastal resilience continues to grow, quarry rock-based artificial reefs present a promising solution for balancing ecological needs with human activity.

d) Prefabricated modules: They are engineered structures designed with geometric or organic morphologies, developed either as standalone units or as interconnected assemblies. These modules are primarily used for large-scale artificial reef projects due to their cost-effectiveness, ease of production, and adaptability to various marine environments. Most of these structures are manufactured using cement-based materials, as cement provides durability, stability, and compatibility with marine ecosystems (Kizhakudan et al., 2023; Norris et al., 2025). The predominant fabrication method is mould casting, which allows for efficient mass production at a relatively low cost compared to more sophisticated technologies such as 3D printing. While additive manufacturing offers greater precision and customization, its high production cost limits its widespread application in large-scale reef restoration projects.

Prefabricated modules can function independently or be grouped together to form extensive reef systems, enhancing habitat complexity and biodiversity. Their shapes commonly include cubes, pyramids, and triangular prisms, which offer stable frameworks for colonization by marine organisms. Additionally, more intricate organic forms are developed to increase surface area for sessile species attachment while providing shelter for fish and invertebrates. These modular structures play a crucial role in artificial reef deployment by mimicking natural reef features, improving water flow dynamics, and creating diverse microhabitats suited to a variety of marine species.

e) Underwater sculptures: This typology blends artistic expression with ecological and educational objectives. These structures, often designed by renowned artists, are intentionally placed in marine environments to foster biodiversity, support scientific research, and promote ocean conservation awareness. Their artistic and narrative significance transforms them into submerged cultural landmarks, drawing public interest and engaging communities in marine preservation efforts (Neptune Memorial, 2007; Smith et al., 2021).

A primary function of these artificial reefs is to attract subaquatic tourism by offering immersive underwater experiences accessible through scuba diving and snorkelling. Positioned in designated Marine Protected Areas (MPAs) or controlled dive sites, these installations create alternative attractions that help divert diving pressure away from fragile natural reef ecosystems. This strategic approach aids in the conservation of existing reefs while simultaneously generating economic benefits for local communities through subaquatic tourism.

Beyond their aesthetic appeal, underwater sculptures are designed to enhance marine biodiversity by providing substrate for coral settlement and shelter for marine organisms. Constructed mainly of cement-based materials these sculptures encourage the colonisation of corals, sponges, and other benthic species. Over time, they evolve into fully integrated reef structures, contributing to habitat restoration and ecosystem resilience.

Notable examples of underwater sculpture installations, include the Museum of Underwater Art (MOUA) in Australia, which features thought-provoking pieces aimed at raising awareness about reef conservation, and Museo Atlántico in Spain’s Canary Islands (Lanzarote), the first underwater art museum in Europe, designed to highlight the impact of climate change. Another significant example is the Neptune Memorial Reef in Florida, an ARs doubling as an underwater cemetery, where cremated remains are incorporated into the structure, creating a

lasting tribute while supporting marine life. By combining artistic vision with ecological functionality and technology process, underwater sculptures not only serve as thriving artificial reefs but also act as powerful tools for marine education, scientific research, and sustainable tourism development.

f) Additive Manufacturing: The advancement of new technologies, such as AM, commonly known as 3D printing, has introduced new possibilities for the design and fabrication of ARs. Unlike traditional methods such as mould casting or repurposing discarded materials, AM enables the precise creation of complex structures that closely replicate natural reef formations. This technology enhances habitat suitability for marine organisms while optimising material use and structural efficiency.

AM allows to produce modular reef units that can be customised, expanded, and reconfigured according to site-specific ecological requirements. Emerging applications of AM technology include hybrid reef systems that integrate sustainable materials, such as crushed coral, calcium carbonate, or sand, into the 3D printing mortar material (Albalawi et al., 2021; Gutierrez-Heredia et al., 2018; Levy et al., 2023; Wangpraseurt et al., 2022). This approach ensures greater compatibility with marine ecosystems while accelerating bio-colonisation. Hybrid reefs can also be used to reinforce existing degraded reefs, stabilizing their structure and promoting natural regrowth.

The application of AM in ARs construction represents a significant technological advancement in marine habitat restoration. While challenges related to cost and scalability remain, AM-designed reefs offer unparalleled precision in replicating natural reef structures, enhancing biodiversity, and supporting long-term conservation efforts. As the technology continues to develop, its integration with large-scale reef restoration initiatives is expected to become more widespread, contributing to sustainable and ecologically effective marine ecosystem rehabilitation.

Across these four categories, there is a clear trend driven by advancements in technology and the emergence of new regulations governing the deployment of artificial structures in marine environments. In the category of discarded objects and vehicles, the initial intent was to repurpose structures that were not originally designed as artificial reefs or to foster marine life. These artificially *adapted reefs*, which were once common, have become less prevalent due to stricter environmental regulations. They were often deployed without a thorough understanding of their long-term ecological impact, and many contained materials that were not suitable for marine habitats.

Over time, a greater awareness of sustainability and environmental responsibility has led to the development of more purpose-built artificial reef structures. Prefabricated modular reefs, underwater sculptures, and reefs manufactured using AM technologies have emerged as more effective and ecologically responsible alternatives. These modern approaches prioritize scientific design, material suitability, and ecological functionality, ensuring that artificial reefs not only serve as marine restoration sites but also integrate seamlessly with their surrounding ecosystems.

As regulations continue to evolve, future ARs projects are expected to increasingly align with sustainability principles, favouring non-toxic, durable, and ecologically beneficial materials. This shift represents a significant improvement over past practices, ensuring that artificial reefs contribute meaningfully to marine habitat restoration, biodiversity enhancement, and long-term ecosystem stability.

Based on an in-depth review of various artificial reefs produced and implemented in different regions worldwide, comparative analyses were conducted to evaluate the data collected and identify potential opportunities for replicating the RestReef project in diverse environmental and socio-technical contexts.

CONSORTIUM AND PREVIOUS KNOWLEDGE

The consortium includes both academic and private-sector partners: in Portugal, the University of Porto (a public research institution) and JustDive (a company specialized in scientific and professional diving); in Spain, the Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales (CTM) and Rivemar Dive Resort, S.L., a professional diving company; and in Croatia, the University of Dubrovnik (UNIDU), a public university with expertise in marine sciences. This diverse partnership combines scientific, technical, and pedagogical knowledge to support the development and implementation of an innovative, practice-oriented learning program.

The scientific team involved in the project, possesses prior expertise in coral propagation techniques, habitat restoration, scientific diving, and the fabrication of artificial structures to enhance marine species colonization. In previous studies (Figure 2), various substrates were tested using construction-derived waste materials, including fly ash, crushed brick powder, silica fume, rice husk ash, fossil coral skeletons, and different types of cement (Valenzuela Matus et al., 2024). Two coral larval settlement techniques, asexual and sexual propagation were experimentally evaluated. A series of coral propagation substrates were deployed at the Fragário do Norte aquaculture company to assess coral settlement preferences for different surface textures and chemical compositions (Matus et al., 2021). The biocompatibility of materials and their influence on seawater pH were also analyzed to identify more sustainable and non-toxic formulations. Both extrusion-based 3D printing and silicone mold casting techniques were tested. Experimental trials were conducted in controlled aquarium settings as well as under real-world marine conditions.

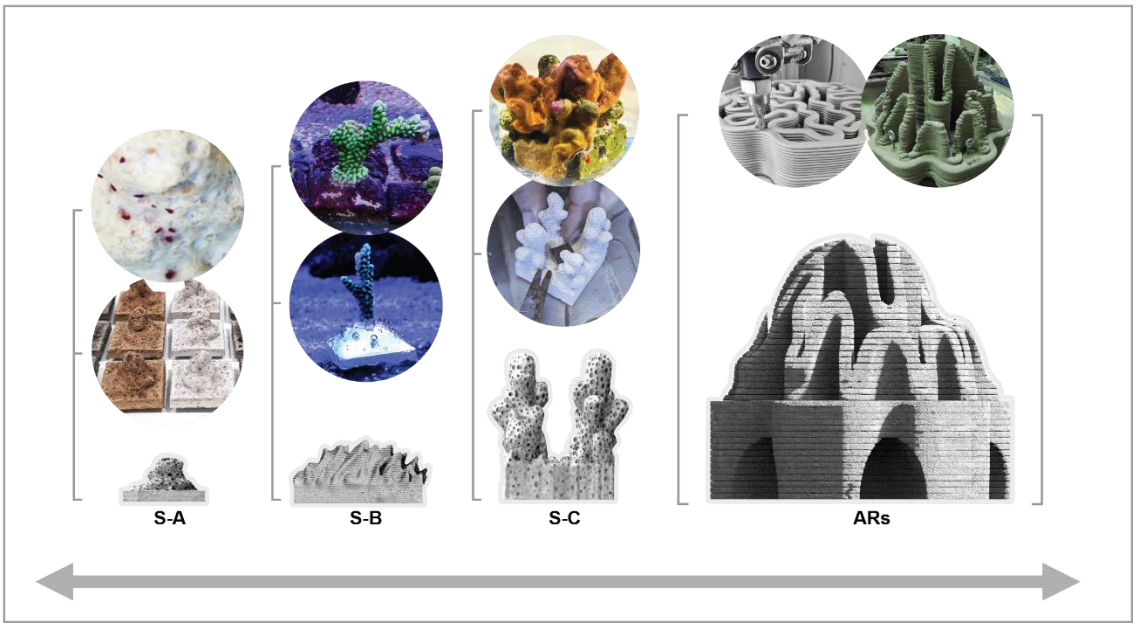


Figure 2. Experimental research of different substrates and artificial reefs developed in previous studies to assess the colonization preferences of marine species.

EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC OBJECTIVES

The RestReef platform aims to collect and compare national and European-level data on natural and artificial reef habitats and restoration methodologies; to design and implement a hybrid learning program that promotes face-to-face engagement and international student mobility; and to consolidate and disseminate interdisciplinary knowledge on artificial reef technologies, including sustainable materials and additive manufacturing techniques. Additionally, the project seeks to develop a transferable curriculum that can be integrated into the academic offerings of higher education institutions, supporting marine conservation, restoration training, and the adoption of innovative practices across educational and professional contexts.

CURRICULAR ANALYSIS AND CONTENT DEVELOPMENT

To define the structure and content of the RestReef e-learning platform, a comprehensive survey of existing academic curricula was conducted across the three partner countries. This included the identification of undergraduate, master's, and doctoral-level programmes with content related to marine restoration, artificial reef systems, marine ecology, and habitat management (Figure 3). In addition, both public and private institutions with relevant expertise were mapped and consulted.

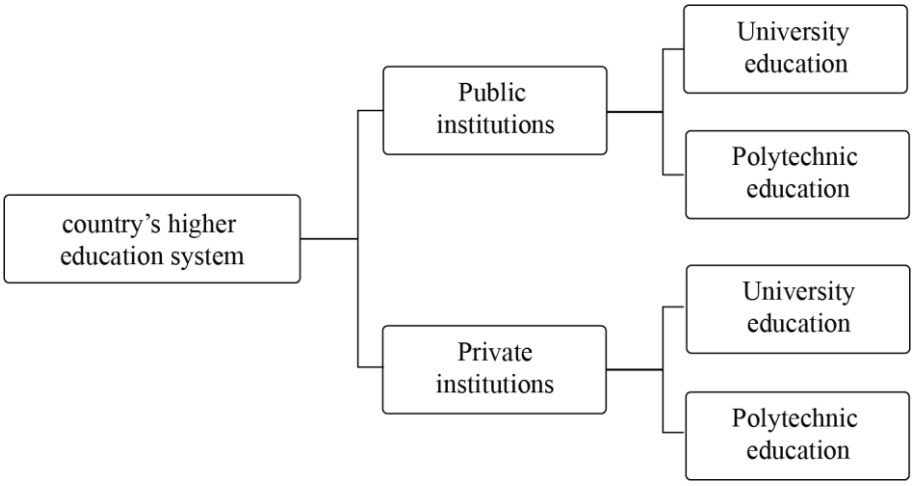


Figure 3. Diagram of the higher education system studied in Portugal, Spain and Croatia.

This preliminary curricular and institutional review established a solid foundation for a subsequent literature review, which informed the selection of key topics to be included in the educational platform. This phase focuses on translating scientific and technical findings into actionable restoration plans. It involves evaluating alternative approaches, selecting suitable materials and techniques (e.g., substrate stabilization, species reintroduction, artificial reef design), and planning the implementation and monitoring process. It also includes the integration of stakeholder perspectives and socio-economic considerations to ensure long-term sustainability.

Higher education institutions play a critical role in advancing knowledge and developing skills in habitat restoration. Universities and research centres are not only hubs for innovation and scientific exploration but also key actors in training the next generation of professionals who will implement and lead restoration efforts across different ecosystems.

In recent years, the integration of habitat restoration into academic curricula has gained momentum, particularly in environmental science, biology, ecology, marine science, and landscape management programs. These educational pathways often include both theoretical

foundations and practical components such as fieldwork, laboratory analysis, environmental modelling, and applied restoration projects. In some programs, interdisciplinary approaches are promoted, combining natural and social sciences to address ecological restoration from a holistic perspective.

Moreover, higher education plays a vital role in fostering research and innovation in ecological restoration, including the development of new methodologies, monitoring technologies, and nature-based solutions. In marine and coastal contexts, universities have increasingly contributed to the design and evaluation of restoration strategies involving artificial reefs, seagrass transplantation, and benthic habitat enhancement, aligning their efforts with European environmental directives and international sustainability frameworks.

Particularly relevant to this study are those academic programs that address habitat restoration in Natura 2000 sites, where conservation priorities require specialised knowledge of protected ecosystems, European policy frameworks, and restoration techniques suited to sensitive and complex habitats. The presence of such content in curricula not only enriches students' technical expertise but also strengthens their capacity to contribute to biodiversity conservation goals at both local and European levels.

Through this study, specific higher education programs with a focus on habitat restoration have been identified in the three countries. These programs serve as examples of how academic education can contribute to ecological restoration and form the backbone of capacity-building initiatives within the scope of the project.

COURSE STRUCTURE AND PARTICIPANT SELECTION

The course is designed as a blended-learning, multidisciplinary program that integrates theoretical instruction with practical fieldwork, including certified scientific diving training. The course promotes academic and cultural exchange, offering formal certification to participants upon successful completion. Approximately 6–8 students from each partner country (Portugal, Spain, and Croatia) will be selected based on academic or professional involvement in fields related to marine restoration, marine biology, diving sciences, or habitat conservation. A minimum diving certification of P1 (One Star Diver), which allows autonomous diving to 20 meters, or P2 (Two Star Diver), which extends diving depth and includes rescue training and advanced navigation, is required for participation. These criteria ensure that students are adequately prepared to engage with both the scientific and technical components of the program.

DEVELOPMENT OF THE E-LEARNING PLATFORM

The e-learning platform is structured around five core thematic modules designed to provide comprehensive, applied knowledge in marine restoration using artificial reefs. These modules include: the study of natural reef habitats, with emphasis on Habitat 1170 as defined by the EU Habitats Directive; the ecological role and functional design of artificial reef ecosystems; current techniques and best practices in marine restoration, including innovative materials and technologies such as 3D printing; theoretical and practical instruction in scientific diving aligned with P1 and P2 international certification standards; and underwater photography for documentation, monitoring, and communication of restoration activities. Together, these modules offer an integrated and multidisciplinary educational approach tailored to students and professionals involved in marine conservation.

ARTIFICIAL REEF DEVELOPMENT THROUGH ADDITIVE MANUFACTURING

Based on the scientific information gathered, the Portuguese consortium decided to design and manufacture a large-scale artificial reef to be deployed along the Portuguese coast, with the aim of assessing its ecological impact and capacity to promote marine organism colonization (Figure 4). The structure will remain submerged for at least one year prior to the start of the practical phase of the Erasmus+ project, ensuring that students visiting Portugal will be able to conduct dives at the deployment site and apply the theoretical and practical knowledge acquired throughout the course.

The artificial reef was fabricated using cement, specifically the Weber 160-1 formulation developed by Saint-Gobain, to enable testing the influence of the morphology and integrated habitat complexity on marine colonisation. The unit weighs approximately 800 kg, and it was produced using extrusion-based 3D printing, a technique that allows for the creation of complex geometries designed to promote microhabitats, shelter zones, and passageways for various marine species.



Figure 4. Additive manufacturing process through extrusion of cementitious mortar at different phases of construction. (a) 3D printing of the base of the artificial reef; (b) 3D printing of the top section; (c) Assembly of the two 3D printed sections.

In parallel, recognising the potential of additive manufacturing for incorporating sustainable materials, a second type of cementitious mortar was developed using organic waste-derived components, including crushed mussel shells (supplied by *Finisterra*), metakaolin (provided by *White Minerals* and *Minerals i Derivats*), and CEM I. This alternative formulation was used to fabricate smaller artificial substrates (Figure 5), which are more manageable during the printing process and allow for stricter control over material ratios. These smaller structures will also be deployed *in situ* to assess the combined effects of material composition and morphological design on biological performance.



Figure 5. Artificial substrate developed using the formulated mortar, designed to be suspended from the large artificial reef to study the impact of chemical composition.

ARTIFICIAL REEF DEPLOYMENT

The artificial reef was transported using cranes, vessels, and specialized professional teams for deployment along the Portuguese coast (Figure 6). A predefined observation period will be required to evaluate both the structural durability of the reef under marine conditions and its effectiveness in promoting the colonization of marine species.

Both artificial reefs were deployed at a depth of 12 meters, positioned on a mixed sandy and rocky seabed. The larger reef structure was placed directly on the seafloor without any additional anchoring or fixation systems. This approach was intentionally adopted to assess the influence of hydrodynamic conditions and potential sediment coverage over time. These parameters will be monitored throughout the immersion period. Periodic photographic surveys will be conducted to evaluate the progression of biological colonization and structural stability over time.

The artificial reef was floated on the surface using buoys to maintain stability during transport. It was then towed by boat to the deployment site, where professional divers assisted in releasing the buoys to allow the reef to sink into position.

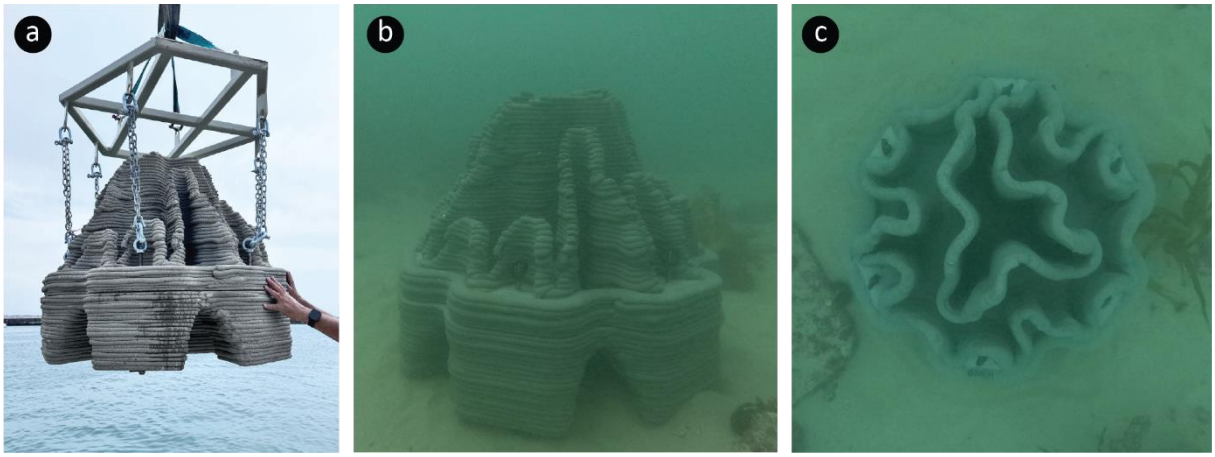


Figure 6. Deployment of the large artificial reef on the Portuguese coast using a crane and boat. (a) Suspending the artificial reef for deployment into the ocean; (b) Front view of the artificial reef anchored; (c) Top view of the artificial reef on the seabed.

CONCLUSIONS

The comparative analysis highlights a growing commitment in Spain, Portugal, and Croatia to integrate habitat restoration into higher education, in line with broader European environmental priorities. All three countries show increasing incorporation of ecosystem restoration, biodiversity conservation, and sustainable resource management, particularly in marine and coastal contexts, within academic curricula.

In Spain, public universities offer well-structured master's programs that combine ecological theory with applied restoration practices. While elective courses on marine restoration are emerging, the focus on underwater habitats remains limited. Notably, private initiatives, such as the FIRE Foundation’s Coastal-Marine Landscape Restoration Course, demonstrate the value of practice-oriented training in complementing formal education.

Portugal stands out for its comprehensive academic offerings across undergraduate to doctoral levels, with strong emphasis on marine biology, oceanography, environmental management,

and blue economy topics. Although dedicated training in artificial reefs is still scarce, the existing curricular foundation offers strong potential for targeted expansion, particularly given Portugal's national strategy focused on ocean-based development.

In Croatia, academic programs provide solid grounding in marine ecosystem management, conservation biology, and integrated coastal management. While direct references to artificial reefs are lacking, students gain relevant knowledge applicable to restoration practices, though more technical training would strengthen capacity in this area.

Overall, while ecosystem restoration is increasingly present across the three national curricula, artificial reef methodologies remain underrepresented. This creates a clear opportunity for RestReef to develop an innovative, harmonized educational module that bridges current gaps through hands-on learning, interdisciplinary approaches, and alignment with EU environmental directives and the Natura 2000 network.

The comparative review of artificial reef projects across global and European contexts underscores the growing sophistication and ecological relevance of reef-based restoration strategies. From traditional quarry rock structures to advanced 3D-printed modules, the diversity of typologies and technologies reflects evolving ecological, regulatory, and functional requirements.

Projects incorporating additive manufacturing, bio-receptive materials, and modular designs have shown enhanced performance in promoting biodiversity and meeting restoration objectives across diverse marine environments. Furthermore, aligning reef deployment with offshore infrastructure, such as in offshore wind farm developments, provides scalable, multifunctional models for habitat enhancement.

Within this evolving landscape, the RestReef project introduces a distinctive educational dimension, aiming not only to restore reef habitats in Natura 2000 sites but also to train the next generation of restoration practitioners. By embedding innovative methodologies into structured educational activities, the project promotes both technical capacity building and ocean literacy.

Through the integration of international case studies into curricula, field training, and simulation-based learning, the project bridges scientific innovation and practical application. Its focus on replicability, hands-on learning, and stakeholder engagement positions the project as a forward-thinking model for embedding marine restoration into higher education and vocational training. This convergence of ecological restoration and education reinforces RestReef's potential to contribute to both effective habitat recovery and a broader cultural shift towards responsible marine stewardship, aligned with the European Union's environmental objectives.

The planning and execution of the extrusion process for the artificial reefs demonstrated excellent mechanical performance, with the structures withstanding the stresses encountered during the movement of the two parts both in production and during deployment when towed by boat. Extrudability tests confirmed that the developed cementitious mortar is highly suitable for extrusion-based 3D printing, showing no issues with nozzle clogging or consistency. Adjustments made during the process allowed fine-tuning of the mixture proportions to produce a mortar that is both extrudable and exhibits strong interlayer adhesion. Additionally, the complex geometries designed for the reefs proved feasible to manufacture using this extrusion technology.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been funded with the support of the European Commission through the Erasmus+ programme: *Educational Platform for Ecological Restoration Techniques with Artificial Reefs in Natura 2000 Sites* (project number: **2024-1-PT01-KA220-HED-000246374**). It was also supported by the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) under the grant reference **2021.06092.BD**, within the Doctoral Programme in Marine Science and Management at the University of Porto. The Faculty of Sciences, the Faculty of Medicine and Biomedical Sciences, the Faculty of Engineering of the University of Porto, and the Institute of Science and Innovation in Mechanical and Industrial Engineering (INEGI) have all contributed to the development of this work. We also extend our special thanks to the companies that supplied materials, particularly Finisterra for providing mussel shell powder, and White Minerals and Minerals i Derivats for supplying metakaolin.

Progress related to the RestReef project and the research can be followed at: www.reefdesign.pt.

REFERENCES

Albalawi, H., Khan, Z., Valle-Perez, A., Kahin, K., Hountondji, M., Alwazani, H., Schmidt-Roach, S., Bilalis, P., Aranda Lastra, M., Duarte, C., Hauser, C., 2021. Sustainable and Eco-Friendly Coral Restoration through 3D Printing and Fabrication. ACS Sustainable Chemistry & Engineering 9. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c04148

Barton, J., Willis, B., Hutson, K., 2015. Coral propagation: a review of techniques for ornamental trade and reef restoration. Reviews in Aquaculture 9, n/a-n/a. https://doi.org/10.1111/raq.12135

Berman, O., Weizman, M., Oren, A., Neri, R., Parnas, H., Shashar, N., Tarazi, E., 2023. Design and application of a novel 3D printing method for bio-inspired artificial reefs. Ecological Engineering 188, 106892. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2023.106892

Degraer, S., Carey, D., Coolen, J., Hutchison, Z., Kerckhof, F., Rumes, B., Vanaverbeke, J., 2020. Offshore Wind Farm Artificial Reefs Affect Ecosystem Structure and Functioning: A Synthesis. Oceanography 33, 48–57. https://doi.org/10.5670/oceanog.2020.405

Edwards, D.P., Cerullo, G.R., 2024. Biodiversity is central for restoration. Current Biology 34, R371–R379. https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.02.032

European Comission, 2025. Biodiversity strategy for 2030 - European Commission [WWW Document]. URL https://environment.ec.europa.eu/strategy/biodiversity-strategy-2030_en (accessed 7.11.25).

European Environment Agency, 2023. The Natura 2000 protected areas network [WWW Document]. European Environment Agency. URL https://www.eea.europa.eu/themes/biodiversity/natura-2000/the-natura-2000-protected-areas-network (accessed 7.11.25).

Gutierrez-Heredia, L., Keogh, C., Reynaud, E.G., 2018. Assessing the Capabilities of Additive Manufacturing Technologies for Coral Studies, Education, and Monitoring. Frontiers in Marine Science 5.

Hylkema, A., Hakkaart, Q.C.A., Reid, C.B., Osinga, R., Murk, A.J., Debrot, A.O., 2021. Artificial reefs in the Caribbean: A need for comprehensive monitoring and integration into marine management plans. Ocean & Coastal Management 209, 105672. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105672

Kennedy, E., Alvarez, A., Lewis, B., Diaz-Pulido, G., 2017. Comparison of recruitment tile materials for monitoring coralline algae responses to a changing climate. Marine Ecology Progress Series 569. https://doi.org/10.3354/meps12076

Kennedy, E.V., Ordonez, A., Lewis, B.E., Diaz-Pulido, G., 2017. Comparison of recruitment tile materials for monitoring coralline algae responses to a changing climate. Marine Ecology Progress Series 569, 129–144. https://doi.org/10.3354/meps12076

Kizhakudan, J.K., Kizhakudan, S.J., Remya, L., Senapathy, M., 2023. Design, fabrication, and testing of artificial reef modules. ICAR- Central Marine Fisheries Research Institute, Kochi, pp. 25–39.

Leonard, C., Hédouin, L., Lacorne, M.C., Dalle, J., Lapinski, M., Blanc, P., Nugues, M.M., 2022. Performance of innovative materials as recruitment substrates for coral restoration. Restoration Ecology 30, e13625. https://doi.org/10.1111/rec.13625

Levenstein, M.A., Marhaver, K.L., Quinlan, Z.A., Tholen, H.M., Tichy, L., Yus, J., Lightcap, I., Wegley Kelly, L., Juarez, G., Vermeij, M.J.A., Wagoner Johnson, A.J., 2022. Composite Substrates Reveal Inorganic Material Cues for Coral Larval Settlement. ACS Sustainable Chem. Eng. 10, 3960–3971. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c08313

Levy, N., Simon-Blecher, N., Ben-Ezra, S., Yuval, M., Doniger, T., Leray, M., Karako-Lampert, S., Tarazi, E., Levy, O., 2023. Evaluating biodiversity for coral reef reformation and monitoring on complex 3D structures using environmental DNA (eDNA) metabarcoding. Science of The Total Environment 856, 159051. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159051

Matus, I., Alves, J., Góis, J., Rocha, A., Neto, R., Mota, C., 2021. Effect of 3D printer enabled surface morphology and composition on coral growth in artificial reefs. Rapid Prototyping Journal ahead-of-print. https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2020-0165

Matus, I.V., Alves, J.L., Góis, J., Vaz-Pires, P., Rocha, A.B. da, 2024. Artificial reefs through additive manufacturing: a review of their design, purposes and fabrication process for marine restoration and management. Rapid Prototyping Journal 30, 87–122. https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2023-0222

McAfee, D., Drew, G., Connell, S.D., 2022. Recentering the role of marine restoration science to bolster community stewardship. Earth System Governance 13, 100149. https://doi.org/10.1016/j.esg.2022.100149

Mundy, C., 2000. An appraisal of methods used in coral recruitment studies. Coral Reefs 19, 124–131. https://doi.org/10.1007/s003380000081

Muriel, 2023. Scour Protection - From Rocks to Ecological Concrete. ECOncrete. URL https://econcretetech.com/blogcat/scour-protection-from-rocks-to-ecological-concrete/ (accessed 7.11.25).

Neptune Memorial, 2007. The Story of Memorial Reef. Neptune Memorial Cremation Reef. URL https://www.nmreef.com/the-story-of-memorial-reef/ (accessed 1.24.22).

Norris, B.K., Reguero, B.G., Bartolai, J., Yukish, M.A., Rhode-Barbarigos, L., Haus, B.K., Ojeda, G.B., Maza, M., Lara, J.L., Beck, M.W., 2025. Designing modular, artificial reefs for both coastal defense and coral restoration. Coastal Engineering 199, 104742. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2025.104742

Siddique, S.H., Hazell, P.J., Wang, H., Escobedo, J.P., Ameri, A.A.H., 2022. Lessons from nature: 3D printed bio-inspired porous structures for impact energy absorption – A

review. Additive Manufacturing 58, 103051. https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103051

Smith, A., Victory, P., Taylor, J., Cook, N., Cook, K., Songcuan, A., Brown, R., 2021. Museum of Underwater Art. Stages 2 and 3 Public Information Package Public Information Package. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20481.38244

Sturges, J., Claisse, J., 2024. Quarry rock reef design features influence fish assemblage structure across a systematically heterogenous restoration reef. Marine Environmental Research 202, 106773. https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106773

Valenzuela Matus, I., Góis, J., Vaz-Pires, P., Lino Alves, J., 2024. Coral Propagation in Substrates Obtained Through Additive Manufacturing: Influence of Mortar Formulations on Seawater Parameters. ACS Sustainable Chem. Eng. 12, 13721–13740. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c01276

Walker, B.K., Henderson, B., Spieler, R.E., 2002. Fish assemblages associated with artificial reefs of concrete aggregates or quarry stone offshore Miami Beach, Florida, USA. Aquatic Living Resources 15, 95–105. https://doi.org/10.1016/S0990-7440(02)01154-3

Wangpraseurt, D., Sun, Y., You, S., Chua, S., Noel, S., Willard, H., Berry, D., Clifford, A., Plummer, S., Xiang, Y., Hwang, H., Kaandorp, J., Diaz, J., Jeunesse, T., Pernice, M., Vignolini, S., Tresguerres, M., Chen, S., 2022. Bioprinted Living Coral Microenvironments Mimicking Coral-Algal Symbiosis. Advanced Functional Materials 32, 2202273. https://doi.org/10.1002/adfm.202202273

Werner, K.M., Haslob, H., Reichel, A.F., Gimpel, A., Stelzenmüller, V., 2024. Offshore wind farm foundations as artificial reefs: The devil is in the detail. Fisheries Research 272, 106937. https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.106937

ARTIGO Nº23508

A IMPORTÂNCIA DA ENGENHARIA DE SEGURANÇA NA PREVENÇÃO DE ACIDENTES DE TRABALHO

Mário A. P. Vaz[1(*)], Gonçalo J. Pires Vaz[2]

[1]Dep de Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia (FEUP) - Porto, Portugal
[2]Dep de Engenharia Civil e Georrecursos (aluno), Faculdade de Engenharia, (FEUP) - Porto, Portugal
(*) *Email:* gmavaz@fe.up.pt

RESUMO

Este trabalho procura destacar a importância da Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais (ESHO) na prevenção dos acidentes de trabalho. Trata-se de uma área multidisciplinar que diz respeito, transversalmente, a várias atividades do setor produtivo de qualquer país. Em Portugal, onde as micro e pequenas empresas constituem grande parte do tecido produtivo, os acidentes de trabalho não só comprometem o bem-estar dos trabalhadores como acarretam custos significativos para o sistema de segurança social. A nível europeu, o total de custos diretos dos regimes de seguros que envolvem acidentes de trabalho, tais como: cuidados médicos, subsídios e compensações por incapacidade permanente e por morte foram estimados em 20 mil milhões de euros por ano (Eurostat, 2002, 2004). Dois terços desse montante concentram-se nos quatro setores de maior risco, que envolvem: a agricultura, a construção, a indústria transformadora e os transportes. Apesar de alguns avanços pontuais, os níveis de acidentes de trabalho mantêm-se preocupantemente elevados, refletindo falhas nos sistemas de prevenção e apontando para a necessidade urgente de uma integração mais eficaz dos princípios da Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais (ESHO). Os setores da construção civil e indústria transformadora destacaram-se como os mais perigosos, com os acidentes mortais a afetarem sobretudo trabalhadores entre os 25 e os 44 anos — faixa etária que representa o núcleo da população ativa. Além disso, durante esta década, o aumento da flexibilidade laboral e do trabalho por turnos esteve associado a um crescimento significativo de acidentes mortais aos sábados, sublinhando os riscos inerentes a horários de trabalho prolongados.

Neste contexto, a ESHO deve ser encarada não apenas como uma disciplina técnica, mas como um pilar estratégico na redução dos riscos profissionais. Através da formação de quadros e da realização de uma análise aprofundada dos dados, que permita a compreensão das condições reais de trabalho e a aplicação sistemática de medidas preventivas e controlos técnicos, que permitam construir ambientes laborais mais seguros, saudáveis e produtivos.

Palavras-chave: Segurança, acidentes de trabalho, prevenção de acidentes.

INTRODUÇÃO

A experiência norte-americana descrita por Michaels e Wagner (2025) oferece lições valiosas para a melhoria da prevenção de acidentes laborais no nosso país. Nos Estados Unidos, a vigilância epidemiológica das lesões e doenças relacionadas com o trabalho baseia-se, essencialmente, nos dados recolhidos pelo Bureau of Labor Statistics (BLS) e pelos sistemas estatais de compensação laboral. Em 2023, o BLS estimou, com base em declarações de empregadores, a ocorrência de aproximadamente 2,4 milhões de lesões graves no setor privado,

correspondendo a uma taxa de 2,2 casos por 100 trabalhadores a tempo inteiro. Contudo, estes valores representam, com elevada probabilidade, uma subestimação significativa da verdadeira incidência de acidentes de trabalho, devido à subnotificação crónica, especialmente em pequenas empresas e no setor público, onde a obrigatoriedade e a qualidade da notificação são limitadas. Embora os registos de compensação laboral ofereçam uma fonte alternativa de dados, a sua utilidade para análises comparativas nacionais é limitada dada a existência de mais de 50 sistemas distintos, com metodologias e critérios de reporte heterogéneos. Além disso, uma proporção substancial dos trabalhadores lesionados não apresenta pedidos de indemnização, seja por desconhecimento, receio de retaliação ou dificuldades burocráticas, o que contribui para o enviesamento dos dados. As doenças profissionais, em particular as de evolução lenta ou latência prolongada, como distúrbios musculoesqueléticos, perdas auditivas e doenças respiratórias crónicas, são frequentemente subnotificadas e subcompensadas, sendo muitas vezes recusadas pelos empregadores mesmo quando diagnosticadas durante o vínculo laboral.

Sendo assim, foi uniformizado o conceito de acidente de trabalho, consolidado com a aprovação do Occupational Safety and Health Act (OSH Act) de 1970, que estabeleceu padrões legais federais obrigatórios para a prevenção, notificação e análise de acidentes de trabalho, criando também a OSHA (Occupational Safety and Health Administration) e o NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) como órgãos centrais de regulação e investigação (Khabibullina & Khabibullina, 2015; Bureau of Labor Statistics, 2017). Esta uniformização legislativa foi acompanhada por uma estratégia nacional de formação profissional, com o NIOSH a financiar a criação de centros regionais de excelência em segurança e saúde ocupacional nas universidades, promovendo currículos unificados e interdisciplinares em áreas como higiene industrial, ergonomia e saúde pública (Institute of Medicine, 2000; Wood et al., 2019). Estes esforços garantiram coerência na aplicação das normas de SST nacionalmente e permitiram uma recolha estatística mais rigorosa e comparável entre estados e com padrões internacionais.

Cada país (e mesmo cada entidade dentro do mesmo país) define e trata os acidentes de trabalho de maneira ligeiramente diferente. Isso cria um grande problema: os dados oficiais são difíceis de comparar entre si e, por vezes, até contraditórios. A Diretiva 89/391/EEC, adotada pela União Europeia (UE) em 1989, estabelece um quadro legal comum para promover a melhoria da segurança e saúde no trabalho em todos os Estados-Membros. A diretiva define que o empregador é o principal responsável por garantir a proteção dos trabalhadores, devendo avaliar e prevenir riscos, informar e formar os funcionários, e integrar a prevenção em todas as atividades da empresa. Também assegura o direito dos trabalhadores à consulta e participação, via representantes de segurança com acesso à **informação** e **formação adequadas**. Com base em princípios de prevenção, participação e responsabilidade, esta diretiva visa reduzir acidentes e doenças profissionais, criando um padrão mínimo de proteção laboral em toda a UE. Para poder avaliar os efeitos desta estratégia, os dados recolhidos nos vários países da UE são processados, comparados e partilhados como se mostra na figura 1.

Apesar da existência deste enquadramento legal comum, a maneira como cada país transpõe e aplica a diretiva varia significativamente, como demonstra o estudo comparativo entre a Suécia e a Espanha (Morillas et al., 2013). Enquanto a Suécia já dispunha de uma cultura de prevenção consolidada antes da entrada em vigor da Diretiva 89/391/EEC, tendo integrado de forma eficaz os princípios da avaliação interna de riscos, participação ativa dos trabalhadores e responsabilização direta das empresas, a Espanha teve de adaptar grande parte do seu sistema e legislação (Morillas et al., 2013). Esta diferença refletiu-se nos resultados práticos: a Suécia registou níveis de sinistralidade laboral muito inferiores, graças a uma abordagem mais participativa e preventiva, enquanto em Espanha a gestão dos riscos foi frequentemente

entregue a serviços externos, com menor envolvimento dos trabalhadores e maior foco na burocracia do cumprimento legal (Morillas et al., 2013). O estudo conclui que, para além de um enquadramento normativo europeu comum, é essencial promover a aplicação prática e efetiva dos princípios da diretiva, garantindo que a prevenção seja assumida como uma responsabilidade integrada no funcionamento das organizações (Morillas et al., 2013).

Conforme a legislação portuguesa, AT é considerado "*Todo o acontecimento inesperado e imprevisto, incluindo atos derivados do trabalho ou com ele relacionados, do qual resulte uma lesão corporal, uma doença ou a morte de um ou vários trabalhadores. São também considerados acidentes de trabalho os acidentes de viagem, de transporte ou de circulação, nos quais os trabalhadores ficam lesionados e que ocorrem por causa, ou no decurso do trabalho, isto é, quando exercem uma atividade económica, ou estão a trabalhar, ou realizam tarefas para o empregador*". É considerado um acidente de trabalho mortal "*Acidente de que resulte a morte da vítima no dia da sua ocorrência ou no período de um ano após o dia da ocorrência*". No entanto, em Portugal, diferentes instituições (como o ACT, o GEP, o INE e o ISP) usam diferentes definições legais e operacionais de "acidente de trabalho" como indicam (Lourenço, 2011), (Gonçalves, 2013). Estas instituições recolhem os dados com métodos diferentes, com objetivos distintos, e não existe uma forma padronizada de os tratar havendo, contudo, uma tentativa de alinhar os conceitos e métodos com os padrões europeus (ex.: Eurostat), que continua longe de ser consistente.

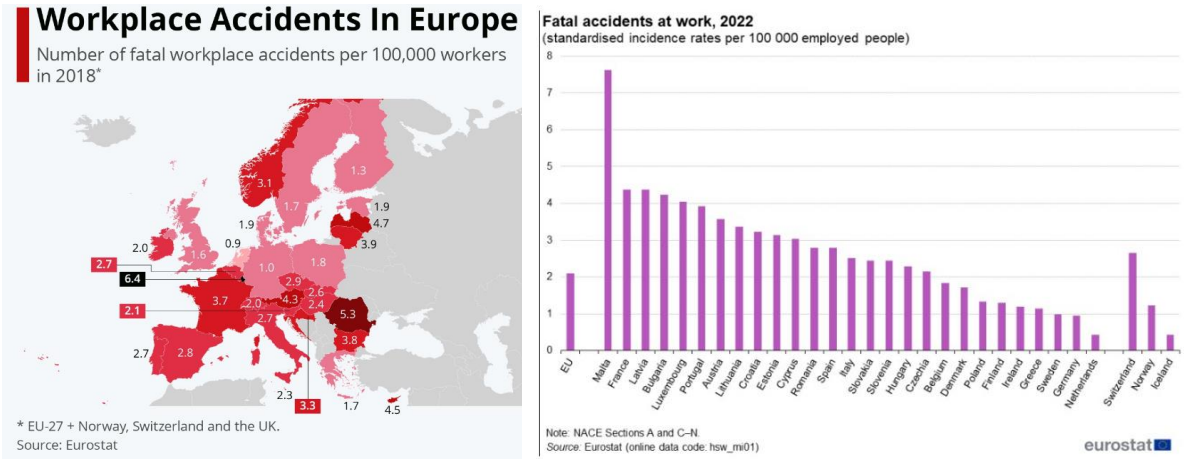


Figura 1 - Mapa de incidência de acidentes de trabalho fatais por 100 000 trabalhadores na UE em 2018 e representação gráfica com os resultados obtidos em 2022 (fonte: Eurostat).

Em Portugal, os dados relativos a AT são compilados pelo Gabinete de Estratégia e Planeamento (GEP) que os divulga periodicamente mediante publicações. Esta informação estatística é partilhada com Gabinete de Estatísticas da União Europeia (Eurostat) e com a Organização Internacional do Trabalho (OIT) embora com algumas diferenças nos critérios de recolha de informação como já foi mencionado, "*A legislação portuguesa engloba os acidentes de trajeto na definição de acidentes de trabalho. Contudo, pelas suas características e atendendo à metodologia do projeto europeu no qual Portugal está integrado, estes acidentes estão excluídos...*". Na tabela I mostra-se uma comparação dos dados estatísticos sobre AT em Portugal publicados para o ano de 2023 pelo GEP, OIT e Eurostat, fonte GEP (2025).

Na análise da Tabela I a taxa de incidência é calculada dividindo o nº de acidentes de trabalho pelo nº de pessoas expostas ao risco, este último dado é obtido a partir dos valores recolhidos

pelo Inquérito ao Emprego realizado pelo Instituto Nacional de Estatísticas (INE) à população abrangida pela Lei nº 98/2009, de 4 de setembro (população empregada) sendo depois o resultado da divisão multiplicado por 100 000.

Tabela I - Comparação dos dados estatísticos sobre Acidentes de Trabalho em Portugal registados em 2023 nas diferentes atividades (Fonte: GEP, 2025).

CAE Rev.3	GEP			OIT			EUROSTAT		
	Mortais	Nº total de A.T. não mortais	Nº de dias perdidos	Mortais	Nº de A.T. com 1 ou mais dias perdidos	Nº de dias perdidos	Mortais	Nº de A.T. com 4 ou mais dias perdidos	Nº de dias perdidos
TOTAL	136	184 471	5 149 803	136	133 524	5 149 803	136	125 873	5 132 621
A Agricultura, produção animal, caça, floresta e pesca	11	5 714	214 173	11	4 459	214 173	11	4 303	213 821
B Indústrias extrativas	1	789	26 866	1	617	26 866	1	588	26 803
C Indústrias transformadoras	29	42 378	1 069 416	29	31 684	1 069 416	29	29 379	1 064 348
D Eletricidade, gás, vapor, água quente e fria e ar frio		251	8 949		175	8 949		164	8 927
E Capt., trat. e distrib. água; saneam., gestão de resíd. e despol.	2	2 845	80 758	2	2 051	80 758	2	1 939	80 502
F Construção	41	29 640	1 023 318	41	23 233	1 023 318	41	22 213	1 021 009
G Comér. por grosso e a retalho; repar. de veíc. autom. e motoc.	6	24 714	630 097	6	17 664	630 097	6	16 610	627 718
H Transportes e armazenagem	17	10 138	346 745	17	8 152	346 745	17	7 637	345 555
I Alojamento, restauração e similares	3	12 469	316 879	3	9 213	316 879	3	8 756	315 797
J Atividades de informação e de comunicação		795	19 543		455	19 543		416	19 457
K Atividades financeiras e de seguros		581	15 019		342	15 019		317	14 959
L Atividades imobiliárias	2	894	28 883	2	651	28 883	2	616	28 799
M Atividades de consultoria, científicas, técnicas e similares	2	2 922	75 723	2	1 903	75 723	2	1 786	75 475
N Atividades administrativas e dos serviços de apoio	7	13 492	355 091	7	9 938	355 091	7	9 346	353 765
O Administração Pública e Defesa; Segurança Social obrigatória	6	11 341	325 478	6	7 345	325 478	6	6 960	324 625
P Educação	1	2 023	50 441	1	1 298	50 441	1	1 217	50 268
Q Atividades de saúde humana e apoio social	1	17 118	364 746	1	9 852	364 746	1	9 320	363 538
R Ativ. artísticas, de espectáculos, desportivas e recreativas		1 763	52 953		1 075	52 953		1 027	52 841
S Outras Atividades de serviços	5	4 015	116 769	5	2 952	116 769	5	2 824	116 477
T At. famil. empr. pess. domést. e ativ. prod. famil. p/ uso próp.	1	570	27 567	1	451	27 567	1	441	27 548
U Ativ. dos organ. internac. e outras instit. extraterritoriais	1	19	389	1	14	389	1	14	389
CAE Ignorada									

	GEP			OIT			EUROSTAT		
	Total	Não mortais	Mortais	Total	Não mortais	Mortais	Total	Não mortais	Mortais
Taxa de Incidência *	3 654,7	3 652,0	2,7	2 646,1	2 643,4	2,7	2 494,6	2 491,9	2,7

Estudos mais recentes divulgados pela Autoridade para Condições do Trabalho (ACT) revelam que em Portugal o número de acidentes de trabalho fatais se mantém elevado. Considerando os últimos cinco anos (2020-2024) verifica-se um aumento relativamente ao período anterior (2015-2019). De acordo com este relatório, o setor da construção continua a ser o que mais contribui, quer para os acidentes fatais, quer para os acidentes graves, como comprovam os dados do último relatório do ACT, figura 2.

A elevada sinistralidade no setor da construção civil em Portugal, amplamente documentada no estudo de Teresa Maneca Lima (2004), decorre de fatores estruturais como a rotatividade laboral, a prevalência de mão de obra não qualificada e a fragmentação das cadeias de subcontratação — muitas vezes associadas à informalidade. Essas condições amplificam riscos objetivos, agravados pela implementação deficiente de medidas de prevenção, frequentemente percebidas pelos empreiteiros como custos operacionais, e não como pilares de sustentabilidade organizacional. A análise estatística de Pedro Luís Miranda Bastos (2017), abrangendo o período de 2008 a 2014, corrobora essa vulnerabilidade: pequenas empresas, trabalhadores jovens e contextos de baixa qualificação concentram os maiores índices de acidentes, com eventos predominantes em estaleiros, especialmente durante operações com máquinas, e causas recorrentes como explosões, choques elétricos ou contacto com agentes cortantes.

A aparente redução em número absoluto máscara a persistência de taxas elevadas quando normalizadas por trabalhador ou obra, exigindo uma interpretação crítica dos dados e intervenções direcionadas. Diante desse cenário, Lima (2004) propõe uma reestruturação sistémica, alicerçada numa cultura de prevenção integrada, com ênfase na formação em higiene e segurança desde as etapas projetais até à execução. Essa abordagem requer corresponsabilização multinível, envolvendo o Estado na fiscalização eficaz e atualização normativa, as empresas na internalização da segurança como vetor estratégico, e sindicatos e trabalhadores na participação ativa na identificação de riscos e adoção de práticas seguras.

A mudança de paradigma exige, portanto, não apenas conformidade legal, mas a internalização da segurança como valor intrínseco aos processos produtivos, mitigando riscos de forma proativa e estrutural.

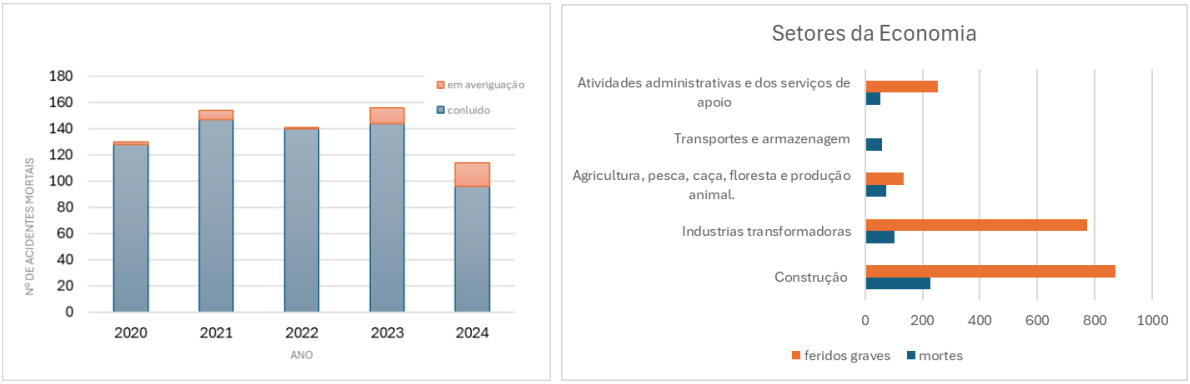


Figura 2 - Evolução do número de mortes e feridos graves em acidentes de trabalho durante (2020-2024) e distribuição dos acidentes por setores da economia (Fonte: ACT, 2025);

Mostra-se assim que a criação de uma base de dados acessível, centralizada e atualizada de acidentes de trabalho, com possibilidade de cruzamento com variáveis como: setor de atividade, idade, tipo de lesão e exposição a riscos específicos, seria um passo decisivo para uma abordagem moderna e proativa à segurança e saúde no trabalho. De igual forma se deverá legislar de modo a uniformizar os protocolos de recolha de dados e estabelecer regras claras de comparação entre as diversas bases de dados. Só com dados fiáveis e atualizados se podem definir e controlar estratégias para mitigar este flagelo.

FORMAÇÃO EM SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO EM PORTUGAL

Para poder tratar as questões de segurança de forma integrada e cientificamente sustentada o país precisa de dispor de técnicos competentes e com uma formação adequada, quer para legislar e coordenar estratégias que permitam mitigar os vários riscos, quer para fiscalizar o cumprimento da legislação. Em Portugal a criação de uma rede de instituições formadoras iniciou há cerca de duas décadas com a abertura de licenciaturas e mestrados em SST. Com o apoio e acompanhamento do ACT várias instituições de ensino criaram cursos em SST, quer no setor público, quer no privado. Na tabela II apresentam-se as principais escolas portuguesas que atualmente ministram formação nesta área em Portugal, ao nível de Licenciatura e Mestrado, cuja formação segue a Lei n.º 42/2012, de 28 de agosto. Enquanto as licenciaturas são maioritariamente fornecidas pelo ensino privado, o mesmo não se verifica nos Mestrados onde a prevalência é do ensino público. A rede de ensino nacional permite atualmente vários níveis de formação, desde o Técnico de Segurança no Trabalho (TST) acreditado, nível 4, até ao mestrado, nível 7.

A maioria dos Mestrados disponíveis funciona em regime pós-laboral para servir os diversos profissionais que estando empregados e com funções na área da SST procuram especializar-se para progressão de carreira. Trata-se de uma formação multidisciplinar que aceita normalmente candidaturas de licenciados em qualquer área científica, embora por vezes seja necessária uma avaliação complementar (entrevista). Neste nível de formação as escolas devem promover o ensino com maior componente prática, com laboratórios, trabalhos de campo e estágios em empresas o que torna esta formação mais dispendiosa e menos atrativa para o setor privado.

Tabela II - Principais escolas portuguesas que ministram cursos de segurança (Licenciatura e Mestrado).

Cursos de Licenciatura (3 anos, 180 ECTS):		Vagas
Engenharia em Segurança do Trabalho (a)	ISEC Lisboa	21 privado
Engenharia da Segurança do Trabalho	ISLA - Lusofona (Gaia)	41 privado
Segurança do Trabalho e Ambiente	IPP-ESTG	20 público
Engenharia de Segurança do Trabalho	IPC-ESTGOH-ESTeSC	20 público
Engenharia da Segurança do Trabalho	ISLA_Santarem IP	12 privado
Segurança e Saúde no Trabalho	IPAveiro - ISCIA	8 privado
ESTGOH - Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Oliveira do Hospital		**122** Total
(a) - Vertente de proteção Civil		
Cursos de Mestrado (2 anos, 120 ECTS)		
Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais	FEUP	50 público
Segurança e Saúde no Trabalho	ISE da U Algarve	25 público
Segurança e Higiene no Trabalho	ISTS de Lisboa	15 público
Higiene e Segurança nas Organizações	IPP - ESS	30 público
Gestão da Segurança e Saúde do Trabalho	ISLA - Lusofona (Gaia)	25 privado
Horários pós-laborais (até às 22:00h)		**145** Total

A FORMAÇÃO EM SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO NA UP

Com vista a formar também técnicos de nível 8, doutorados, a Universidade do Porto (UP) criou em 2009 o Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais (DemSSO). Trata-se de um curso da matriz multidisciplinar que engloba todas as unidades orgânicas da UP e permite configurar a formação dos candidatos a cada solicitação. A articulação do DemSSO com o curso de mestrado MESHO da FEUP são também uma importante mais-valia na formação oferecida pela UP. De referir que tanto quanto é do conhecimento dos autores este é atualmente o único programa doutoral na SST existente em Portugal. Em síntese pode dizer-se que existe atualmente um amplo leque de oferta formativa nesta área que vai desde a formação online de TST até ao nível máximo através do DemSSO. Na figura 3 mostra-se em gráfico a oferta formativa em SST existente em Portugal e a distribuição dessa oferta entre o ensino público e privado.

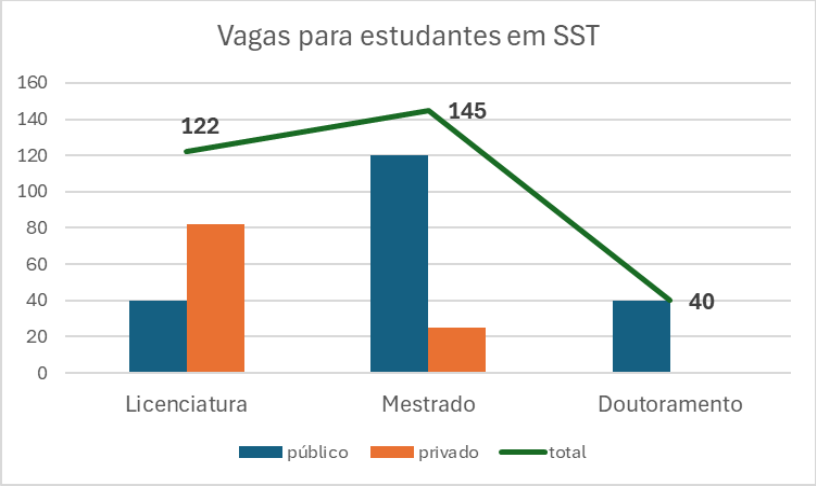


Figura 3 - Principal oferta formativa em SST existente em Portugal em 2025.

Com esta oferta formativa Portugal criou um conjunto de profissionais, com formações até a nível mais elevado, o doutoramento, e conhecimentos na área de SST que permitirão criar uma estratégia nacional para reduzir a sinistralidade no trabalho.

Focando a nossa atenção na oferta da FEUP em SST deve referir-se que estes cursos têm sido procurados por estudantes nacionais, mas igualmente por estudantes estrangeiros, com destaque

para os oriundos dos países de língua oficial portuguesa (PALOP) e América latina. Na figura 4 mostra-se graficamente a evolução do número de matrículas nos cursos de SST da FEUP nos quatro últimos anos letivos e a distribuição dos alunos inscritos no MESHO em 2024/2025 por nacionalidades.

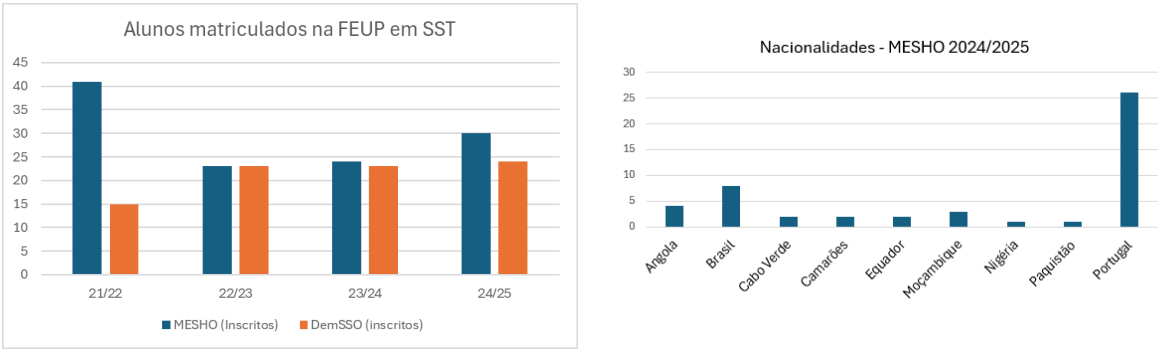


Figura 4 - Evolução do número de matrículas nos cursos de Mestrado (MESHO) e Doutoramento (DemSSO) ao longo dos quatro últimos anos e nacionalidade dos matriculados no MESHO no ano 2024/2025 (FEUP).

O ensino ministrado na UP em SST inclui uma forte componente experimental e com trabalhos nas empresas, quer sejam as empregadoras dos alunos, quer empresas que se disponibilizam para aceitar estagiários durante a elaboração das suas teses. Atualmente a FEUP, unidade orgânica da UP que fornece o Mestrado em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacional mantém, internamente parcerias com os departamentos de Mecânica, Química, Gestão e Civil e Georrecursos e externamente, com as Faculdade de Psicologia e de Ciências da Educação (FPCEUP) e com a Faculdade de Medicina (FMUP) no que respeita ao MESHO. Trata-se de um curso multidisciplinar cuja componente prática é suportada no Laboratório de Prevenção dos Riscos Ocupacionais e Ambientais (PROA). Este laboratório, divide-se em Laboratório de Segurança e Saúde Ocupacionais (SSO), Laboratório de Realidade Virtual e Aumentada e Laboratório para o Desenvolvimento de Tecnologias para a Educação e Formação de Adultos. Trata-se de instalações de apoio à atividade letiva, mas também à investigação e ao desenvolvimento e inovação (I&D) e também à prestação de serviços em diferentes vertentes da SSO como são: ergonomia, segurança química e biológica, ruído e vibrações ocupacionais, higiene e saúde, etc… Um dos principais equipamentos consiste numa câmara climática onde se pode recriar qualquer ambiente laboral com temperaturas a variar entre -20ºC e 50ºC $\pm$ 0,5ºC e Gama de Humidade relativa entre 30% e 98% $\pm$ 2%. Na figura 5 mostram-se imagens da câmara ambiental e do laboratório de realidade virtual e aumentada.

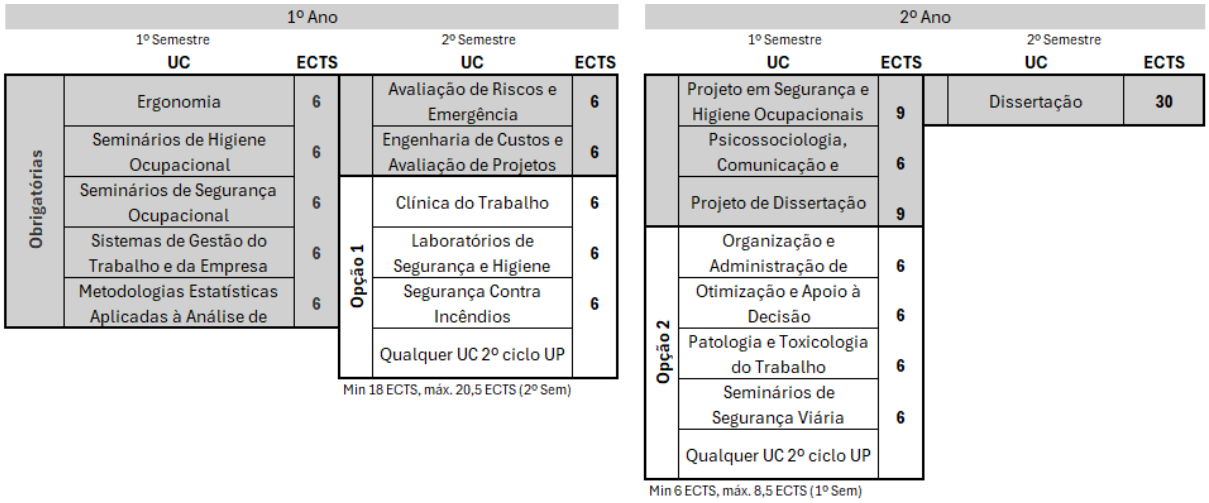


Figura 5 - Imagens da câmara ambiental e do Laboratório de realidade virtual e aumentada.

O plano de estudos em vigor no MESHO inclui um conjunto de unidades curriculares (UC) obrigatórias e um conjunto de UC opcionais que se distribuem pelo 2º semestre do 1º ano e o 1º semestre do 2º ano. Nas UCs optativas os alunos podem escolher de dois grupos de UCs

fornecidas pelo MESHO ou qualquer outra UC disponível na UP desde que sejam respeitados os limites de ECTS impostos. Na tabela III mostra-se esquematicamente o plano de estudos em vigor que termina com a apresentação pública da dissertação que poderá ser elaborada em colaboração com uma empresa ou instituição externa à UP.

Tabela III - Atual plano de estudos do MESHO



A coexistência do MESHO e do DemSSO permite sinergias entre ambos os cursos com partilha de instalações laboratoriais e docentes. De igual modo é possível a participação dos alunos em projetos de investigação e transferência de tecnologia. Embora o DemSSO, sendo ministrado ao nível da UP e envolvendo todas as faculdades tenha uma maior abrangência existe um conjunto de disciplinas comuns, ainda que tratadas a níveis diferentes.

ALGUMAS CONCLUSÕES

As estratégias de desenvolvimento da indústria ultimamente definidas a nível europeu, comummente designadas por Indústria 4.0 e Indústria 5.0, apesar de estabelecerem um conjunto de valências a desenvolver, têm colocado o ser humano cada vez mais como peça central do tecido produtivo. A digitalização, robotização, sustentabilidade são fatores que devem contribuir para melhorar o bem-estar dos trabalhadores sem comprometer a sua produtividade. Assim sendo, os fatores humanos constituem um importante tema de investigação no desenvolvimento de novas estratégias produtivas.

No entanto, para que essas iniciativas tenham um impacto real é necessário ir além da conformidade legal e adotar uma cultura de prevenção integrada. É necessário o envolvimento do setor público, setor privado e trabalhadores, uma fiscalização eficaz, atualização normativa e internalização da segurança como valor estratégico. A digitalização e as inovações tecnológicas, como a realidade virtual e aumentada, oferecem oportunidades para melhorar a formação e a simulação de cenários de risco, mas também desafios como a “gig economy” e a consequente fragmentação das relações laborais.

A UP tem mostrado ser uma instituição que muito contribui nacionalmente para, conforme as recomendações internacionais, estar na vanguarda da SST, quer mediante uma oferta formativa moderna, quer participando em projetos de I&D que permitam levar o conhecimento ao tecido empresarial, seja ele nacional ou estrangeiro.

REFERÊNCIAS

Bastos, Pedro Luís Miranda. 2017. Estudo dos acidentes de trabalho no setor da construção civil em Portugal. Tese de mestrado, Universidade Fernando Pessoa, Portugal.

Bureau of Labor Statistics. 2017. Counting Injuries and Illnesses in the Workplace: A Decade of OSHA Recordkeeping. Monthly Labor Review. U.S. Department of Labor.

GEP-Gabinete de Estratégia e Planeamento, Ministério da Trabalho, Solidariedade e Segurança Social (MTSSS), Coleção Estatísticas – Acidentes de Trabalho 2023, Lisboa, 30 de junho de 2025; ISSN: 2183-6183

Gonçalves, S. L., Responsabilidade Civil pelos Danos decorrentes de Acidentes de Trabalho, Tese Mestrado, Escola de Direito, Universidade do Minho, 2013.

Institute of Medicine; 2000. Safe Work in the 21st Century: Education and Training Needs for the Next Decade's Occupational Safety and Health Personnel. Washington, DC: National Academies Press.

Khabibullina, Lilia F., and Elmira A. Khabibullina. 2015. "Evolution of Occupational Safety and Health Legislation in the USA." Mediterranean Journal of Social Sciences 6 (6 S2): 306–310.

Lima, Teresa Maneca. 2004. Trabalho e Risco no Sector da Construção Civil em Portugal: Desafios a uma Cultura de Prevenção. Coimbra: Centro de Estudos Sociais.

Lourenço, I.V.S., O conceito de "acidente de trabalho" e sua repercussão nos dados oficiais, Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Segurança e Higiene Ocupacionais, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2011.

Macedo, A.C., Silva, I.L., Analysis of occupational accidents in Portugal between 1992 and 2001, Safety Science, Vol.44, pp. 187–202, 2006.

Michaels, D., Wagner, G.R., *OSHA injury data: an opportunity for improving work injury prevention*, American Journal of Public Health, Vol. 115, pp. 588–595, 2025.

Wood, Eric, et al. 2019. "OSHA and the Development of Academic Curricula in Occupational Safety and Health." Occupational Health Journal 47 (3): 211–218.

ARTIGO Nº23566

MOBILIDADE VIRTUAL E INTERCÂMBIO INTERNACIONAL COMO ESTRATÉGIA DE INOVAÇÃO PEDAGÓGICA NO ENSINO DE ENGENHARIA EM MOÇAMBIQUE

Leila Omar[1], Roxan Cadir[1], Vali Issufo[1]

[1]Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, FE-UEM - Maputo, Moçambique
(*) *Email:* leila.a.omar@uem.mz, roxan.cadir@uem.ac.mz, vali.issufo@uem.mz

RESUMO

Num contexto marcado por desafios tecnológicos, desigualdades estruturais e crescente exigência de internacionalização, este artigo centra-se na experiência da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (FE-UEM), em Moçambique, no âmbito de um projecto de mobilidade virtual em parceria com o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). A investigação incide sobre a aplicação de estratégias pedagógicas inovadoras numa experiência concreta de coensino internacional, inserida na unidade curricular "Comunicação e Sociedade", leccionada a estudantes de engenharia de ambas as instituições. O estudo documenta e analisa duas sessões temáticas desenvolvidas ao longo do semestre, nomeadamente, "Como Preparar Apresentações Públicas e Posters" e "Ferramentas para Revisão de Literatura", concebidas como espaços de aprendizagem activa, interdisciplinar e intercultural. Os dados recolhidos através de inquérito, em uma amostra de 22 estudantes, demonstram que a mobilidade virtual promoveu o desenvolvimento de competências em literacia digital, comunicação científica e colaboração internacional, apesar de limitações técnicas reportadas. Para além da análise pedagógica, o artigo explora formas complementares de cooperação entre as instituições, incluindo seminários temáticos conjuntos, propostas de mestrado e candidaturas a financiamento. A experiência apresenta-se como um modelo viável de internacionalização digital em contextos africanos lusófonos, com potencial para ser escalado noutras instituições com condições similares.

Palavras-chave: Moçambique, inovação pedagógica, mobilidade virtual, ensino superior, internacionalização digital.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificação do estudo

A globalização, caracterizada pela intensificação das interligações económicas e culturais, e as transformações tecnológicas aceleradas têm trazido inúmeros benefícios ao ensino superior, nomeadamente a expansão do acesso ao conhecimento, a mobilidade académica internacional, a colaboração em investigação e a internacionalização curricular (Marginson & van der Wende, 2007). Contudo, a par desses avanços, surgem também desafios cada vez mais complexos, exigindo das instituições de ensino superior uma adaptação contínua. Neste contexto, torna-se imperativo repensar práticas pedagógicas tradicionais e adoptar metodologias que promovam o desenvolvimento de competências transversais, como o pensamento crítico, a criatividade, a

sensibilidade intercultural e a capacidade de investigação autónoma (Breaden et al., 2023; Gutema, Pant, & Nikou, 2024).

A mobilidade virtual surge como uma possível resposta a estas exigências, permitindo a internacionalização do currículo sem necessidade de deslocação física. Trata-se de uma abordagem particularmente relevante para contextos do Sul Global, onde as limitações financeiras, logísticas e institucionais dificultam a mobilidade estudantil convencional. Estudos realizados em África, incluindo Moçambique e a Tanzânia, evidenciam que a internacionalização à distância pode ampliar o acesso a uma educação de qualidade, promover a inclusão de grupos marginalizados e fortalecer as competências digitais e interculturais dos estudantes (Ngalomba, Mkwananzi, & Mukwambo, 2025; Ndaipa, Edström, & Geschwind, 2022).

Além disso, a literatura mostra que projectos colaborativos online, como o COIL (Collaborative Online International Learning), têm demonstrado grande potencial para fomentar trocas horizontais e éticas entre estudantes de diferentes contextos geográficos e culturais (Vahed, 2024). Ao envolver os estudantes como parceiros activos na construção do conhecimento, estas práticas reconfiguram as dinâmicas tradicionais de poder e criam ambientes mais participativos e inclusivos (Breaden et al., 2023).

A experiência de colaboração entre o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e a Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (FENG-UEM), descrita neste estudo, constitui um contributo importante para este debate. Ao integrar sessões temáticas online, coensino internacional e estratégias pedagógicas baseadas na autonomia e na interdisciplinaridade, este projecto de mobilidade virtual oferece evidências empíricas sobre os benefícios e os desafios da inovação pedagógica no ensino superior africano. Tal como defendido na Agenda 2063 da União Africana, iniciativas deste género são essenciais para garantir uma educação inclusiva, resiliente e globalmente conectada (African Union Comission, 2022).

1.2 Competências exigidas no ensino superior atual

O ensino superior contemporâneo exige cada vez mais que os seus graduados sejam não apenas detentores de conhecimento técnico, mas também capazes de operar num mundo globalizado, multicultural e tecnologicamente dinâmico (Henderson, Norris, & Hornsby, 2024). Este imperativo obriga as instituições de ensino a repensarem os currículos e a integrarem abordagens que promovam a formação de competências transversais e transferíveis.

Entre as competências mais valorizadas estão o pensamento crítico e reflexivo, a capacidade de comunicação eficaz em contextos interculturais, a aptidão para trabalhar em equipas internacionais, bem como a autonomia na investigação científica e na resolução de problemas complexos. Estas competências são frequentemente referidas como essenciais para preparar os estudantes para os desafios sociais e profissionais do século vinte e um (Gutema, Pant, & Nikou, 2024).

Na unidade curricular "Comunicação e Sociedade", desenvolvida no âmbito da colaboração entre o ISEL e a UEM, estas competências foram operacionalizadas através de actividades específicas como debates temáticos, preparação de apresentações públicas, escrita de relatórios formais e pesquisa bibliográfica orientada. Os estudantes foram incentivados a refletir sobre o

impacto social das suas acções profissionais, a pensar de forma interdisciplinar e a atuar em equipas com diversidade cultural e geográfica.

A literatura sobre mobilidade virtual reforça esta visão, ao indicar que as experiências de intercâmbio online, quando bem estruturadas, promovem ganhos significativos em termos de literacia digital, sensibilidade cultural e capacidade de adaptação a contextos diversos (Vahed, 2024; Wang & Ghasemy, 2025). Estas competências são também consideradas fundamentais para a promoção de uma cidadania global activa, como sublinhado por várias iniciativas internacionais de educação superior, incluindo a Agenda 2063 da União Africana (African Union Comission, 2022).

1.3 Objectivo e relevância do artigo

Este artigo tem como objectivo central analisar a aplicação de estratégias pedagógicas inovadoras no ensino superior, através de um estudo de caso baseado numa experiência concreta de mobilidade virtual entre o ISEL e a UEM. A experiência envolveu a implementação colaborativa da unidade curricular "Comunicação e Sociedade", concebida para promover competências transversais e interculturais em estudantes de engenharia através de metodologias activas de aprendizagem e colaboração online.

A relevância deste estudo reside na sua contribuição empírica para o campo emergente da internacionalização à distância, também conhecida como mobilidade virtual. Este modelo pedagógico oferece uma alternativa viável à mobilidade física tradicional, permitindo que estudantes de diferentes contextos geográficos participem em experiências de ensino-aprendizagem internacionalizadas, sem os constrangimentos logísticos, financeiros ou administrativos habitualmente associados aos intercâmbios presenciais (Breaden et al., 2023; Ngalomba, Mkwananzi, & Mukwambo, 2025).

Num momento em que o ensino superior em África procura soluções inclusivas e sustentáveis para expandir o acesso à educação de qualidade, iniciativas como esta demonstram que a cooperação digital pode desempenhar um papel estratégico na transformação curricular, na capacitação docente e no desenvolvimento de competências globais. Conforme evidenciado por estudos recentes, programas de mobilidade virtual têm demonstrado impacto positivo não só na aprendizagem académica, mas também no empoderamento estudantil, no desenvolvimento de competências digitais e na promoção de uma internacionalização mais equitativa (Vahed, 2024; Wang & Ghasemy, 2025).

Ao documentar esta experiência, o artigo contribui para o avanço do conhecimento sobre práticas pedagógicas inovadoras no ensino superior, com especial foco no contexto africano lusófono, e oferece recomendações práticas para a replicação e adaptação de modelos semelhantes noutras instituições.

2. ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Inovação pedagógica no ensino superior

A inovação pedagógica no ensino superior tem sido impulsionada pela necessidade de preparar profissionais capazes de lidar com problemas complexos e com rápidas transformações sociais e tecnológicas (Loureiro et al., 2022; ter Beek et al., 2022). O paradigma actual exige métodos de ensino que estimulem a aprendizagem activa, o pensamento crítico, a colaboração

interdisciplinar e a utilização eficaz das tecnologias digitais (Wekerle et al., 2020). Nesse contexto, abordagens como o *blended learning*, a aprendizagem baseada em problemas (PBL) e o ensino por competências tornaram-se cada vez mais relevantes (Gutema, Pant, & Nikou, 2024; Wang & Ghasemy, 2025).

As práticas pedagógicas inovadoras procuram romper com o modelo transmissivo de ensino, oferecendo aos estudantes experiências de aprendizagem mais significativas, participativas e aplicáveis a contextos reais (Buckley & Kukhareva, 2020). A utilização de plataformas digitais para interação síncrona e assíncrona, a produção colaborativa de conhecimento e o desenvolvimento de tarefas com impacto social são exemplos de estratégias que têm sido bem-sucedidas na promoção da autonomia e da motivação dos estudantes (Vahed, 2024).

No caso concreto da unidade curricular "Comunicação e Sociedade", foram incorporadas metodologias de coensino, trabalho autónomo orientado e intercâmbio cultural, permitindo aos estudantes desenvolverem competências para comunicar eficazmente, pesquisar de forma estruturada e agir com consciência crítica

2.2 Internacionalização à distância e mobilidade virtual

A mobilidade virtual, entendida como a participação de estudantes e docentes em experiências de aprendizagem internacional mediadas por tecnologia, tem emergido como uma estratégia fundamental para a internacionalização inclusiva do ensino superior, especialmente no Sul Global (Mendes & Finardi, 2023). Esta forma de internacionalização "em casa" permite que estudantes que, por razões económicas, geográficas ou institucionais, não possam participar em programas de mobilidade física, possam ainda assim beneficiar de interações globais significativas (Ngalomba, Mkwananzi, & Mukwambo, 2025; Breaden et al., 2023).

Estudos africanos demonstram que a mobilidade virtual pode contribuir para o fortalecimento de competências digitais e interculturais, além de promover o acesso a conteúdos diversificados e a práticas pedagógicas inovadoras. Contudo, salientam também que o sucesso destas iniciativas depende da existência de infraestrutura tecnológica adequada, da capacitação dos docentes e de políticas institucionais que reconheçam e incentivem estas formas de cooperação (Nooraldaim & Hagley, 2024; African Union Comission, 2022).

O modelo COIL (Collaborative Online International Learning), adoptado no caso ISEL-UEM, enquadra-se nesse movimento de internacionalização digital e tem-se mostrado eficaz na redução de distâncias culturais e geográficas, aproximando estudantes por meio de projectos colaborativos de curta duração (Vahed, 2024).

3. Descrição do Programa de Mobilidade

3.1 Parceria IPL/ISEL e FENG/UEM

A colaboração entre ISEL e a UEM insere-se num esforço contínuo de internacionalização do ensino superior, com enfoque na mobilidade virtual e no coensino intercultural. Esta parceria foi implementada em 2024, com a implementação de uma experiência integrada na unidade curricular "Comunicação e Sociedade", leccionada no 1.º semestre dos cursos de Engenharia Informática de ambas as instituições e do curso de Engenharia Eléctrica da UEM. Sendo que para os estudantes da UEM o período lectivo foi do pós-laboral.

A concepção desta colaboração foi orientada por três objectivos principais: (i) proporcionar aos estudantes uma experiência de aprendizagem internacional sem deslocação física; (ii) promover a interdisciplinaridade e a reflexão crítica sobre a prática profissional em engenharia; e (iii) desenvolver competências de comunicação, investigação e colaboração em equipas multiculturais. Estas metas alinham-se com as tendências globais de inovação no ensino superior, que apelam à diversificação de contextos de aprendizagem e à criação de redes de cooperação interinstitucional (Breaden et al., 2023; Gutema et al., 2024). Adicionamente os estudantes participaram em palestras sobre elaboração de Curriculum Vitae, preparação para as entrevistas de emprego, e elaboração de artigo científico e outras temáticas transversais que ajudam no crescimento das habilidades transversais dos graduados.

A experiência decorreu entre os meses de Fevereiro e Maio de 2024, e envolveu sessões síncronas conjuntas, orientadas por docentes de ambas as instituições, bem como trabalho autónomo supervisionado através das plataformas Moodle e Zoom. As sessões foram cuidadosamente calendarizadas para permitir a participação activa dos estudantes em actividades conjuntas, nomeadamente seminários, debates, apresentações e uso de ferramentas digitais para investigação científica, conforme apresentado na figura seguinte:

		Semestrial Plan (Programa)														
	Week	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Lesson		1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Day	23/fev	1/mar	8/mar	15/mar	22/mar	29/mar	5/abr	12/abr	19/abr	26/abr	3/mai	10/mai	17/mai	24/mai	31/mai
Topic	Hours	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3,5	3,5	1,5	3,5	3,0	3,0
Introduction to course	1,5	T														
1 Introduction to Critical Thinking	3,0		RJ	RJ												
2 Pitch, Presentation and Self-evaluation	3,0				ND	ND										
3 How to author formal reports, contents, typical editorial formats and best international practices;	1,5							ND								
4 How to prepare public presentations and build posters	1,5								LO							
5 Tools to carry and to organize literature research	1,5												VI			
6 Debate Sessions	10,5										T	T		T		
7 Authoring a paper (refection, position paper, research paper)	1,5									ND						
8 Student Presentations	6,0														T	T

Figura 1: Cronograma de Sessões

Além do seu valor pedagógico, a iniciativa teve um impacto institucional relevante, ao contribuir para o reforço dos laços académicos entre Portugal e Moçambique e ao gerar conhecimento útil para o desenho de futuros programas de coensino e dupla titulação em engenharia. Ao proporcionar aos estudantes contacto com metodologias de ensino e perspectivas culturais distintas, a parceria promoveu uma abordagem pedagógica centrada na colaboração, na flexibilidade e na equidade.

3.2 Organização da unidade curricular "Comunicação e Sociedade"

A unidade curricular “Comunicação e Sociedade”, oferecida conjuntamente a estudantes do ISEL e da UEM, foi concebida como uma experiência interdisciplinar e intercultural com forte ênfase na autonomia, na investigação e na comunicação científica. O programa incluiu sete tópicos estruturantes: pensamento crítico, elaboração de apresentações, escrita de relatórios, preparação de posters, uso de ferramentas de revisão de literatura, sessões de debate e apresentações finais.

A abordagem pedagógica foi híbrida, combinando sessões síncronas (com docentes e estudantes de ambas as instituições) e trabalho autónomo orientado por tutores. A participação activa foi estimulada através de dinâmicas colaborativas em grupos mistos, avaliações conjuntas, produção de conteúdos e sessões de partilha. A avaliação baseou-se em componentes individuais e de grupo, atribuindo ênfase à reflexão crítica e ao desempenho em actividades práticas.

3.3 Estratégias colaborativas

A experiência de mobilidade virtual entre o ISEL e a UEM foi concebida não apenas como uma unidade curricular partilhada, mas como parte de um ecossistema mais alargado de colaboração académica, alicerçado em três pilares interdependentes: seminários temáticos conjuntos, sessões de debate interdisciplinar e grupos de trabalho académico em contexto remoto.

Os seminários temáticos conjuntos constituíram momentos de interacção alargada entre estudantes e docentes das duas instituições, proporcionando um espaço para explorar temas relevantes da engenharia e da sociedade contemporânea, sob múltiplas perspectivas culturais e académicas. Estes seminários foram conduzidos em formato síncrono através de plataformas digitais, e integraram apresentações de especialistas convidados, seguidas de sessões de perguntas e respostas, fomentando a reflexão crítica e a aproximação entre realidades distintas do espaço lusófono.

As sessões de debate desempenharam um papel central no desenvolvimento de competências argumentativas, de escuta activa e de negociação de significados em contextos interculturais. A organização destas sessões seguiu uma estrutura previamente definida no plano da unidade curricular "Comunicação e Sociedade", com temas preparados pelos estudantes, moderação rotativa, e produção de ensaios reflexivos como parte da avaliação contínua. Estas actividades encorajaram a construção de conhecimento partilhado, promovendo o diálogo informado sobre temas complexos que atravessam fronteiras técnicas e culturais.

Por fim, os grupos de trabalho académico em contexto remoto foram formados por estudantes de ambas as instituições e funcionaram ao longo quatro semanas com tarefas distribuídas. Estes grupos desenvolveram actividades práticas como a criação de posters científicos, elaboração de sínteses temáticas e preparação de apresentações orais, recorrendo a ferramentas digitais de colaboração como Google Docs, Zoom, Canva e Menti.com. A interacção constante e o *feedback* entre pares fomentaram a autonomia, a coautoria e o respeito pelas diferenças nos modos de pensar e comunicar.

Estas estratégias colaborativas demonstraram que, mesmo em ambientes exclusivamente virtuais, é possível criar experiências ricas de aprendizagem intercultural, com elevado grau de participação, responsabilidade partilhada e desenvolvimento de competências globais. Ao promoverem a co-construção de saberes entre estudantes e docentes de contextos distintos, estas actividades reforçaram o potencial transformador da mobilidade virtual no ensino superior.

4. SESSÕES TEMÁTICAS COMO ESTRATÉGIAS PEDAGÓGICAS INOVADORAS

4.1 Sessão: Como Preparar Apresentações Públicas e Posters

4.1.1 Objectivos e metodologia da sessão

A sessão "Como Preparar Apresentações Públicas e Posters", realizada no dia 19 de Abril de 2024, teve como objectivo capacitar os estudantes para comunicar de forma eficaz ideias técnicas e científicas, tanto em contextos académicos como profissionais. A sessão foi facilitada por docentes da UEM e do ISEL, em ambiente virtual síncrono, com recurso à plataforma Zoom, e integrou estudantes de ambas as instituições em equipas mistas.

A metodologia adoptada foi centrada na aprendizagem activa e colaborativa. A estrutura da sessão combinou momentos expositivos com dinâmicas participativas, incluindo:

- Dinâmica de grupo (*Icebreaker*) inicial para activar os conhecimentos prévios e estabelecer um clima de confiança;
- Apresentação de princípios fundamentais de *design* de apresentações e posters, com foco em clareza, impacto visual e gestão do tempo;
- Dinâmica de síntese de aprendizagem, onde os estudantes destacaram os principais pontos retidos;
- Trabalho em grupo em *breakout rooms*, para planear e conceber uma apresentação/poster com base num tema real;
- Partilha dos resultados e *feedback* em plenário (Figura 2)

Esta abordagem permitiu conjugar elementos visuais e argumentativos numa aprendizagem prática, contextualizada e crítica, potenciando a aplicação imediata dos conhecimentos adquiridos.

4.1.2 Dinâmicas, recursos utilizados e resultados de aprendizagem

Foram mobilizados diversos recursos didácticos para promover o envolvimento dos participantes e ilustrar boas e más práticas na comunicação científica, entre os quais:

- A apresentação "Death by PowerPoint" (Kapterev, 2010), que discute erros comuns em apresentações;
  O vídeo humorístico "Chicken Chicken Chicken" de Doug Zongker, usado para estimular reflexão crítica sobre forma e conteúdo;
- Guias práticos sobre elaboração de posters científicos e apresentações eficazes, incluindo material da *National Institutes of Health* (USA)

As actividades práticas resultaram na produção colaborativa de esboços de posters e apresentações, que foram avaliados em função da clareza da mensagem, da estrutura lógica, da adequação visual e da capacidade de síntese. Ao final da sessão, os estudantes partilharam, via menti.com, as três aprendizagens mais relevantes, o que permitiu consolidar o conhecimento e gerar dados qualitativos para reflexão dos facilitadores.

Os principais resultados de aprendizagem observados incluem:

- Aumento da confiança dos estudantes na preparação e entrega de apresentações públicas;
- Desenvolvimento da literacia visual e comunicacional;
- Melhoria na capacidade de trabalhar em equipa, gerir o tempo e receber *feedback* construtivo;
- Reflexão crítica sobre a eficácia da comunicação científica em contextos internacionais.

A figura seguinte mostra o resultado de uma dinâmica de encerramento da sessão:

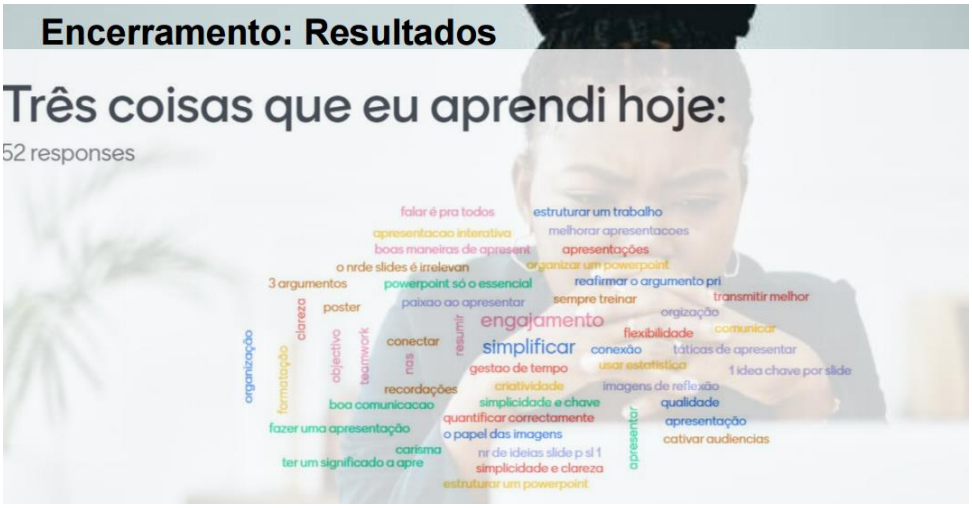


Figura 2: Wordcloud sobre a experiência de aprendizado dos participantes

A sessão demonstrou que, mesmo em ambientes virtuais, é possível criar situações de aprendizagem envolventes e transformadoras, desde que se mobilizem estratégias pedagógicas bem estruturadas, recursos apelativos e interacção significativa entre os participantes.

4.2 Sessão: Ferramentas para Revisão de Literatura

4.2.1 Estrutura da sessão e ferramentas exploradas

A sessão intitulada “Ferramentas para Revisão de Literatura”, realizada a 10 de Maio de 2024, teve como propósito principal capacitar os estudantes para conduzir de forma autónoma e eficaz a pesquisa, organização e análise de literatura científica. A sessão integrou-se na unidade curricular “Comunicação e Sociedade” e envolveu estudantes do ISEL e da UEM em ambiente de aprendizagem virtual síncrono.

A estrutura da sessão foi desenhada para combinar actividades demonstrativas, práticas e reflexivas, com os seguintes momentos:

- Introdução com revisão da actividade preparatória enviada antecipadamente;
- Apresentação breve das principais perguntas orientadoras para uma boa revisão de literatura (e.g., teorias-chave, lacunas, metodologias usadas);
- Demonstração de ferramentas tecnológicas por parte dos facilitadores;
- Actividades em grupos em salas de trabalho virtual (*breakout rooms*);
- Apresentação dos resultados e reflexão em conjunto.

Entre as ferramentas exploradas, destacaram-se:

- **Google Scholar** e **PubMed** para pesquisa bibliográfica geral e científica;
- **Elicit** e **ScholarAI**, como assistentes baseados em inteligência artificial para análise automática de artigos e resposta a perguntas de investigação;
- **2DSearch**, para construção de pesquisas booleanas visuais;
- **Zotero**, como gestor de referências bibliográficas e organizador de bibliotecas pessoais.

4.2.2 Aplicações práticas e impacto na aprendizagem

A sessão teve uma componente prática substancial, onde os estudantes, organizados em grupos mistos (ISEL-UEM), foram desafiados a:

- Identificar uma questão de investigação no domínio da engenharia e da sociedade;
- Utilizar uma ou mais ferramentas apresentadas para localizar e guardar artigos relevantes;
- Criar uma breve síntese inicial sobre o estado da arte em relação ao tema.

Estas tarefas foram concebidas para promover o pensamento crítico e a tomada de decisões informadas sobre critérios de qualidade, relevância e actualidade das fontes seleccionadas. A demonstração do Zotero pelos facilitadores destacou ainda a importância da organização bibliográfica desde as fases iniciais de um projecto académico, algo muitas vezes negligenciado nos primeiros anos da formação universitária.

Os resultados pedagógicos desta sessão foram notórios em três dimensões:

1. Autonomia digital: Os estudantes adquiriram maior confiança no uso de ferramentas avançadas de pesquisa científica.
2. Capacidade de análise e síntese: Desenvolveram aptidões para ler criticamente, comparar e articular ideias provenientes de múltiplas fontes.
3. Colaboração interdisciplinar e internaciona: A partilha de estratégias de pesquisa entre estudantes de diferentes contextos contribuiu para uma aprendizagem intercultural mais rica.

A figura 3 mostra a estrutura de dinâmica de grupo usada na sessão:

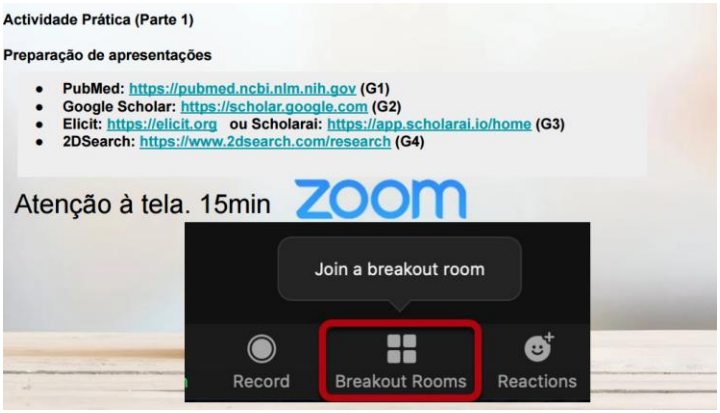


Figura 3 Plano de dinâmica de grupo

A sessão revelou-se um exemplo de integração entre alfabetização digital académica, trabalho colaborativo online e formação científica orientada para a acção, valores essenciais para um ensino superior inovador e globalmente conectado (Wang & Ghasemy, 2025; Perumal-Pillay et al., 2023).

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1 Resultados do inquérito de satisfação dos estudantes

Para avaliar a percepção dos estudantes sobre a experiência de mobilidade virtual, foi aplicado um inquérito online ao final do programa. No total, foram recolhidas 22 respostas válidas, correspondentes a estudantes das áreas de Engenharia Informática e Engenharia Eléctrica, com predominância de estudantes nos anos finais da licenciatura (4.º ao 5.º ano).

A caracterização demográfica da amostra evidencia uma diversidade de perfis. As idades variaram entre 21 e 40 anos, com uma média de 26,8 anos, mediana de 24 anos e desvio padrão de 5,7 anos. Estes dados indicam a presença tanto de estudantes em trajectória contínua como de perfis mais maduros, possivelmente em regime de tempo parcial ou com percurso académico retomado. A Tabela 1 sintetiza esses dados.

Tabela 1: Estatísticas descritivas da idade dos participantes

Indicador	Valor
Mínimo	21 anos
Máximo	40 anos
Média	26,8 anos
Mediana	24 anos
Desvio padrão	5,7 anos
Total de respostas	21

Relativamente à formação, a maior parte dos estudantes era do curso de Engenharia Informática, como mostra a Tabela 2. Estes dados reflectem o público-alvo da unidade curricular "Comunicação e Sociedade", concebida para promover competências complementares num momento avançado da formação académica.

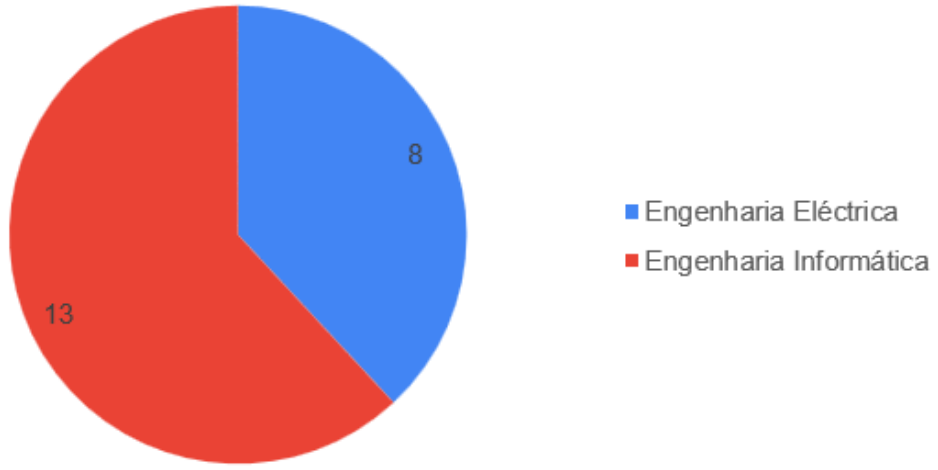


Gráfico 1: Distribuição dos estudantes por curso

Em termos de impactos pedagógicos percebidos, os dados foram globalmente positivos:

- 68% dos estudantes indicaram que a mobilidade contribuiu para o desenvolvimento das suas competências interculturais. Este valor foi de 100% na modalidade híbrida.
- O impacto académico médio foi de 3,1/5 para a mobilidade virtual e 3,7/5 para a híbrida.
- O impacto pessoal médio foi de 3,6/5 na modalidade virtual e 4,0/5 na híbrida.
- 91% dos estudantes afirmaram que recomendariam a experiência a outros colegas.

A Tabela 2 resume esses dados por tipo de mobilidade:

Tabela 2: Resumo do impacto por tipo de mobilidade

Tipo de Mobilidade	Nº que desenvolveram competências interculturais	Impacto académico (média)	Impacto pessoal (média)	Nº que recomendariam a experiência
Híbrida	3	3,7	4,0	3
Virtual	12	3,1	3,6	17

Estes dados evidenciam que, mesmo com as limitações próprias do ambiente virtual, a experiência de mobilidade promoveu aprendizagens significativas. A modalidade híbrida destacou-se ligeiramente, reforçando a importância do contacto directo, ainda que digital, com contextos de ensino distintos. A mobilidade online, quando bem estruturada, mostra-se uma estratégia pedagógica eficaz, inclusiva e viável para o ensino superior africano.

5.2 Benefícios reportados pelos participantes

As respostas abertas do inquérito revelam uma ampla variedade de benefícios percebidos pelos estudantes, com destaque para aspectos relacionados com a partilha de conhecimento, interacção intercultural e aprendizagem colaborativa.

De entre os aspectos mais valorizados, a exposição a novas ideias e perspectivas culturais surge como um dos pontos fortes da experiência. Vários estudantes referiram explicitamente o contacto com realidades distintas, como um elemento enriquecedor da sua formação, destacando “a interculturalidade”, “intercâmbio com outras culturas” e “interacção com estudantes de diferentes etnias”.

Outro grupo de respostas enfatiza a colaboração em grupo e a coautoria, com menções à “troca de experiências profissionais”, “as actividades em grupos” e “a oportunidade de trabalhar com pessoas de várias formações”. Estes comentários indicam que a mobilidade virtual não apenas favoreceu o contacto entre culturas, mas também promoveu uma prática pedagógica centrada na cooperação e na co-construção de conhecimento.

A seguir apresenta-se uma síntese dos aspectos mais frequentemente mencionados:

Tabela 3: Aspectos mais valorizados pelos estudantes

Aspecto mais valorizado	Frequência
Os conteúdos apresentados	2
Elaboração de relatório	1
Troca de experiências profissionais	1
Actividades em grupos	1
Interculturalidade	1
Novas ideias e diferentes pontos de vista	1
Sessões gravadas com possibilidade de revisão	1
Partilha de conhecimento	1
Atenção dos docentes aos estudantes	1
Interacção com outras culturas e etnias	2+
Conhecimento partilhado	1
Capacidade de impactar a tomada de decisão	1

Estes resultados reforçam a eficácia da estratégia pedagógica adoptada, em especial no que toca ao desenvolvimento de competências interculturais, comunicação e trabalho em equipa, competências essenciais para a formação de engenheiros globais.

A diversidade das respostas também evidencia que a mobilidade virtual foi capaz de gerar envolvimento afectivo e intelectual, mesmo sem contacto presencial. Esta constatação sublinha o potencial do modelo para ambientes de ensino superior em contextos com restrições geográficas e infraestruturais, como é o caso de muitas instituições africanas.

5.3 Desafios enfrentados e lições aprendidas

Apesar da avaliação globalmente positiva, os estudantes também identificaram vários desafios e áreas de melhoria. A análise das respostas abertas revelou dois grandes eixos de preocupação: aspectos técnicos e infraestruturais, e necessidade de maior interacção entre os participantes.

Do ponto de vista técnico, problemas de conectividade, falhas de áudio e vídeo, e limitações na estabilidade das sessões virtuais foram mencionados por diversos estudantes. Comentários como "a qualidade das sessões virtuais não é das melhores" e "problemas técnicos de escuta e visualização" indicam que, embora o modelo virtual seja promissor, depende fortemente de condições técnicas adequadas, uma limitação estrutural recorrente no contexto africano. Este aspecto foi o mais citado nas sugestões de melhoria.

No domínio pedagógico, os estudantes pediram mais actividades interactivas, maior frequência de sessões síncronas, aumento das oportunidades de intercâmbio directo entre estudantes e melhor articulação com os fusos horários locais. Também foram sugeridas melhorias na dinâmica das sessões e na adaptação do conteúdo aos diferentes níveis de formação, com propostas para introdução de temas mais avançados para os estudantes do 5.º.

A seguir, apresenta-se uma tabela com as sugestões de melhoria mais frequentes:

Tabela 5: Sugestões de melhoria indicadas pelos estudantes

Sugestão de melhoria	**Frequência**
Melhorias técnicas (internet, áudio, vídeo)	3
Mais interacção entre estudantes	2+
Aumentar número de sessões e intercâmbios	2+
Fornecimento de certificados	1
Tornar o sistema mais simples e dinâmico	1
Atenção ao fuso horário nas sessões	1
Inclusão de conteúdos mais avançados	1
Mais sessões com foco científico	1

Estes comentários sugerem que, para consolidar a eficácia do modelo, é necessário acompanhar a dimensão pedagógica com investimentos em infraestrutura e desenho instrucional. As lições aprendidas incluem:

- a importância da preparação técnica prévia dos participantes;
- a necessidade de equilibrar a carga horária síncrona com autonomia orientada;
- e o valor de estratégias de facilitação activa, que promovam interacção significativa mesmo em contextos remotos.

As sugestões apontadas fornecem uma base concreta para aperfeiçoar futuras edições do programa e reforçam a ideia de que a qualidade da experiência virtual depende tanto do conteúdo como da forma de entrega e do contexto de acesso dos estudantes.

6. DISCUSSÃO

6.1 Confronto com a literatura existente

Os resultados obtidos com esta experiência de mobilidade virtual e coensino entre o ISEL e a UEM alinham-se com diversos estudos recentes sobre internacionalização à distância e práticas pedagógicas inovadoras no ensino superior.

Tal como descrito por Breaden et al. (2023), a mobilidade virtual pode reorganizar as capacidades de agência dos estudantes, sobretudo quando estes são tratados como co-criadores da experiência de aprendizagem. No presente estudo, observou-se esse empoderamento na forma como os estudantes participaram activamente na preparação de apresentações, nos debates temáticos e na produção colaborativa de conhecimento, mesmo em contexto remoto. A valorização da interacção entre pares e da partilha de experiências interculturais confirma o potencial de abordagens centradas no modelo *"students as partners*" (Mercer-Mapstone et al., 2017).

A experiência também corrobora os achados de Ngalomba, Mkwananzi e Mukwambo (2025), que apontam a mobilidade virtual como uma via de internacionalização viável e inclusiva nos contextos do Sul Global, desde que acompanhada por estratégias institucionais de apoio técnico e pedagógico. A realidade observada, marcada por limitações tecnológicas, mas compensada por forte motivação estudantil e dedicação docente, reforça esta visão. Tal como no caso da Tanzânia analisado por Ngalomba, Mkwananzi e Mukwambo (2025) , a cooperação institucional entre universidades africanas e europeias revelou-se uma estratégia eficaz para mitigar desigualdades estruturais.

No contexto africano, experiências como as descritas por Vahed (2024) mostram que as trocas COIL promovem proximidades cognitivas e sociais entre estudantes de diferentes geografias. Este fenómeno foi confirmado nesta colaboração ISEL-UEM, onde as dinâmicas em grupo, os debates e as sessões síncronas fomentaram um sentido de comunidade e pertença, mesmo à distância. Os estudantes demonstraram ter desenvolvido não apenas competências técnicas, mas também empatia, respeito pela diversidade e maior abertura para o diálogo intercultural.

A presente experiência também se enquadra nas tendências destacadas por Wang e Ghasemy (2025) na sua análise bibliométrica: a mobilidade virtual é um campo em expansão, centrado no uso de tecnologias colaborativas e no fortalecimento da literacia digital. A inclusão de ferramentas como Zotero, ScholarAI e Elicit nas sessões temáticas respondeu directamente a essa necessidade de capacitar os estudantes para um ecossistema científico digitalizado, onde saber pesquisar, organizar e comunicar se torna tão importante quanto o conteúdo em si.

Por fim, importa referir que esta iniciativa oferece uma resposta prática às limitações da política de internacionalização de Moçambique identificadas por Ndaipa, Edström e Geschwind (2022). Enquanto a política nacional ainda privilegia formas tradicionais de mobilidade, esta experiência demonstra que há espaço para soluções inovadoras, mais acessíveis e mais sustentáveis em linha com os Objectivos de Desenvolvimento Sustentável e as directrizes da Agenda 2063 da União Africana.

6.2 Contribuições para a pedagogia no ensino superior

A experiência de mobilidade virtual implementada entre o ISEL e a UEM revela importantes contribuições para a pedagogia no ensino superior, particularmente em contextos marcados por restrições estruturais e necessidade de inovação curricular.

Uma das principais contribuições reside na integração coerente de metodologias activas com ferramentas digitais de apoio à aprendizagem, num contexto internacional colaborativo. A estrutura da unidade curricular "Comunicação e Sociedade" demonstrou que é possível articular sessões expositivas, debates temáticos, produção colaborativa e investigação autónoma, mesmo em regime não presencial. Este equilíbrio entre orientação docente e autonomia estudantil permitiu o desenvolvimento simultâneo de competências técnicas, comunicacionais e interculturais.

Adicionalmente, a experiência destacou o papel do docente como facilitador de aprendizagem distribuída, substituindo gradualmente a lógica transmissiva por um modelo horizontal de co-construção do conhecimento. A presença de múltiplos docentes, de diferentes nacionalidades e áreas de especialidade, possibilitou aos estudantes o contacto com uma diversidade de perspectivas e estilos de ensino, um aspecto desafiante no contexto do ensino superior nacional. Esta diversidade docente constituiu uma mais valia pedagógica e reforçou o valor da internacionalização "em casa" como estratégia transformadora.

Do ponto de vista institucional, a iniciativa demonstrou que é viável criar comunidades de aprendizagem interculturais em ambientes digitais, promovendo valores como a cooperação, o respeito pela diversidade e a responsabilidade partilhada. Estas comunidades favorecem uma aprendizagem com significado, onde o estudante não é apenas receptor, mas agente activo de um processo formativo contextualizado e socialmente relevante.

Outro contributo significativo foi a valorização da literacia digital académica como componente transversal à formação em engenharia. A introdução de ferramentas como ScholarAI, Elicit e Zotero nas sessões de revisão de literatura permitiu aos estudantes não só melhorar as suas competências de investigação, mas também reflectir sobre a qualidade, relevância e fiabilidade das fontes de informação em ambientes académicos e profissionais.

Esta experiência representa uma resposta concreta aos desafios de inclusão, equidade e inovação no ensino superior africano, oferecendo um modelo alternativo e replicável de internacionalização e ensino colaborativo. Tal como sugerido por estudos anteriores (Vahed, 2024; Wang & Ghasemy, 2025), estas práticas têm o potencial de democratizar o acesso a uma educação superior de qualidade, com base na cooperação tecnológica e pedagógica entre instituições geograficamente distantes, mas alinhadas em valores comuns de transformação educativa.

6.3 Limitações e possibilidades de melhoria

Apesar dos resultados positivos e das contribuições pedagógicas identificadas, a presente experiência de mobilidade virtual não esteve isenta de limitações, as quais devem ser consideradas na sua análise crítica e na concepção de futuras iniciativas.

A principal limitação identificada refere-se à infraestrutura tecnológica. A instabilidade da ligação à internet, aliada a falhas pontuais nos sistemas de áudio e vídeo, afectou a fluidez das sessões síncronas e limitou a participação plena de alguns estudantes. Esta limitação, também amplamente reportada em estudos sobre mobilidade virtual em África (Ngalomba et al., 2025; Nooraldaim & Hagley, 2024), evidencia a necessidade de investimento institucional em infraestrutura digital e suporte técnico, especialmente em universidades com contextos de vulnerabilidade tecnológica.

Outro desafio recorrente foi o nível desigual de preparação técnica e metodológica entre os participantes. Embora a diversidade de perfis tenha enriquecido a experiência, a ausência de sessões introdutórias sobre ferramentas digitais e metodologias de trabalho colaborativo online

poderá ter condicionado a participação de alguns estudantes, sobretudo no início do programa. Esta constatação aponta para a importância de incluir momentos de ambientação e formação inicial nas futuras edições.

A assimetria de fusos horários e os diferentes calendários académicos entre as instituições também apresentaram obstáculos operacionais, exigindo maior flexibilidade e adaptação dos docentes e estudantes envolvidos. A dificuldade em encontrar horários comuns, bem como o cansaço associado a sessões prolongadas no final do dia, foram mencionados como factores a rever.

No plano pedagógico, algumas sugestões dos estudantes apontaram para a necessidade de:

- Aumentar a interacção entre turmas e promover actividades mais frequentes em grupo;
- Ajustar os conteúdos às especificidades dos níveis de formação, nomeadamente introduzindo temas mais avançados para estudantes do 5.º ano;
- Melhorar a dinâmica das sessões síncronas, incluindo momentos mais interactivos e lúdicos.

A incorporação de estratégias de *design* instrucional mais adaptativas, o uso de plataformas leves e móveis, e o planeamento antecipado com maior alinhamento institucional são caminhos promissores para ultrapassar as limitações identificadas, e permitir uma melhoria contínua deste modelo.

Apesar destas dificuldades, a experiência demonstrou que a mobilidade virtual é viável, relevante e desejável como complemento e, em alguns casos, alternativa à mobilidade física. Com aperfeiçoamentos estruturais e pedagógicos, o modelo testado poderá ser escalado para outras instituições do espaço lusófono e africano, reforçando o compromisso com uma internacionalização mais equitativa e sustentável.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Síntese das principais conclusões

A experiência de mobilidade virtual desenvolvida entre o ISEL e a UEM demonstrou ser uma estratégia pedagógica inovadora e eficaz para promover competências transversais, interculturais e científicas entre estudantes do ensino superior. Através de uma unidade curricular estruturada em sessões temáticas colaborativas, aliando trabalho autónomo, interacção síncrona e uso intensivo de ferramentas digitais, foi possível criar um ambiente de aprendizagem significativo, inclusivo e globalmente conectado.

Os dados recolhidos junto dos participantes evidenciam ganhos claros em termos de:

- Desenvolvimento de competências de comunicação e investigação;
- Valorização da diversidade docente e do trabalho em equipas multiculturais;
- Fortalecimento de competências interculturais e digitais;
- Envolvimento activo em práticas colaborativas online.

Apesar de limitações relacionadas com infraestrutura técnica e sincronização institucional, a iniciativa contribuiu para redefinir o modo como a internacionalização pode ser concebida e praticada no espaço africano lusófono, abrindo caminho para formas mais acessíveis, sustentáveis e equitativas de cooperação académica.

7.2 Recomendações para futuras colaborações

Com base nas lições aprendidas, apresentam-se as seguintes recomendações para futuras edições e réplicas desta experiência:

1. Investir em sessões preparatórias (tecnológicas e metodológicas) para nivelar conhecimentos e competências de entrada;
2. Ajustar os conteúdos à maturidade académica dos participantes, promovendo maior alinhamento com os seus percursos curriculares;
3. Reforçar a coordenação institucional, com calendários integrados e definição clara de compromissos entre equipas docentes;
4. Promover interacção estruturada entre estudantes, com tutoria interpares, momentos sociais online e projectos colaborativos com entrega conjunta;
5. Assegurar gravação e repositório acessível dos materiais, para garantir continuidade e equidade no acesso ao conhecimento.

7.3 Perspectivas de escalabilidade e replicação

A experiência aqui descrita apresenta-se como um modelo viável de internacionalização digital "em casa", com alto potencial de replicação em contextos de língua portuguesa e em outras instituições africanas. A simplicidade estrutural, o uso de ferramentas abertas e a flexibilidade metodológica tornam este modelo facilmente adaptável a outras realidades, respeitando os princípios da inclusão e da coautoria.

A replicação deste modelo poderá ser particularmente útil:

- Em programas de mestrado e unidades curriculares optativas;
- Em redes universitárias da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP) ou da Comunidade de Desenvolvimento da África Austral (SADC);
- Em contextos com dificuldades de mobilidade física, onde a virtualização representa uma janela de internacionalização possível e justa.

Neste sentido, recomenda-se que os resultados desta iniciativa sejam disseminados junto de redes académicas, agências de cooperação e decisores institucionais, como um exemplo concreto de prática pedagógica transformadora, enraizada na colaboração internacional, na valorização da diversidade e na promoção de competências globais para o século vinte e um.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

African Union Commission. (2022). *A Second Continental Report on The Implementation of Agenda 2063*. https://au.int/sites/default/files/documents/41480-doc-2nd_Continental_Progress_Report_on_Agenda_2063_English.pdf

Breaden, J., Do, T., dos Anjos-Santos, L. M., & Normand-Marconnet, N. (2023). Student empowerment for internationalisation at a distance: Enacting the students as partners approach in virtual mobility. *Higher Education Research & Development, 42*(5), 1182–1196. https://doi.org/10.1080/07294360.2023.2193728

Buckley, C., & Kukhareva, M. (2021). Making Inspiration Mainstream: Innovative Pedagogies for the Real World. In D. A. Morley & M. G. Jamil (Eds.), Applied Pedagogies for Higher Education (pp. 269–297). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46951-1_12

Gutema, D. M., Pant, S., & Nikou, S. (2024). Exploring key themes and trends in international student mobility research: A systematic literature review. *Journal of Applied Research in Higher Education, 16*(3), 843–861. https://doi.org/10.1108/JARHE-05-2023-0195

Henderson, J. B., Norris, C. M., & Hornsby, E. R. (2024). Refining Higher Education's Core Competence and Its Shaping Influence on the Future of Learning and Work, 9(2). https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1436050.pdf

Loureiro, P., Dieguez, T., & Ferreira, I. (2022). Higher education as a driver for sustainable transformation and leadership. International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation, 270–277. https://doi.org/10.54660/anfo.2022.3.4.13

Marginson, S., & van der Wende, M. (2007). *Globalisation and Higher Education* (OECD Education Working Papers, No. 8). OECD Publishing.

Mendes, A. R. M., & Finardi, K. R. (2023). Towards More Cooperative/Inclusive Internationalization: Insights from a South/North Virtual Mobility Project. Education and Linguistics Research, 9(1), 26. https://doi.org/10.5296/elr.v9i1.20924

Mercer-Mapstone, L., Dvorakova, S. L., Matthews, K. E., Abbot, S., Cheng, B., Felten, P., Knorr, K., Marquis, E., Shammas, R., & Swaim, K. (2017). A Systematic Literature Review of Students as Partners in Higher Education. International Journal for Students as Partners, 1(1). https://doi.org/10.15173/ijsap.v1i1.3119

Ndaipa, C. J., Edström, K., & Geschwind, L. (2022). National policy for internationalisation in higher education: The case of Mozambique. *Nordic Journal of Comparative and International Education (NJCIE), 6*(2), 42–61. https://doi.org/10.7577/njcie.4763

Ngalomba, S., Mkwananzi, F., & Mukwambo, P. (2025). Internationalisation at a distance via virtual mobility in the Global South: Advances and challenges. *British Journal of Educational Technology*. https://doi.org/10.1111/bjet.13557

Nooraldaim, A., & Hagley, E. (2024). Virtual exchange in Africa – The case of Sudan. In T. Wilson & D. Li (Eds.), *Hybrid Learning in English Language Teaching: Motivation, Challenges and Opportunities* (pp. 130–150). Cambridge Scholars Publishing.

Perumal-Pillay, V. A., Bangalee, V., Oosthuizen, F., Andonie, G., & Rotundo, H. (2023). Shared learning experiences: Pilot study of an online exchange project between pharmacy students in South Africa and the United States. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning, 15*(10), 1278–1284. https://doi.org/10.1016/j.cptl.2023.06.021

Ter Beek, M., Wopereis, I., & Schildkamp, K. (2022). Don't Wait, Innovate! Preparing Students and Lecturers in Higher Education for the Future Labor Market. Education Sciences, 12(9), 620. https://doi.org/10.3390/educsci12090620

Vahed, A. (2024). Increasing proximities and reducing distances through COIL virtual exchanges. *The Independent Journal of Teaching and Learning, 19*(1), 54–65. https://doi.org/10.17159/ijtl.v19i1.18846

Wang, T., & Ghasemy, M. (2025). A bibliometric analysis of virtual mobility: An emerging approach to internationalisation of education. *SAGE Open, 15*(2). https://doi.org/10.1177/21582440251336123

Wekerle, C., Daumiller, M., & Kollar, I. (2022). Using digital technology to promote higher education learning: The importance of different learning activities and their relations to learning outcomes. Journal of Research on Technology in Education, 54(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/15391523.2020.1799455

Painel V: Energia

22177 COMPORTAMENTO DE ÓLEOS ISOLANTES MINERAIS E VEGETAIS EM ENSAIOS DE CORRENTE CONTÍNUA. António Fernando Martins Cardoso; António Machado e Moura; José Rui Ferreira; Bernardo Marques Amaral Silva; Carlos Araújo Sá; Ricardo Castro Lopes; Mário Soares. 461

22184 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO PARA A CIDADE DA BEIRA, MOÇAMBIQUE. Belzénia Matsimbe; Alberto Mavume; Alberto Bié. 463

22189 METHANOL SYNTHESIS VIA DIRECT METHANE OXIDATION. Leila Parruque Jossias; Klaus Möller 465

22196 PLANEAMENTO ENERGÉTICO PARA A INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUL DE MOÇAMBIQUE. Gimo A. T. Joaque. 467

22200 CAPACITAR MOÇAMBIQUE: SINERGIA UNIVERSITÁRIA NA TRANSIÇÃO E AVANÇOS NA QUALIDADE DE VIDA. Bruno J. Cardoso; Marco Fernandes; Jasse Semente; Cosme Lingongo; Nelson Envelope; Eugénio Rodrigues; Adélio R. Gaspar. 471

22206 OCORRÊNCIA DE HIDROGÉNIO NATURAL EM MOÇAMBIQUE: UMA FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVÁVEL. Idalina Muchanga; Luís Magaia; Júlio Carneiro; Paulo Mesquita; Augusto Mazezo; Salvador Mondlane Júnior; Daúd Jamal; Gilberto Bauque; Helton Massingue. 483

22227 MODELAÇÃO ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTE URBANO: CASO REAL NO PORTO - PORTUGAL. André Silva; Ana I. Palmero-Marrero; Armando C. Oliveira. 493

22476 OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ISOLADOS PARA ELECTRIFICAÇÃO RURAL CONSIDERANDO A PROBABILIDADE DE PERDA DE CARGA. Verónica Anastância Rafael Wamusse; Leonel João Muthemba; Edson Afonso Joaquim Punguane; Eldomar José Zita1; João Lusito Alberto Mondlane. 503

22489 ANÁLISE DO BACKGROUND NOISE EM ENSAIOS DE DESCARGAS PARCIAIS NO LAT/FEUP. Antonio Fernando Martins Cardoso; António Machado e Moura; Bernardo Marques Amaral Silva; José Rui Ferreira; Matias Fabricius; Mateus Laranjeira. 505

22686 MELHORAR O DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES DE PEROVSKITE ATRAVÉS DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE CAPTURA DE LUZ. Jenny L. N. Boane; Edgar Coimbra; Daniel Camilo; Elvira Fortunato; Rodrigo Martins; Ugur D. Menda; Manuel J. Mendes; Hugo Águas. 517

23458 ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIOGÁS COM VISTA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA ALIMENTAR UMA ÁREA EM KATEMBE. Augusto N. Júnior; Fernando H. Chachaia. 519

23518 ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY POLICIES IN THE HEALTH SECTOR IN THE CITY OF BEIRA. Sandro Luis Rodrigues Pais; Vasco Munguare Penente; Júlio Acácio Pacheco; Calulo Artur Chataza. 521

23523 DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE USINA TERMOELÉTRICA MULTIFUNCIONAL COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURAIS EM MOÇAMBIQUE. Edilton I. Chitata, Zefanias Mabote 537

23536 COMPREHENSIVE ANALYSIS OF COCONUT OIL PRODUCTION CAPACITY AND PRACTICES IN INHAMBANE PROVINCE, MOZAMBIQUE: A PATHWAY TOWARD RENEWABLE BIODIESEL FEEDSTOCK. Fana G. Gebremichael; António José Cumbane. 539

23553 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA GASOLINA NA CADEIA DE ABASTECIMENTO NAS BOMBAS DA CIDADE DE MAPUTO. Jéssica Sérgio Mussivane; Estêvão Pondja. 545

ARTIGO Nº22177

COMPORTAMENTO DE ÓLEOS ISOLANTES MINERAIS E VEGETAIS EM ENSAIOS DE CORRENTE CONTÍNUA

Antonio Fernando Martins Cardoso[1(*)], António Machado e Moura[1], José Rui Ferreira[1], Bernardo Marques Amaral Silva[1], Carlos Araújo Sá[1], Ricardo Castro Lopes[2], Mário Soares[3]

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Laboratório de Alta Tensão - Porto, Portugal
[2] EFACEC – Transformers R&D, [3]Redes Energéticas Nacionais – REN
[(*)] *E-mail:* afmc@fe.up.pt

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo apresentar o processo de avaliação da evolução do comportamento dielétrico de óleos isolantes de origem mineral (*Nynas Nytro Taurus*) e vegetal (*Envirotemp FR3*), quando submetidos a ensaios de alta tensão em corrente contínua de valor +20kV$_{DC}$. É utilizada como ferramenta de avaliação do comportamento dielétrico, a medição do fator de perdas dielétricas, ao nível de tensão de 10kV. É realizado o levantamento de um conjunto de amostras de medições que permitem avaliar e comparar, ao longo de um período de uma semana, quais foram os efeitos nos óleos minerais e vegetais, em termos de degradação da respetiva capacidade de isolamento.

Palavras-chave: comportamento dielétrico, óleos isolantes, mineral e vegetal, degradação.

INTRODUÇÃO

A implementação de diretrizes com base nos conceitos de desenvolvimento sustentável não se limita somente ao processo de geração de energia elétrica com fontes limpas e renováveis, mas também implica a utilização de materiais e produtos menos danosos ao meio ambiente (*eco-friendly*) por parte da indústria de produção de energia elétrica. Todavia, esse procedimento deve ser realizado tendo em atenção aos requisitos técnicos e operacionais.

A substituição dos óleos minerais por óleos vegetais como elementos dielétricos em sistemas de isolamento de ativos, em especial em transformadores, enquadra-se nesta proposta de desenvolvimento sustentável (Shen *et tal*). Rumpelt (2017) apresentou estudos baseados na condutividade do óleo vegetal (*FR3*) para sistemas de isolamento de ativos em HVDC. Deve ser destacado que, embora os transformadores sejam utilizados essencialmente em corrente alternada, por vezes há uma componente de tensão em corrente contínua (Tensão de *Offset*) que deve ser considerada nos estudos de isolamento.

Neste artigo são apresentados os resultados do desempenho de cada um dos óleos isolantes (mineral e vegetal) após ensaios de alta tensão em corrente contínua, através do ensaio de medição do fator de perdas dielétricas durante o período de uma semana. Por conseguinte, é realizada uma análise comparativa entre os óleos de naturezas distintas, com o propósito de se avaliar se, o óleo vegetal pode substituir o óleo mineral, na perspetiva do desempenho dielétrico.

REFERÊNCIAS

Shen, Z., Wang, F., Wang, Z., Li, J., A Critical Review of Plant-Based Insulating Fluids for Transformer: 30-Year Development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.141, 2021.
Rumpelt, P., Jenau, F., Oil Impregnated Pressboard Barrier Systems Based on Ester Fluids for an Application in HVDC Insulation Systems, Energies, Vol.10, No.12, pp.2147, 2017.

ARTIGO Nº22184

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE BÁSICA DO VENTO PARA A CIDADE DA BEIRA, MOÇAMBIQUE

Belzénia Matsimbe [1, (*)], Alberto Mavume [2], Alberto Bié [3]

[1] Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Departamento de Tecnologias de Construção, Moçambique
[2] Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Física, Moçambique
[3] Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Departamento de Pesquisa e Extensão, Moçambique
[(*)] *Email:* belzenia.matsimbe@isutc.ac.mz / up202408583@up.pt

RESUMO

O objetivo deste trabalho é determinar a velocidade básica do vento a ser usada como critério de projeto de infraestruturas na Cidade da Beira. A análise será efetuada utilizando a distribuição generalizada de valores extremos aplicada à velocidade máxima anual do vento, obtidas de estações meteorológicas localizadas na Cidade da Beira, e posterior comparação aos valores de velocidade básica do vento apresentadas na NP EN 1991-1-4 (norma portuguesa). Espera-se que os resultados do trabalho, apontem para a necessidade de determinação de valores de velocidade do vento locais a ser usadas em projetos, como fator determinante para a adaptação climática das infraestruturas.

***Palavras-chave**:* velocidade básica do vento, infraestruturas, teoria de valores extremos.

INTRODUÇÃO

A velocidade básica do vento é um parâmetro de grande importância para a segurança das infraestruturas, que deve ser definido na norma de projeto local em função da climatologia (Brandão, 2017). Vários estudos abordam de maneira distinta a sua determinação, mas são unâmines quanto à utilização dos dados meteorológicos e da teoria de valores extremos como método de análise desses dados (Vallis, 2019).

Moçambique, não dispõe de normas de projeto próprias e recorre à norma portuguesa para a definição do valor de velocidade básica do vento. Esta prática pode propiciar a fragilidade das infraestruturas nacionais à ação do vento, sobretudo em zonas de risco de ciclones, como a Cidade da Beira. Assim sendo, torna-se necessário o estudo da climatologia local para determinar os valores de velocidade básica de vento a ser usados como critérios de projeto nas infraestruturas nacionais. Espera-se com este trabalho fornecer subsídios para a adaptação climática das infraestruturas e para a criação de normas de projeto nacionais.

REFERÊNCIAS

Brandão,R.P., Velocidade básica do vento obtida de estações meteorológicas automáticas no rio grande do sul. Monografia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2017.

Eurocódico 1. Norma Portuguesa: Quantificação de Acções – EN 1991-1-4, 2009.

Vallis, M.B., Brazilian extreme wind climate, Teste de Doutoramento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.

PAPER Nr.22189

METHANOL SYNTHESIS VIA DIRECT METHANE OXIDATION

Leila Parruque Jossias[1(*)], Klaus Möller[2]
[1]Eduardo Mondlane University, Faculty of Engineering (FEUEM) – Maputo, Mozambique
[2]University of Cape Town, Department of Chemical Engineering, - Cape Town, South Africa
(*)*Email :* pleiladeizy@gmail.com

ABSTRACT

Direct conversion of methane to methanol (DMTM) has been attracting significant attention since it was found possible in the early 20th century because of its great industrial potential for the efficient utilization of abundant natural gas reserves. In this reseach it was proposed to design, simulate and to evaluate the energetic viability of DMTM. Two flowsheets were built in COCO simulator. The first for methanol synthesis based on autothermal reforming (ATR) and the second for direct methanol synthesis through methane oxidation. Parametric studies were performed and the optimization of variables (Molar ratio, H2\CO ratio, methane conversion, methanol overall methanol overall selectivity and yield, energy requirement) was done using a Scilab code. The results indicate the DMTM can be energetically viable. In this study the energy requirement was minimised at 13% methane per pass conversion and 87% methanol per pass selectivity.
Key words: Methane, ATR, Syngas, Methanol synthesis, Energy requirement

INTRODUCTION

Methanol is a clean and sustainable energy resource that can be produced from different sources, traditional or renewable: natural gas, coal, biomass, landfill gas and power plant/industrial emissions. An important source is CO2, which can be recovered from industrial sites and, eventually, from the atmosphere. Actually, the dominant feedstock for methanol production is natural gas, and this will likely continue to be the case for many years, especially due to the large strides recently made in shale gas production. Using this feedstock, methanol is generated indirectly via syngas, which is a common procedure. In this process, the first step is the conversion of methane into a gas mixture of CO and H2, (syngas), a very energy - expensive phase, and the second step is the catalytic conversion of syngas into methanol. Another route is direct methane oxidation which is a new catalytic and challenging process. DMTM has been a research topic for more than a century and lies in the activation of the H3C-H bond in methane, which implies the use of extreme conditions or a very active catalyst for its activation. On the other hand, due to the lower H2OHC-H dissociation energy, the desired product, methanol is more readily converted to consecutive oxidation products such as CO and CO2 (Guo, 2015). There is considerable literature on the process chemistry of DMTM, but studies that consider the engineering aspects are less abundant. Therefore, in this study it is proposed to design two flowsheets for methanol synthesis processes, one through syngas route based in ATR and other through direct methane oxidation in order to compare the energy input for both and evaluate viability.

RESULTS

The carbon efficiency/overall yield of the classical process is (83%) slightly higher than the direct process (79%), without optimization, however the value obtained for direct methane in this simulation is higher than those mentioned in the literature as a result of different operating conditions for the overall process.

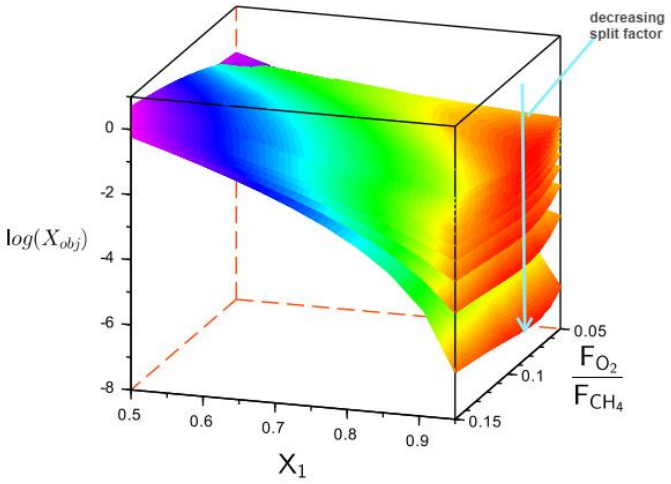


Figure 1: Objective function vs. O2 ratio and X1 at different split factors

The energy required to convert methane in methanol trough the indirect route is 229 kJ/mol while for the direct route the energy required is 185 kJ/mol at the same yield (83%). For DMTM the energy requirement decreases with purge ratio, methane overall conversion, methanol overall yield and but does not affect methanol overall selectivity. The energy requirement was minimised at 13% methane per pass conversion and 87% methanol per pass selectivity (Fig. 1), this corresponds to a yield of 87%.

REFERENCES

1. Hydrogen Generation via Membrane Reactor Technology", Membranes, 8, 4, p.98
2. Deligeorgiou, G., Gounaris, K., (2014), "Natural gas as a source of energy", Conference on Advances in Management, Economics and Social Science, Roma
3. English, A., Brown, J., Rovner, J., Davies, S., "Process Technology" available in 9348 209..213 (uct.ac.za)> in accessed in 03/10/2022
4. ENI, (2015), "Natural Gas", available https://www.eniscuola.net in accessed in 03/10/2020
5. Ghoneim, S., El-Salamony, A., El-Temtamy, S., (2016), "Review on Innovative Catalytic Reforming of Natural Gas to Syngas", World Journal of Engineering and Technology, 4, 1, p. 116-139
6. Guo, J. (2015), "Partial Oxidation of Methane to Methanol Over Bi Promoted Pt Catalysts", Research Proposal, University of Cape Town
7. Han, B., Yang, Y., Xu, Y., Etim, U., Quiao, K., Xu, B., Yan, Z., (2016), "A Review of the Direct Oxidation of Methane to Methanol" Chinese Journal of Catalysis,37, 8, p.1206-1215
8. Hanlon, J., Nuvunga, A., (2015), "Gas for development or just for money?", Good Governance, Transparency and Integrity, 08, p. 1-13
9. Henrik, S., Becker-Hardt, S., Sattler, C., (2018), "(Solar) Mixed Reforming of Methane: Potential and Limits in Utilizing CO2 as Feedstock for Syngas Production—A Thermodynamic Analysis", Energies, 11, 10, p. 2537
10. Khirsariya, P., Mewada, R., (2013), "Single step oxidation of methane to methanol- towards better understanding", Procedia Engineering, 51, 2013, p. 409-415

PAPER Nr.22189

METHANOL SYNTHESIS VIA DIRECT METHANE OXIDATION

Leila Parruque Jossias[1(*)], Klaus Möller[2]
[1]Eduardo Mondlane University, Faculty of Engineering (FEUEM) – Maputo, Mozambique
[2]University of Cape Town, Department of Chemical Engineering, - Cape Town, South Africa
(*)*Email :* pleiladeizy@gmail.com

ABSTRACT

Direct conversion of methane to methanol (DMTM) has been attracting significant attention since it was found possible in the early 20th century because of its great industrial potential for the efficient utilization of abundant natural gas reserves. In this reseach it was proposed to design, simulate and to evaluate the energetic viability of DMTM. Two flowsheets were built in COCO simulator. The first for methanol synthesis based on autothermal reforming (ATR) and the second for direct methanol synthesis through methane oxidation. Parametric studies were performed and the optimization of variables (Molar ratio, H2\CO ratio, methane conversion, methanol overall methanol overall selectivity and yield, energy requirement) was done using a Scilab code. The results indicate the DMTM can be energetically viable. In this study the energy requirement was minimised at 13% methane per pass conversion and 87% methanol per pass selectivity.
Key words: Methane, ATR, Syngas, Methanol synthesis, Energy requirement

INTRODUCTION

Methanol is a clean and sustainable energy resource that can be produced from different sources, traditional or renewable: natural gas, coal, biomass, landfill gas and power plant/industrial emissions. An important source is CO2, which can be recovered from industrial sites and, eventually, from the atmosphere. Actually, the dominant feedstock for methanol production is natural gas, and this will likely continue to be the case for many years, especially due to the large strides recently made in shale gas production. Using this feedstock, methanol is generated indirectly via syngas, which is a common procedure. In this process, the first step is the conversion of methane into a gas mixture of CO and H2, (syngas), a very energy - expensive phase, and the second step is the catalytic conversion of syngas into methanol. Another route is direct methane oxidation which is a new catalytic and challenging process. DMTM has been a research topic for more than a century and lies in the activation of the H3C-H bond in methane, which implies the use of extreme conditions or a very active catalyst for its activation. On the other hand, due to the lower H2OHC-H dissociation energy, the desired product, methanol is more readily converted to consecutive oxidation products such as CO and CO2 (Guo, 2015). There is considerable literature on the process chemistry of DMTM, but studies that consider the engineering aspects are less abundant. Therefore, in this study it is proposed to design two flowsheets for methanol synthesis processes, one through syngas route based in ATR and other through direct methane oxidation in order to compare the energy input for both and evaluate viability.

RESULTS

The carbon efficiency/overall yield of the classical process is (83%) slightly higher than the direct process (79%), without optimization, however the value obtained for direct methane in this simulation is higher than those mentioned in the literature as a result of different operating conditions for the overall process.

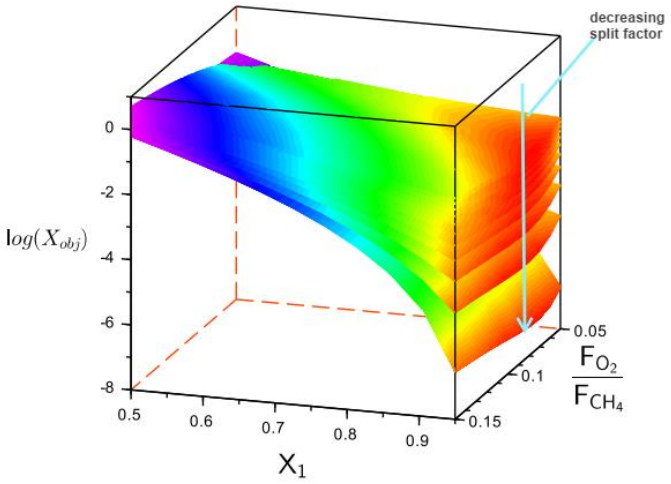


Figure 1: Objective function vs. O2 ratio and X1 at different split factors

The energy required to convert methane in methanol trough the indirect route is 229 kJ/mol while for the direct route the energy required is 185 kJ/mol at the same yield (83%). For DMTM the energy requirement decreases with purge ratio, methane overall conversion, methanol overall yield and but does not affect methanol overall selectivity. The energy requirement was minimised at 13% methane per pass conversion and 87% methanol per pass selectivity (Fig. 1), this corresponds to a yield of 87%.

REFERENCES

1. Hydrogen Generation via Membrane Reactor Technology", Membranes, 8, 4, p.98
2. Deligeorgiou, G., Gounaris, K., (2014), "Natural gas as a source of energy", Conference on Advances in Management, Economics and Social Science, Roma
3. English, A., Brown, J., Rovner, J., Davies, S., "Process Technology" available in 9348 209..213 (uct.ac.za)> in accessed in 03/10/2022
4. ENI, (2015), "Natural Gas", available https://www.eniscuola.net in accessed in 03/10/2020
5. Ghoneim, S., El-Salamony, A., El-Temtamy, S., (2016), "Review on Innovative Catalytic Reforming of Natural Gas to Syngas", World Journal of Engineering and Technology, 4, 1, p. 116-139
6. Guo, J. (2015), "Partial Oxidation of Methane to Methanol Over Bi Promoted Pt Catalysts", Research Proposal, University of Cape Town
7. Han, B., Yang, Y., Xu, Y., Etim, U., Quiao, K., Xu, B., Yan, Z., (2016), "A Review of the Direct Oxidation of Methane to Methanol" Chinese Journal of Catalysis,37, 8, p.1206-1215
8. Hanlon, J., Nuvunga, A., (2015), "Gas for development or just for money?", Good Governance, Transparency and Integrity, 08, p. 1-13
9. Henrik, S., Becker-Hardt, S., Sattler, C., (2018), "(Solar) Mixed Reforming of Methane: Potential and Limits in Utilizing CO2 as Feedstock for Syngas Production—A Thermodynamic Analysis", Energies, 11, 10, p. 2537
10. Khirsariya, P., Mewada, R., (2013), "Single step oxidation of methane to methanol- towards better understanding", Procedia Engineering, 51, 2013, p. 409-415

ARTIGO Nº22196

PLANEAMENTO ENERGÉTICO PARA A INTEGRAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO SUL DE MOÇAMBIQUE

Gimo A. T. Joaque[1(*)]

[1]Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Beira, Moçambique
[(*)] *Email:* gimo.antonio.joaque@gmail.com

RESUMO

Este trabalho visa desenvolver uma plataforma de planeamento que permita visualizar o plano de implementação de projectos de energias renováveis na região sul de Moçambique até 2030. A plataforma fornecerá dados sobre a capacidade de energia a ser injectada na rede eléctrica, cronogramas, subestações e o nível de tensão de interligação, ajudando na organização e na tomada de decisões. O propósito é melhorar a planificação da integração de energias renováveis à rede eléctrica, promovendo uma distribuição equilibrada da geração, alinhada às necessidades energéticas da região.

***Palavras-chave**:* Energias renováveis, planeamento, rede eléctrica, implementação de projectos.

INTRODUÇÃO

Os estudos actuais disponíveis apresentam dados sobre a capacidade total a ser instalada e as propostas de implementação de projectos de energias renováveis, mas sem especificação por região, província ou distrito. Embora o Plano Quinquenal do Governo (2020-2024) preveja instalar 600MW, dos quais 200 MW seriam provenientes de energias renováveis, não foram indicados locais específicos para implementação, considerando as necessidades energéticas críticas.

Actualmente, a capacidade de energias novas e renováveis conectados à Rede Eléctrica Nacional é de 75 MW, com projecções de aumento para, pelo menos, 690 MW até 2030, abrangendo tanto para solar quanto eólica (ALER, 2023). A pesquisa é motivada pelas principais barreiras do sector eléctrico e pela dificuldade de obter dados sobre onde desenvolver projectos de energias renováveis, qual a capacidade de geração e quando o inicio de entrada em serviço, tendo como foco o alcance do acesso universal à electricidade até 2030.

Este trabalho busca desenvolver uma plataforma que auxiliará no planeamento e na tomada de decisões, com base nas informações disponíveis sobre projectos de energias renováveis.

REFERÊNCIAS

ALER, Resumo de Energias Renováveis em Moçambique, 2023.

Boletim da República de Moçambique, Código das Energias Renováveis, Diploma Ministerial nº 119/2023, de 14 de novembro.

EDM, Manual de Caracterização da Rede de Transporte, 2017.

EDM, Relatório Anual de Estatística, 2022.

ARTIGO Nº22200

CAPACITAR MOÇAMBIQUE: SINERGIA UNIVERSITÁRIA NA TRANSIÇÃO E AVANÇOS NA QUALIDADE DE VIDA

Bruno J. Cardoso[1], Marco Fernandes[1], Jasse Semente[2], Cosme Lingongo2 Nelson Envelope[2(*)], Eugénio Rodrigues[1], Adélio R. Gaspar[1]
[1]Universidade de Coimbra, ADAI, Departamento de Engenharia Mecânica – Coimbra, Portugal
[2]Universidade Lúrio, Departamento de Engenharia Mecânica – Pemba, Moçambique
(*) *Email:* nelson.envelope@unilurio.ac.mz

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo realçar a importância, os benefícios e os resultados da colaboração entre a Universidade de Coimbra e a Universidade Lúrio no âmbito do projecto AfroEnergy. Apresentam-se os casos de estudo seleccionados, as actividades realizadas, e alguns resultados preliminares. Esta divulgação é crucial para fomentar colaborações semelhantes e apoiar Moçambique na transição energética para as energias renováveis, na melhoria da qualidade de vida e no aumento da resiliência aos impactos das alterações climáticas.
***Palavras-chave**:* transição energética, qualidade do ar interior, Moçambique, capacitação.

INTRODUÇÃO

Prevê-se que os efeitos das alterações climáticas agravem profundamente as condições de vida das populações em países de baixo rendimento, como Moçambique, que já enfrentam graves desigualdades sociais e económicas (Bianco et al., 2024). Devido à sua maior vulnerabilidade e limitada capacidade de adaptação, estas populações correm um risco acrescido de impactos adversos na saúde e no ambiente, incluindo o aumento da mortalidade relacionada com a poluição atmosférica (especificamente de $PM_{2.5}$), o stress térmico, a degradação ambiental e a redução da esperança de vida relacionada com o calor (Bianco et al., 2024; Ingole et al., 2022).

O projecto AfroEnergy procura, assim, definir as estratégias mais apropriadas e rentáveis para melhorar a qualidade do ar interior e reduzir as vulnerabilidades relacionadas com a pobreza energética, analisando a aplicação de sistemas de energia sustentável. Consequentemente, este artigo apresenta os principais objectivos do projecto, e caracteriza os diferentes edifícios que servem de caso de estudo, destacando as actividades realizadas até à data, incluindo as campanhas de levantamento e medição, e as acções específicas de formação e capacitação técnica dirigidas a alunos e investigadores da Universidade Lúrio. Adicionalmente, são apresentados resultados preliminares da modelação energética dos edifícios – validada com os dados levantados e monitorizados – e da avaliação de diferentes estratégias, considerando cenários futuros de alterações climáticas.

PROJECTO AFROENERGY

O projecto AfroEnergy – 'Energia Sustentável para a Promoção da Saúde nas Famílias Africanas' foi concebido como uma resposta integrada aos desafios ambientais e energéticos que Moçambique enfrenta, abordando a intersecção entre o acesso à energia e a saúde pública. Esta iniciativa resulta da colaboração entre a Universidade de Coimbra (UC), em Portugal, e a Universidade Lúrio (UniLúrio), em Moçambique, contando ainda com a participação do Município de Pemba, da Rede Aga Khan para o Desenvolvimento (AKDN) e da Direcção

Provincial dos Recursos Minerais e Energia como participantes. Informação mais detalhada acerca desta iniciativa pode ser consultada no site do projecto (www.uc.pt/afroenergy/).

O principal objectivo do projecto é definir estratégias eficazes e economicamente viáveis para melhorar a qualidade do ar interior e reduzir a pobreza energética, através da implementação de soluções de energia sustentável em edifícios representativos. Para alcançar esse propósito, o projecto centra-se na caracterização das condições habitacionais, no desenvolvimento de intervenções estratégicas e na promoção das capacidades de investigação locais.

A primeira fase do projecto visa a caracterização e classificação dos diferentes contextos habitacionais e populacionais, mediante a recolha sistemática de dados sobre tipologias de habitação e edifícios, padrões de consumo energético e condições de saúde da população. Esta fase envolve a aplicação de inquéritos, entrevistas e medições no terreno, permitindo não apenas um diagnóstico detalhado da realidade existente, mas também estabelecer empiricamente uma base para a definição dos casos de estudo e a formulação de intervenções específicas e direccionadas.

Numa fase subsequente, o projecto foca-se no desenvolvimento e avaliação de estratégias adaptadas às necessidades dos contextos locais, com especial atenção aos agregados familiares africanos. Para tal, serão realizados estudos de viabilidade técnica e económica, apoiados na criação de modelos de simulação dinâmica, de modo a aferir a adequabilidade e o impacto das medidas propostas. Estes estudos abrangem tanto o contexto actual como cenários futuros, projectando os efeitos das alterações climáticas ao longo dos próximos 30 anos.

A terceira fase envolve a promoção e a difusão das medidas de melhoria, através da implementação e monitorização das estratégias de intervenção mais promissoras nos casos de estudo seleccionados. A eficácia das soluções será avaliada com recurso a equipamentos de medição específicos, incluindo sensores e *data loggers*, permitindo quantificar os impactos energéticos, ambientais e económicos das medidas adoptadas. Com base nos resultados obtidos, serão formuladas recomendações dirigidas às entidades responsáveis, promovendo um enquadramento favorável à adopção de soluções energéticas sustentáveis. Paralelamente, estas recomendações serão integradas em acções pedagógicas dirigidas à população, com o objectivo de sensibilizar e capacitar a comunidade para a utilização sustentável de novas tecnologias e estratégias energéticas, reconhecendo o envolvimento da comunidade como um factor fundamental para o sucesso e aceitação das soluções propostas.

Por fim, o projecto pretende reforçar as capacidades de investigação das instituições locais, consolidando o seu papel como agentes de transformação social. Para além da participação activa nas actividades do projecto, os estudantes e docentes da UniLúrio beneficiarão de um conjunto diversificado de formações, incluindo workshops, cursos de curta duração e palestras especializadas. Adicionalmente, a aquisição de equipamento técnico e científico contribuirá para a criação de um laboratório dedicado à investigação em energia e sustentabilidade na Universidade Lúrio, fortalecendo a capacidade de produção de conhecimento na região.

CASOS DE ESTUDO E CAMPANHAS DE MEDIÇÃO

A selecção dos casos de estudo do projecto baseou-se numa caracterização detalhada da população-alvo, compreendendo uma análise das tipologias de habitação, das fontes de energia utilizadas e dos perfis socioeconómicos dos agregados familiares. A identificação dos casos de referência resultou de um levantamento estatístico inicial, complementado por trabalho de campo e inquéritos realizados em colaboração com o Município de Pemba e a Rede AKDN em Moçambique.



Figura 1 - Casos de estudo do projecto AfroEnergy. Topo esquerdo: residência de estudantes na UniLúrio; Topo direito: residência religiosa; Fundo esquerdo: Hospital Providencial de Pemba; Fundo direito: habitação na zona de expansão.

Os casos de estudo foram seleccionados pela sua relevância estratégica para o projecto, pelo seu potencial de replicação noutras regiões de Moçambique e África, e pela sua capacidade de melhorar as condições de vida da população local. Para além disso, foi considerada a sua adequação para iniciativas de envolvimento público e de sensibilização. Os casos de estudo identificados incluem a) uma residência de estudantes na UniLúrio, b) uma residência religiosa, c) o Hospital Providencial de Pemba, e d) uma habitação na zona de expansão, na cidade de Pemba (Figura 1).

Esta selecção específica de edifícios permite uma avaliação abrangente do desempenho energético actual, da qualidade do ar interior e das condições de conforto térmico, bem como do potencial de integração de soluções de energias renováveis, para um conjunto diversificado de edifícios. Por um lado, abrange edifícios institucionais de relevância estratégica para a comunidade, nomeadamente infra-estruturas de saúde, assistência social, orientação religiosa e educação e formação profissional. Por outro lado, a inclusão de habitações rurais visa aprofundar a análise do conforto térmico e da qualidade do ar interior nas comunidades rurais, identificando estratégias para melhorar as condições de vida e mitigar os impactos negativos da utilização de biomassa em regiões economicamente vulneráveis e geograficamente isoladas.

Até ao momento, equipas compostas por bolseiros e docentes da UniLúrio envolvidos no projecto realizaram diversas visitas técnicas e trabalho de campo para recolha de dados sobre os casos de estudo (Figura 2). Entre as informações recolhidas destacam-se as soluções construtivas, a geometria dos edifícios, os padrões de ocupação e de funcionamento, bem como os equipamentos e sistemas de iluminação existentes. Com base nestes dados, foram elaborados relatórios internos de caracterização, permitindo identificar lacunas e oportunidades de melhoria. Adicionalmente, esses dados sustentaram a criação de modelos de simulação dinâmica para os diferentes casos de estudo, assegurando que estes representam de forma fidedigna as condições dos edifícios analisados.



Figura 2 - Equipa da UniLúrio em visita de campo a um dos casos de estudo.

Com o intuito de fortalecer a cooperação em investigação entre as instituições envolvidas, os dados recolhidos pela equipa da UniLúrio foram disponibilizados a estudantes de mestrado em Engenharia Mecânica da UC, possibilitando o desenvolvimento de estudos integrados nas suas dissertações de mestrado e unidades curriculares. Esta iniciativa permitiu a realização de análises preliminares e a obtenção de resultados relevantes para o projecto, contribuindo para o avanço da investigação antes das intervenções planeadas e para a preparação das fases subsequentes, nomeadamente as campanhas de medição. Além disso, os estudos e as dissertações desenvolvidos foram utilizados como material de apoio à formação dos alunos e bolseiros da UniLúrio, servindo também como literatura auxiliar para a definição e desenvolvimento dos seus trabalhos finais de curso.

Estes trabalhos finais de curso abordarão diversas temáticas relacionadas com a sustentabilidade ambiental, a eficiência energética e a qualidade do ar interior. Entre os tópicos a serem estudados, destaca-se a análise da qualidade do ar em diferentes contextos, nomeadamente em residências rurais expostas a elevadas concentrações de emissões poluentes decorrentes da utilização de carvão, e em ambientes fechados, como bibliotecas universitárias. Adicionalmente, serão examinadas estratégias para a optimização do conforto térmico através de soluções arquitectónicas e de engenharia, bem como o impacto dos sistemas de AVAC em habitações sustentáveis, considerando o comportamento dos utilizadores. No âmbito das energias renováveis, serão exploradas soluções para a electrificação de comunidades rurais isoladas mediante implementação de sistemas solares fotovoltaicos e o aproveitamento de energia eólica para soluções de abastecimento de água.

Após a conclusão do processo de aquisição dos equipamentos previstos no projecto, será possível iniciar a segunda fase de visitas de campo e análise aprofundadas dos casos de estudo. Nesta fase, serão instalados dispositivos de medição específicos para o registo contínuo de diversos parâmetros, incluindo o consumo energético e a qualidade da energia eléctrica. Adicionalmente, serão também monitorizados parâmetros de qualidade do ar interior, tais como a concentração de partículas em suspensão, CO_2, CO, compostos orgânicos voláteis e outros poluentes, bem como variáveis associadas ao conforto térmico, nomeadamente temperatura e humidade. Além disso, as condições climáticas exteriores serão monitorizadas através de uma estação meteorológica adquirida e instalada no âmbito do projecto.

CAPACITAÇÃO TÉCNICA

Reconhecendo a importância do capital humano para a sustentabilidade das intervenções e para o alcance dos objectivos propostos, o projecto AfroEnergy integra um conjunto de iniciativas

de formação e capacitação técnica destinadas a alunos e investigadores da UniLúrio. O objectivo principal consiste na disseminação de conhecimentos essenciais para a monitorização energética e de variáveis ambientais, modelação energética e implementação de estratégias de eficiência energética. Estas iniciativas incluem workshops e sessões de formação especializada, adoptando uma abordagem integrada e transversal que combina teoria e prática, promovendo simultaneamente a colaboração interdisciplinar.

Entre as acções já realizadas, destaca-se a workshop organizado em parceria entre a UC e o representante oficial da CYPE [1] em Portugal (Figura 3). Este evento proporcionou uma apresentação aprofundada de um conjunto abrangente de aplicações de formato aberto aplicáveis a diversas áreas da Engenharia, Arquitectura e Construção (e.g., arquitectura, AVAC, estruturas, eficiência energética e iluminação). Além disso, os participantes tiveram acesso a demonstrações sobre a implementação da metodologia *Building Information Modelling* (BIM) utilizando a plataforma BIMserver.center, bem como à apresentação de tecnologias inovadoras, como a realidade aumentada e a sua integração com estas ferramentas.

Esta sessão contribuiu significativamente para o reforço das competências técnicas dos participantes locais, capacitando-os para a utilização eficiente destas ferramentas e das suas aplicações no desenvolvimento de futuros projectos de engenharia, trabalhos de investigação associados ao projecto e trabalhos finais de curso dos estudantes. Adicionalmente, demonstrou o potencial de incorporação futura da ferramenta e das suas aplicações em algumas unidades curriculares, dado a sua disponibilização gratuita para fins académicos e a existência de um vasto repositório de vídeos, *webinar*s e materiais de formação acessíveis gratuitamente.

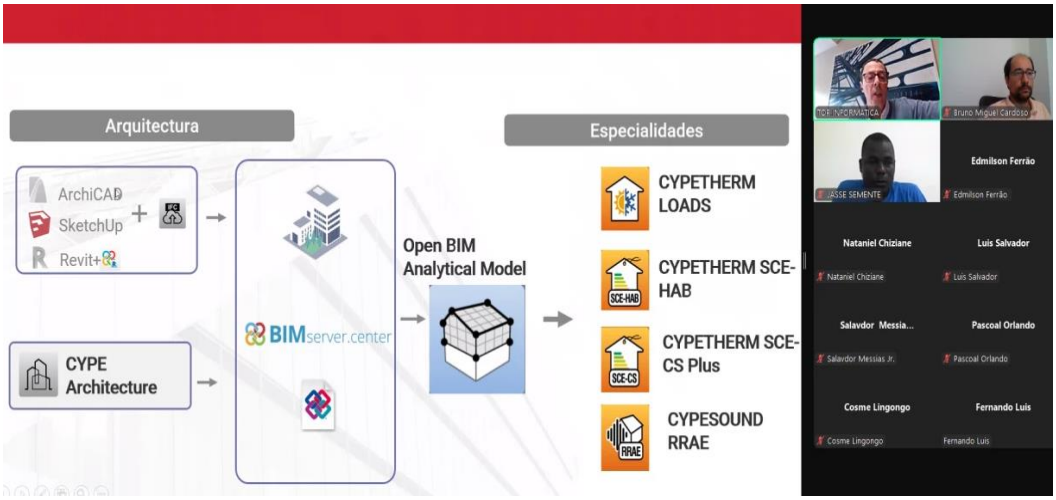


Figura 3 - Workshop online realizado pela CYPE para alunos, investigadores e docentes da Universidade Lúrio.

A partilha de conhecimento e capacitação promovidas pelo projecto visa dotar os estudantes, investigadores e docentes moçambicanos de competências que lhes permitam, no futuro, actuar de forma independente junto da população no desenvolvimento de projectos sustentáveis e na melhoria do desempenho, da qualidade do ar interior e do conforto térmico. Além disso, pretende-se fortalecer a sua capacidade de educação e sensibilização de grupos-alvo da população sobre os benefícios das soluções de energia limpa e da adopção de práticas ambientalmente sustentáveis.

[1] A CYPE Ingenieros, S.A. é uma empresa espanhola que desenvolve software técnico para engenharia, arquitectura e construção, oferecendo soluções como CYPECAD e Open BIM, amplamente utilizadas e alinhadas às normas internacionais.

Paralelamente, a aquisição de equipamento de medição e monitorização prevista no projecto integra soluções mais portáteis, economicamente acessíveis e de fácil aquisição e integração no mercado moçambicano, em comparação com os dispositivos tradicionalmente utilizados neste tipo de projectos. A incorporação de ferramentas com estas características não só facilitará o desenvolvimento eficaz das actividades previstas, como também permitirá que os parceiros moçambicanos continuem, após a conclusão do projecto, a prestar serviços essenciais à comunidade local, promovendo a melhoria da qualidade de vida da população. Adicionalmente, a disponibilização destes equipamentos contribuirá para a formação de futuros profissionais, ao possibilitar a sua utilização em aulas práticas e actividades de investigação, tornando-os mais aptos para o mercado de trabalho.

Esta estratégia de capacitação e aquisição de equipamentos lançará as bases para a criação de um laboratório universitário de energia e sustentabilidade, com uma ligação estreita à comunidade e colaborações activas com investigadores portugueses, fortalecendo assim a capacidade de produção de conhecimento e inovação na região.

SIMULAÇÃO DINÂMICA

A modelação energética constitui um dos pilares metodológicos do projecto, possibilitando a realização de estudos de viabilidade tecnológica e económica das diferentes estratégias de intervenção identificadas. Para esse fim, o projecto recorre ao software DesignBuilder, que utiliza o motor de cálculo Energyplus, para desenvolver modelos de simulação dinâmica dos edifícios em estudo. Esses modelos serão calibrados e validados com os dados obtidos durante as campanhas de levantamento e medição, assegurando uma representação rigorosa das condições reais de funcionamento e possibilitando não apenas a caracterização do estado actual dos edifícios, mas também a avaliação do impacto da implementação de medidas de melhoria.

As simulações considerarão diferentes cenários, permitindo a avaliação do desempenho energético e ambiental tanto nas condições actuais como em projecções futuras, considerando os impactos de alterações climáticas. Para essa análise, será utilizada adicionalmente a ferramenta *Future Weather Generator*, desenvolvida por investigadores da UC no projecto, que ajusta variáveis climáticas, como temperatura, radiação solar, humidade e precipitação, para gerar dados climáticos futuros a partir de dados históricos. Esses dados projectados serão fundamentais para refletir os efeitos previstos das alterações climáticas e permitir simulações dinâmicas mais realistas. A ferramenta permite a criação de conjuntos de dados climáticos para os períodos de 2050 e 2080, considerando diferentes cenários (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 e SSP5-8.5) que poderão ser utilizados nas simulações dinâmicas (Rodrigues et al., 2023).

De seguida, são apresentados resultados preliminares das simulações energéticas realizadas para dois casos de estudo, com o objectivo de avaliar o estado actual dos edifícios e os efeitos da implementação de diferentes intervenções. Além disso, a análise inclui cenários futuros para estimar o impacto das alterações climáticas no desempenho dos edifícios e aferir a eficácia das intervenções nessas condições projectadas.

Residência de estudantes da Universidade Lúrio

Este estudo centrou-se na análise do desempenho energético de uma residência estudantil universitária localizada na cidade de Pemba, junto ao litoral. O edifício é composto por três andares, com uma área total de 855 m^2 e capacidade para acolher 104 estudantes (Figura 4) . O principal objectivo foi avaliar a viabilidade de optimizar a eficiência energética e aumentar o nível de auto-suficiência energética da residência, promovendo, simultaneamente, a melhoria do conforto térmico dos ocupantes.

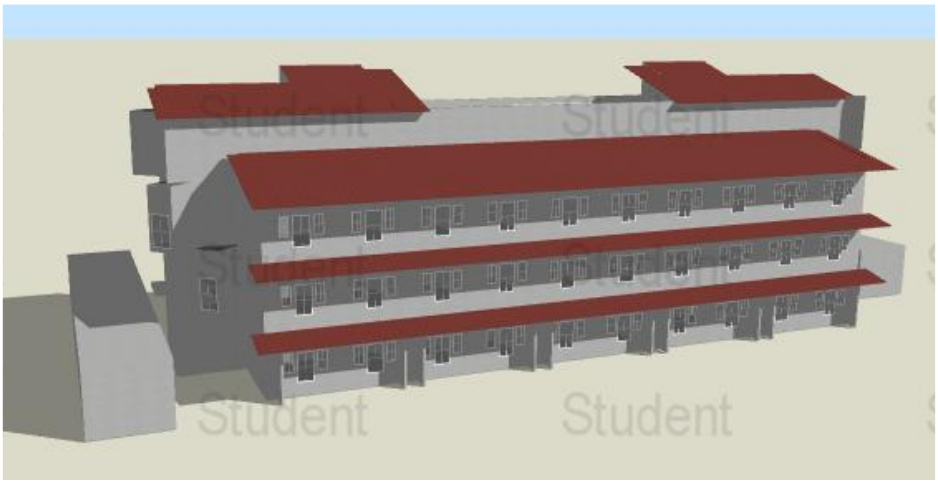


Figura 4 - Modelo 3D da residência de estudantes, desenvolvido em DesignBuilder (fechada Norte).

Para alcançar o objectivo proposto, foram analisadas diferentes estratégias de eficiência energética e de integração de fontes de energia renovável, abrangendo tanto soluções passivas como activas:

- *Estratégias passivas*:
  - Alteração dos elementos construtivos utilizados no telhado e nas paredes, para melhorar o isolamento térmico;
  - Substituição das janelas de vidro simples por vidro duplo, para minimizar os ganhos solares;
  - Integração de dispositivos de sombreamento (estores externos), para controlar a entrada de luz directa solar.
- *Estratégias activas:*
  - Instalação de uma Unidade de Tratamento de Ar (UTA), para climatizar os espaços do edifício e assegurar condições de conforto térmico aos ocupantes;
  - Implementação de sistemas de ventilação natural, para promover a circulação de ar e reduzir a necessidade de climatização artificial;
  - Instalação de painéis fotovoltaicos, para geração de electricidade e suprir parte das necessidades energéticas;
  - Instalação de coletores solares, para substituir o termoacumulador eléctrico no fornecimento de água aquecida às instalações sanitárias.

Além das análises sob condições climáticas actuais, o impacto das alterações climáticas foi avaliado por meio de simulações utilizando projecções para o ano de 2050, adoptando o cenário SSP3-7.0. Este cenário foi seleccionado por apresentar uma maior frequência de eventos climáticos extremos, decorrente do aumento significativo das emissões de CO_2 e consequente incremento da temperatura média global em até 3.6 ºC.

A análise das intervenções no desempenho energético e térmico do edifício revelou que a introdução de vidro duplo nas janelas reduziu em 3 % as necessidades de energia para arrefecimento. Paralelamente, a integração de estores externos diminuiu o consumo de energia elcétrica para climatização em 8.2 %, embora tenha aumentado em 24.9 % o consumo de iluminação artificial, sugerindo um efeito compensatório. Por sua vez, a ventilação natural revelou-se igualmente eficaz, reduzindo em 5.9 % a necessidade de arrefecimento sem recurso a sistemas de ventilação mecânica.

Entre as medidas analisadas, a substituição de materiais construtivos foi uma das medidas mais impactantes, reduzindo em 22.2% o consumo de energia elcétrica para climatização, destacando-se a relevância do isolamento térmico na eficiência global do edifício. No que diz respeito ao consumo total de energia, a substituição do termoacumulador eléctrico por coletores solares permitiu uma redução de 11.9 %. Por outro lado, a instalação de painéis fotovoltaicos possibilitou a geração de 24.8 % da electricidade consumida anualmente, apesar da ausência de armazenamento ter limitado a utilização a 13 % da energia produzida.

A combinação de vidro duplo e protecções solares externas demonstrou um impacto significativo na redução dos ganhos térmicos, aumentando o conforto e diminuindo em 35 % a necessidade de energia para arrefecimento. De uma forma mais abrangente, a integração de medidas passivas e activas resultou numa redução global de 32.7 % no consumo energético anual do edifício, evidenciando o potencial da implementação de soluções combinadas para optimizar a eficiência energética.

As projecções climáticas para 2050 indicam um aumento de 38.9 % no consumo anual de energia do edifício base, impulsionado pelas maiores necessidades de arrefecimento, sublinhando a necessidade de adopção de medidas para mitigar os seus efeitos. Estas projecções demonstram ainda que a adopção de vidro duplo de baixa emissividade pode reduzir em 3.5 % a electricidade necessária para arrefecimento, enquanto as protecções solares externas possibilitam uma redução de 8.7 %. No entanto, a eficácia da ventilação natural tenderá a diminuir com o aumento das temperaturas externas, reduzindo em apenas 1 % o consumo de energia para climatização. Tal facto evidencia a necessidade de uma maior integração entre estratégias passivas e sistemas mecânicos. Em contrapartida, a melhoria nos materiais construtivos continuará a desempenhar um papel crucial, reduzindo em 23.9 % o consumo eléctrico para arrefecimento, reforçando a importância da inércia térmica e do isolamento térmico adequado.

Edifícios residenciais do meio rural moçambicano

Este estudo centrou-se na análise de dois tipos de habitações tradicionais em áreas rurais de Moçambique, construídas com as técnicas tradicionais de Pau-a-Pique e Blocos de Terra Comprimida (BTC). Estas técnicas são amplamente utilizadas devido à disponibilidade de materiais locais, embora apresentem limitações significativas em termos de desempenho térmico e eficiência energética. A habitação em Pau-de-Pique é composta por duas divisões e a habitação em BTC por três (Figura 5 e Figura 6).

O principal objectivo do estudo foi avaliar o comportamento energético das habitações e propor medidas de melhoria de baixo custo, ambientalmente sustentáveis e adaptadas às condições socioeconómicas locais, com foco na redução das necessidades energéticas de arrefecimento, na melhoria do desempenho térmico e no incremento do conforto interno.

Para garantir que as simulações representassem a realidade da vasta maioria da população rural, os modelos base não consideraram sistemas de iluminação artificial nem a presença de equipamentos eléctricos. Além disso, foram adoptadas as seguintes premissas construtivas: portas e janelas em madeira, pavimento em terra batida e cobertura em palha de capim. A habitações foram modeladas considerando uma ocupação de cinco pessoas, e a fachada principal foi orientada para Norte.

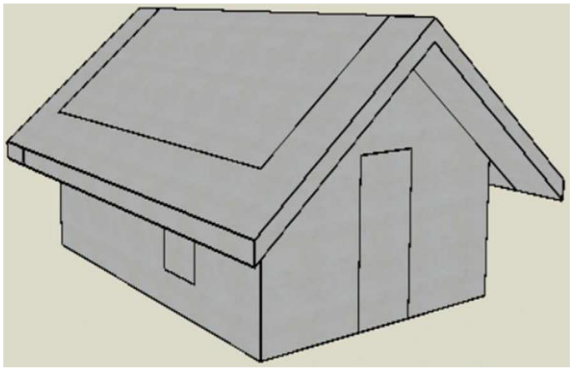


Figura 5 – Modelo 3D da habitação construída com a técnica Pau-a-Pique.

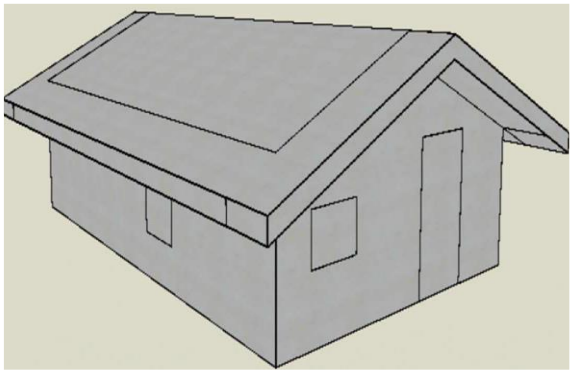


Figura 6 – Modelo 3D da habitação construída com a técnica BTC.

Foram avaliadas diferentes estratégias para reduzir as cargas térmicas e melhorar as condições de conforto térmico, incluindo:

- Optimização da orientação dos edifícios, para avaliar a influência nas necessidades de arrefecimento;
- Aplicação de camadas de cal e argila nas paredes, para reflectir parte da radiação solar, aumentar a durabilidade e melhorar o isolamento térmico, além de contribuir para a regulação da temperatura no interior da habitação;
- Substituição dos materiais de cobertura tradicionais, para melhorar o isolamento térmico e minimizar as infiltrações de ar;
- Substituição das portadas de madeira por envidraçados, para proporcionar uma maior protecção contra os elementos exteriores, enquanto são mantidos os níveis de luminosidade.

Para avaliar o impacto das alterações climáticas no desempenho nas habitações, foram realizadas simulações considerando projecções climáticas para o ano de 2050, adoptando o cenário SSP2-4.5. Este cenário foi seleccionado por representar uma trajectória de emissões moderada, prevendo uma mitigação parcial das alterações climáticas e um aumento moderado da temperatura global, oferecendo assim uma abordagem conservadora dos efeitos climáticos.

Os modelos base desenvolvidos para as duas técnicas construtivas analisadas evidenciam que, nas condições originais, as necessidades de arrefecimento são significativamente elevadas. Este comportamento deve-se à limitada capacidade de isolamento térmicos dos materiais tradicionais, o que resulta em elevados ganhos de calor e reduzida inércia térmica.

A introdução de camadas de cal no exterior e de argila no interior das paredes externas revelou-se uma estratégia eficaz na mitigação dos ganhos térmicos, incrementando a resistência térmica das envolventes e conduzindo a uma redução de aproximadamente 30 % na necessidade de energia para arrefecimento na habitação em Pau-a-Pique. Adicionalmente, a substituição das portadas de madeira por envidraçados, combinada com uma estratégia optimizada de abertura e fecho de janelas, resultou numa redução expressiva das necessidades de arrefecimento, situando-se entre 50 % e 55 %.

As melhorias implementadas ao nível da cobertura, através da introdução de camadas isolantes que reforçam a resistência térmica, permitiram reduções substanciais no consumo energético. Estes resultados reforçam a premissa de que soluções simples e de baixo custo podem ter um impacto profundo na eficiência energética das habitações rurais, tornando-as mais resilientes às variações climáticas.

A implementação conjunta de todas as medidas – incluindo a optimização de orientação, intervenções nas paredes, melhoria nas coberturas e nos envidraçados – permitiu reduzir as necessidades de arrefecimento em cerca de 78 % nas habitações em Pau-a-Pique e aproximadamente 87 % nas construções em BTC. Estes resultados são corroborados pela diminuição consistente das temperaturas internas médias mensais após a implementação das melhorias (Figura 7), garantindo um intervalo de conforto térmico adequado para os espaços interiores.

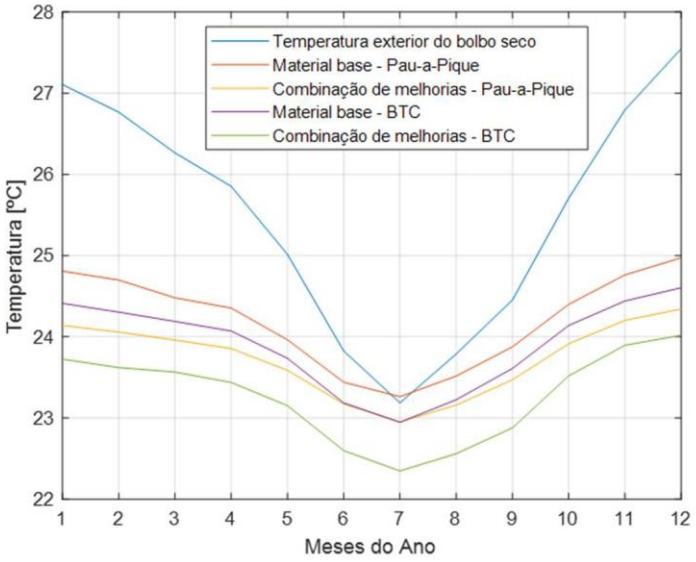


Figura 7 - Temperaturas internas médias das habitações com combinação de medidas de melhoria.

No contexto das projecções climáticas para 2050, os resultados evidenciam um aumento substancial das necessidades de arrefecimento nos modelos base, atingindo aproximadamente 58 % para as construções em Pau-a-Pique e 81 % para as BTC. Estes valores sublinham a necessidade de intervenções em edificações que não incorporem soluções de melhoria, sob pena de se tornarem ineficazes face ao agravamento das condições climáticas. No entanto, a simulação dos cenários futuros demonstra que a combinação óptima de medidas permite manter os níveis de energia exigidos em patamares significativamente inferiores aos dos casos base, garantindo simultaneamente que as temperaturas internas permanecem dentro de um intervalo de conforto aceitável. Estes resultados enfatizam a resiliência e a eficácia das soluções propostas diante dos desafios impostos pelo aquecimento global, reforçando a importância da implementação de estratégias passivas na adaptação climática das habitações tradicionais.

CONCLUSÕES

O projecto AfroEnergy revela-se como uma iniciativa estratégica para a promoção da sustentabilidade energética e da qualidade do ar interior em Moçambique. A abordagem integrada adoptada permitirá a caracterização detalhada das condições habitacionais e do consumo energético em diversos contextos, com destaque para infra-estruturas de saúde, educação e habitação rural. Através da modelação energética e da implementação de soluções inovadoras, será possível demonstrar a viabilidade técnica e económica de estratégias adaptadas às especificidades locais, antecipando os impactos das alterações climáticas e promovendo um enquadramento favorável à adopção de soluções sustentáveis.

Além dos avanços técnicos e científicos, o projecto destaca-se pela sua componente formativa, contribuindo para o fortalecimento da capacidade e inovação na Universidade Lúrio.

Adicionalmente, a disponibilização de equipamentos modernos e a realização de workshops especializados permitem a capacitação de estudantes e investigadores, criando as bases para um laboratório de investigação em energia e sustentabilidade. Estas iniciativas promovem a autonomia das instituições locais na concepção e aplicação de estratégias energéticas inovadoras, enquanto reforçam a sua capacidade de intervenção e do seu papel na comunidade local.

Os resultados preliminares da simulação dinâmica dos casos de estudo evidenciam que a implementação de estratégias sustentáveis pode não só contribuir para a melhoria do desempenho energético, como também mitigar significativamente o stress térmico, sobretudo em cenários de aquecimento global acentuado. A combinação de intervenções construtivas acessíveis com tecnologias de eficiência energética e fontes de energias renováveis promove não apenas a melhoria do desempenho energético, do conforto térmico e da qualidade do ar interior, como também fortalece a resiliência e a adaptação dos edifícios face a eventos climáticos extremos.

Estes estudos demonstram ainda a necessidade de desenvolver abordagens integradas que combinem estratégias activas e passivas, bem como a utilização de materiais locais otimizados. É imperativo, ainda, a formulação de políticas de incentivo e o fomento de investimentos em soluções eficientes, de modo a promover, simultaneamente, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento socioeconómico das comunidades em Moçambique.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, e pela Rede Aga Khan para o Desenvolvimento (AKDN) , através do financiamento dos projectos AfroEnergy – Energia sustentável para a promoção da saúde nas famílias africanas (FCT AGA-KHAN / 541715433 / 2019) e CLING – Climate change-based building design guidelines (10.54499/PTDC/EME-REN/3460/2021).

REFERÊNCIAS

Bianco, G., Espinoza-Chávez, R.M., Ashigbie, P.G., Junio, H., Borhani, C., Miles-Richardson, S., Spector, J., 2024. Projected impact of climate change on human health in low- and middle-income countries: a systematic review. BMJ Glob. Heal. 8, 1–25. https://doi.org/10.1136/bmjgh-2024-015550

Ingole, V., Dimitrova, A., Sampedro, J., Sacoor, C., Acacio, S., Juvekar, S., Roy, S., Moraga, P., Basagaña, X., Ballester, J., Antó, J.M., Tonne, C., 2022. Local mortality impacts due to future air pollution under climate change scenarios. Sci. Total Environ. 823. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153832

Rodrigues, E., Fernandes, M.S., Carvalho, D., 2023. Future weather generator for building performance research: An open-source morphing tool and an application. Build. Environ. 233, 110104. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110104

ARTIGO Nº22206

OCORRÊNCIA DE HIDROGÉNIO NATURAL EM MOÇAMBIQUE: UMA FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA RENOVÁVEL

Idalina Muchanga[1], Luís Magaia[1], Júlio Carneiro[2,4], Paulo Mesquita[2], Augusto Mazezo[2], Salvador Mondlane Júnior[1], Daúd Jamal[1], Gilberto Bauque[3], Helton Massingue[1]

[1]Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, Moçambique
[2]Universidade de Évora, Center for Sci-Tech Research in Earth System and Energy (CREATE), Escola de Ciências Tecnologia, Portugal.
[3]Direcção Nacional de Geologia e Minas
[4]CONVERGE! Lda, Évora, Portugal
Email do apresentador: muchangaida@gmail.com

RESUMO

O Projecto HyAfrica, apoiado pelo programa de cooperação Europa-África LEAP-RE, visa identificar o potencial do hidrogénio natural em quatro países africanos, incluindo em Moçambique, para gerar electricidade em zonas rurais através de sistemas isolados ou mini-grids.Trabalhos de campo realizados recentemente nos Distritos de Manhiça e Bilene revelaram concentrações de hidrogénio natural, a cerca de 1 metro de profunidade, com teores superiores a 1000 ppm. Futuramente, espera-se desenvolver pesquisas avançadas nas áreas já identificadas para maior compreensão e caracterização das estruturas de ocorrência do hidrogénio natural.

***Palavras-chave**:* Hidrogénio Natural; Moçambique; Energia Renovável.

INTRODUÇÃO

Como signatário da Agenda 2030 das Nações Unidas, Moçambique comprometeu-se a alcançar o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7, que visa fornecer energia limpa e acessível para todos até 2030. No entanto, de acordo com o Relatório de Monitorização do Objectivo de Desenvolvimento do Milénio 7 (IEA, et al. 2023), Moçambique no ano 2021 estava entre os 20 países com maior défice de energia a nível mundial.

Apesar de ter o maior potencial de produção de energia na África Austral (International Trade Administration, Energypedia, CNBC citados em Deloitte, 2024), apenas 47,41% da população de Moçambique (aproximadamente 14,6 milhões de pessoas) tem acesso à electricidade (MIREME, s.d.). Destes, 44,11% estão ligados à rede nacional, enquanto 3,3% dependem de soluções fora da rede. Os esforços de electrificação aceleraram nas zonas rurais, onde a maioria da população não tem acesso, mas o fosso entre a electrificação urbana e rural continua a ser substancial. Em 2020, apenas 4,5% dos residentes rurais tinham acesso à electricidade, em comparação com 75% dos habitantes urbanos (energypedia, 2022).

Segundo o Relatório final do Inquérito sobre o impacto do acesso à energia sustentável 2022, do Instituto Nacional de Estatística (2023), em Moçambique, 50.1% de Agregados Familiares (AF) tem acesso à eletricidade, dos quais, 32% através da rede eléctrica e 18.1 por outras fontes. Analisando a área de área de residência desses agregados familiares, constatou-se que a maior parte dos AF da zona rural (85,3%), usam energia solar, baterias recarregáveis (74.9%) e baterias de células secas (71.4%) e a maior parte dos AF na zona urbana usa electricidade da rede nacional (72,2%) e gerador eléctrico (58,3%) (Figura 1).

As disparidades regionais também destacam as desigualdades no acesso à energia em todo o país. As províncias mais próximas da Cidade de Maputo nomeadamente a Província de Maputo (com 62% de electrificação), Gaza (40%), Inhambane (27%), têm taxas de acesso significativamente mais elevadas em comparação com as Províncias do Centro e Norte, como a Zambézia, onde apenas 18% da população tem acesso, e Cabo Delgado onde esse valor é de 26% (Delloite, 2024).

Com vista a contribuir para responder a estes desafios o Projecto HyAfrica, apoiado pelo programa LEAP-RE (*Long-Term Joint EU-AU Research and Innovation Partnership on Renewable Energy*), visa avaliar o potencial do hidrogénio natural em Moçambique para gerar electricidade nas zonas rurais através de sistemas isolados. Numa parceria entre a CONVERGE!, uma empresa spin-off da Universidade de Évora, Portugal, a Universidade Eduardo Mondlane e a Direcção Nacional de Geologia e Minas, o HyAfrica tem estado a pesquisar activamente regiões com ocorrências de hidrogénio natural para desbloquear novas fontes de energia sustentáveis para o futuro de Moçambique.

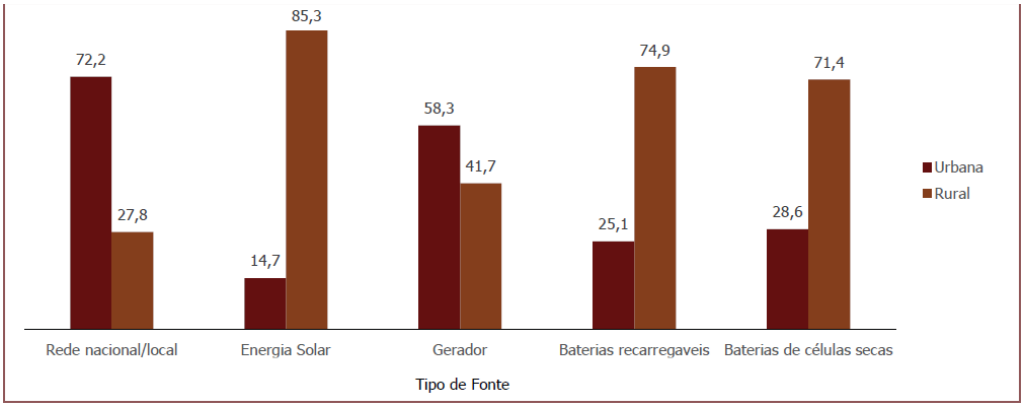


Figura 1: Distribuição percentual dos agregados familiares com acesso a electricidade por tipo de fonte, segundo área de residência, em Moçambique em 2022. Fonte: INE, 2023

Enquadramento Geográfico

A área de estudo enquadra-se nos distritos de Manhiça e Bilene, nas Províncias de Maputo e Gaza respectivamente, na região Sul de Moçambique (Figura 2). O acesso à área de estudo é efectuado através da Estrada Nacional número 1.

Segundo a Classificação Climática de Köppen, o clima da área de estudo é caracterizado por um clima tropical. Em ambos Distritos, o nível de precipitação durante os Verões ultrapassa o dos Invernos. A classificação climática de Köppen-Geiger identifica este padrão meteorológico específico como pertencente a clima de savana tropical (categoria Aw) (climate-org. data).

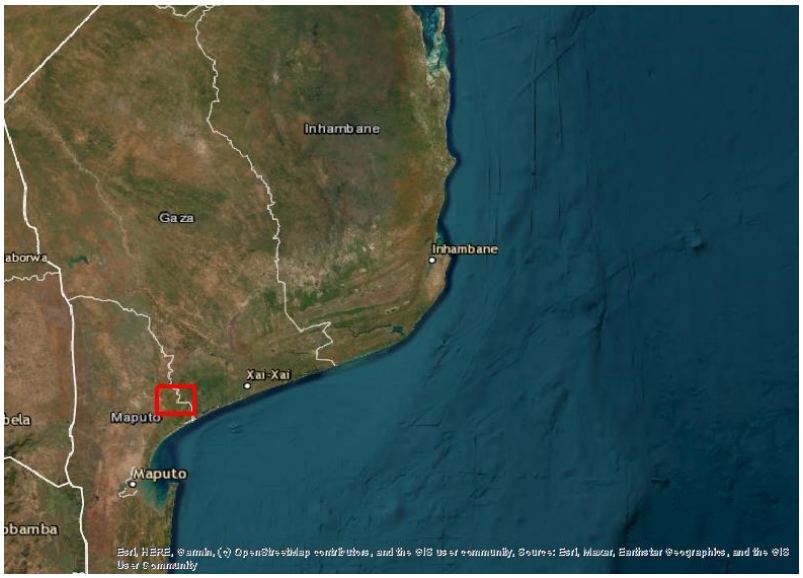


Figura 2: Mapa mostrando a área de estudo circundada a vermelho

Enquadramento Geológico

As unidades lito-estratigráficas constituintes do território moçambicano podem ser convenientemente divididas entre um sôco cristalino com idade arcaica-câmbrica e uma cobertura de rochas com idade fanerozóica (figura 3).

A cobertura fanerozóica compreende todas as litologias depositadas posteriormente ao Ciclo Orogénico Pan-Africano. Geralmente, tais litologias são constituídas por sedimentos continentais (sub-) horizontais a marinhos, e rochas (sub-) vulcânicas associadas, que não foram afectadas por deformação penetrativa, mas que puderam ter sofrido deformação tectónica frágil intensa.

A cobertura do Fanerozóico está dividida em (da mais antiga para a mais recente) Supergrupo do Karoo e um conjunto de sequências relacionadas com o Rifte Este-Africano (GTK, 2006a).

A área de estudo compreende na sua maioria, rochas do Quaternário (Figura 3). As litologias identificadas aquando dos trabalhos de campo são materiais não consolidados, nomeadamente areias, argilas, siltes e aluviões.

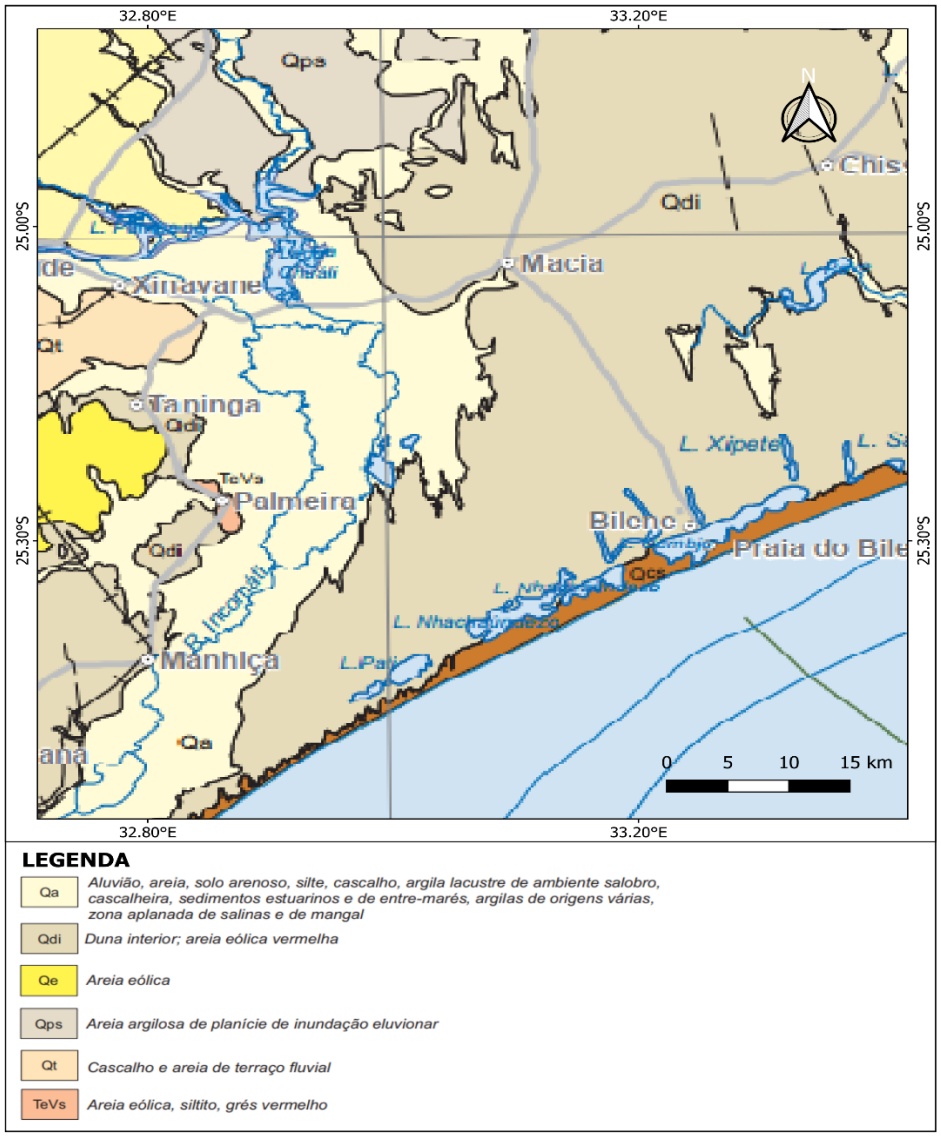


Figura 3: Geologia da área de estudo (mapa elaborado com base na Carta Geológica, 2008)

Ocorrências de hidrogénio natural em Moçambique

Em Moçambique foram identificadas algumas áreas favoráveis às ocorrências de Hidrogénio Natural nos Distritos de Manhiça e Bilene, estas áreas fazem parte da Bacia de Moçambique.

A metodologia usada envolveu quatro fases como descrito em Lévy, et al, 2023: (i) trabalho de gabinete utilizando técnicas de detecção remota para detectar as depressões com potencial de ocorrência de H_2, (ii) trabalho de campo para realizar medições de gás *in situ* e recolha de amostras de gás em locais de maior concentração; (iii) trabalho de pós-campo durante o qual se realizaram análises laboratoriais às amostras de gás (iv) análise e discussão dos resultados para melhor caracterizar os locais.

Selecção de áreas

Com base na literatura e Sensoriamento Remoto foram identificadas depressões elípticas (Figura 2) descritas como favoráveis à ocorrência de hidrogénio natural (Zgonnik, 2020; Lévy et al, 2023; Prinzhofer A et al.,2019) (Figura 4).

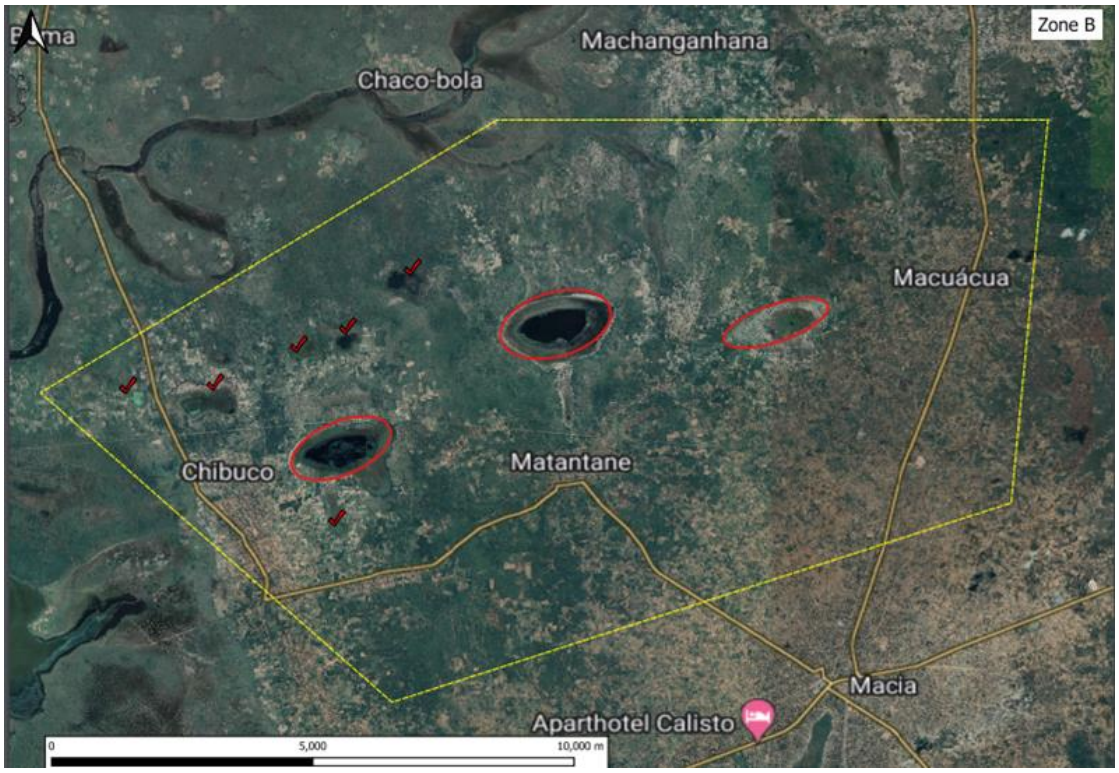


Figura 4: Depressões elípticas identificadas em Manhiça

Trabalho de Campo

Foram efectuados pequenos furos com um perfurador portáctil, utilizando uma broca de 120 cm de comprimento e 12 mm de diâmetro. Em seguida, foi introduzido no orifício um sonda consistindo num tubo perfurado em que a parte superior é alargada de modo a impedir a fuga de gás para atmosfera enquanto a medição é efectuada. O teor de hidrogénio pontual foi avaliado utilizando um analisador de gases portáctil (GasBoard 3200+ para as primeiras 7 leituras e VARIOTEC 460 para as restantes medições). As leituras foram repetidas em furos com elevada concentração para verificar se realmente estes estavam a emitir hidrogénio. Os furos com elevado teor de hidrogénio foram amostrados e as amostra enviadas para análise laboratorial.

Espacialmente, as medições das concentrações de H_2 foram efectuadas ao longo de perfis radiais nas zonas em que as depressões não estavam inundadas (Figura 6).

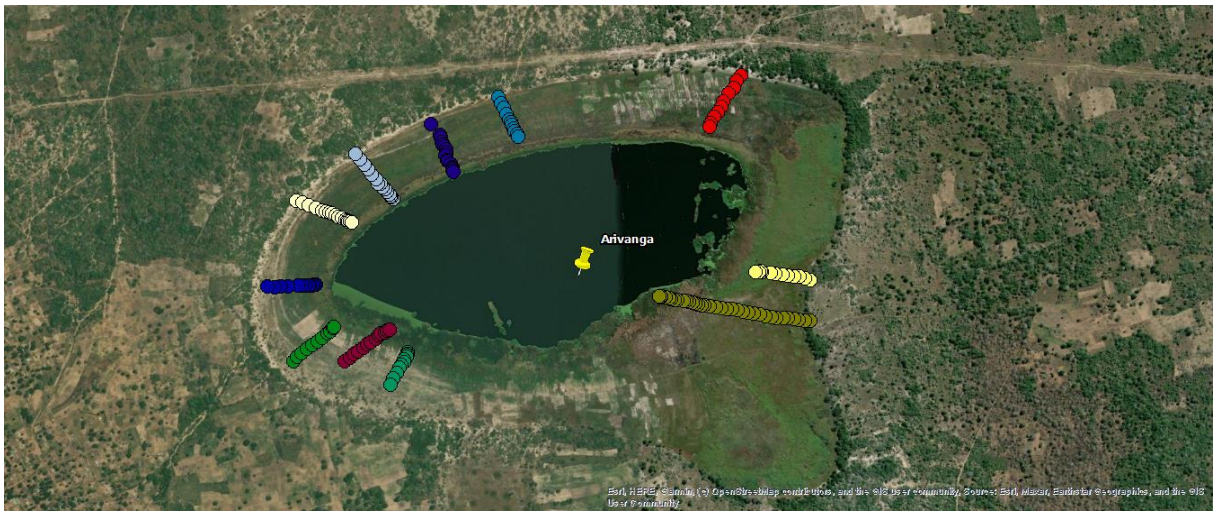


Figura 5: Depressão de Arivanga, Distrito de Bilene, com identificação dos pontos de medição ao longo de perfis.

Resultados

Os trabalhos de campo realizados nos distritos de Manhiça e Bilene revelaram concentrações de hidrogénio natural que chegaram a 4500 ppm (Figuras 6 e 7). As ocorrências estão associadas a areias, argilas, aluviões e siltitos. Medições subsequentes em pontos com concentrações superiores a 1000 ppm confirmaram o elevado potencial de ocorrência de hidrogénio. As áreas de estudo situam-se em zonas rurais desses distritos, onde a população enfrenta grandes dificuldades no acesso à electricidade. O hidrogénio natural pode representar uma alternativa viável para a diversificação do cabaz energético do País, desde que ocorra em volumes e concentrações adequadas para a geração sustentável de energia. Quando disponível em quantidade suficiente, sua exploração e aproveitamento podem contribuir significativamente para a matriz energética nacional, reduzindo a dependência de fontes convencionais. Adicionalmente, o hidrogénio natural apresenta-se como uma potencial fonte alternativa de energia para comunidades que enfrentam desafios no acesso a recursos energéticos convencionais, promovendo soluções mais acessíveis e sustentáveis.



Figura 6: Depressão de Taninga, Distrito de Manhiça mostrando os valores de concentrações de Hidrogénio Natural

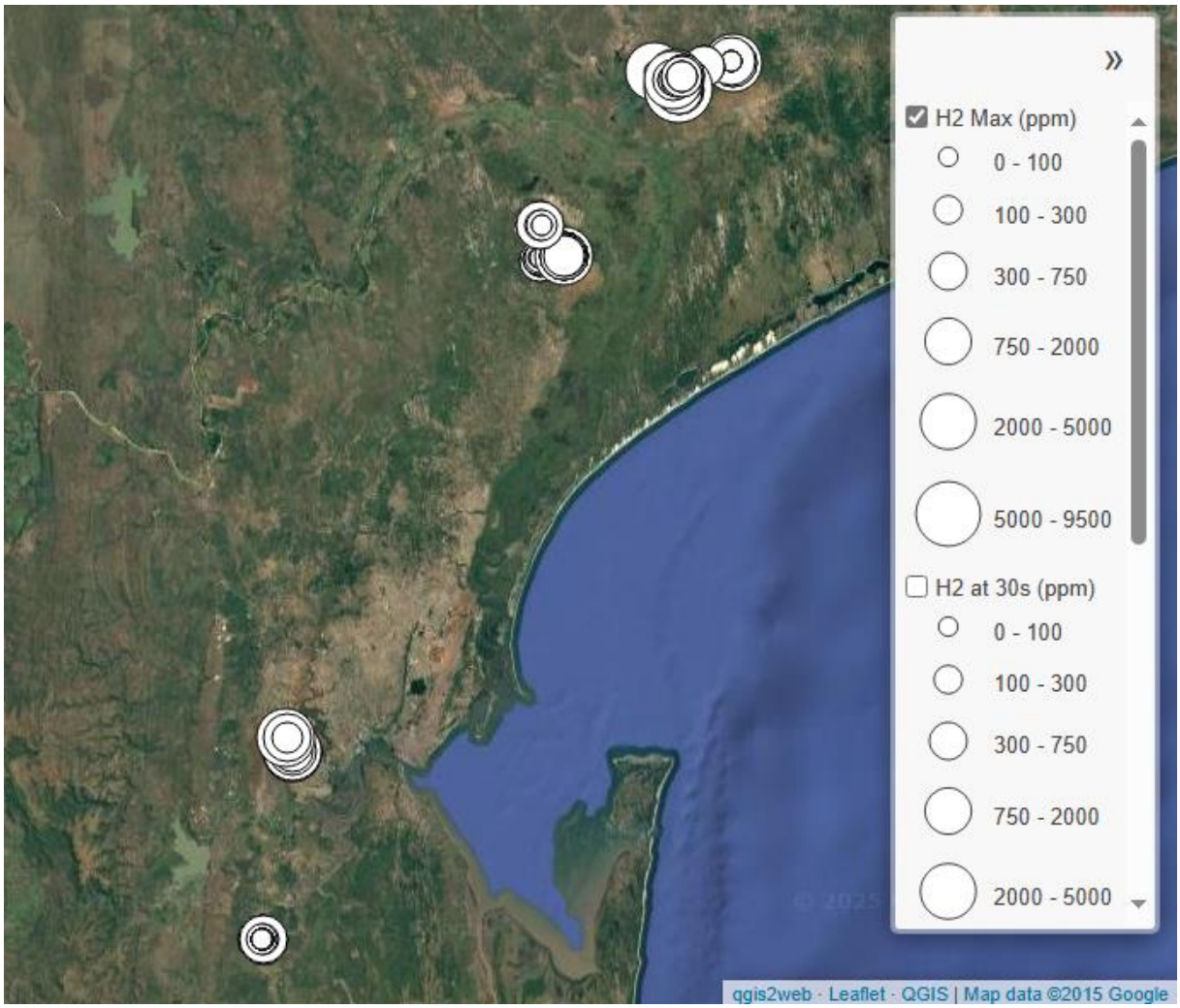


Figura 7: Mapa mostrando pontos colhidos em várias depressões

No presente estudo, foram analisados **448 registros** de concentração de **hidrogénio natural**, obtidos em **seis depressões** localizadas nos distritos de **Manhiça e Bilene**. A avaliação estatística dos dados colectados revelou os seguintes parâmetros:

- **Valor máximo:** 4500
- **Valor mínimo:** 0
- **Média:** 215
- **Mediana:** 44
- **Desvio padrão:** 455

Os resultados evidenciam uma ampla variação na concentração de hidrogénio, reflectida pelo alto desvio padrão, indicando uma dispersão significativa dos valores observados. A análise dos dados revela que a maioria dos pontos apresenta concentrações entre **0 e 100 ppm**, conforme ilustrado na **Figura 8**. Em contrapartida, um subconjunto de pontos exibe concentrações superiores a **1000 ppm**, sugerindo a existência valores anómalos.

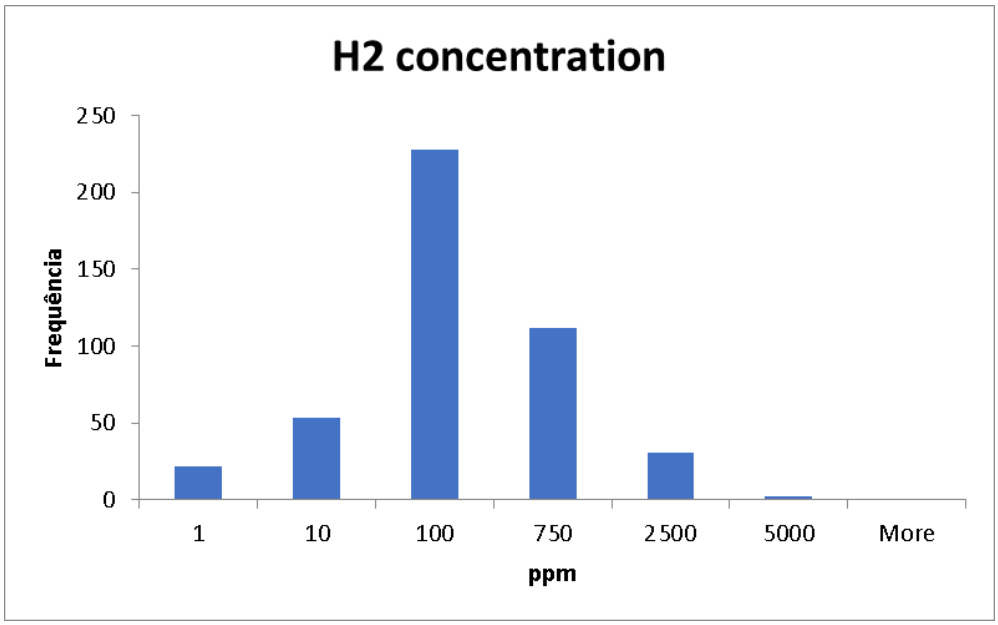


Figura 8: Histograma mostrando a distribuição de concentração de Hidrogénio

Análises laboratoriais

As análises laboratoriais comprovaram a existência de Hidrogénio natural nas amostras de campo colhidas **(Tabela 1).** As análises laboratoriais indicam que o hidrogénio ocorre frequentemente em associação com o hélio. Estudos conduzidos nos Estados Unidos demonstraram que as concentrações de hidrogénio e hélio presentes no gás do solo exibem uma correlação significativa com zonas de falhas geológicas profundas. Além disso, a ocorrência de concentrações anómalas de hélio tem sido utilizada como evidência indirecta para sustentar a hipótese de que, quando associado ao hélio, o hidrogénio apresenta uma origem geológica (Jones & Pirkle, 1981, apud Zgonnik, 2020).

Sample	date	He ppm	H2 ppm
LP-1	2023/11/09		291
LP-3	2023/11/09	7,0	1377
LP-5	2023/11/09	7,0	478
TA-1	2023/11/08	15,0	261
TA-3	2023/11/08	7,0	915
LA-1	2023/11/09	11,0	372
LA-2	2023/11/09	9,0	431
LA-4	2023/11/09	7,0	411
LPU-1	2023/11/09	7,0	270
LA_3	2023/11/09		
TA_2	2023/11/08		

Tabela 1: Análises laboratoriais de amostras

Estudos Posteriores

Após a confirmação de ocorrências de hidrogénio natural em território nacional espera-se nas próximas fases,

- fazer prospecção mais detalhadas nas áreas onde foram identificadas as ocorrências
- identificação dos factores geológicos e estruturais associados às essas ocorrências

- executar furos mais profundos
- É fundamental realizar uma análise das depressões identificadas por meio de imagens de satélite em diversas regiões do país, a fim de determinar se essas ocorrências estão restritas à zona sul ou se apresentam uma distribuição mais ampla.

REFERÊNCIAS

Delloite, Africa Energy Outlook Mozambique special report 2024.

https://energypedia.info/wiki/Energy_Access_in_Mozambique

https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/maputo-1604/ acedido a 10/05/2025 as 13:00 horas.

https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/gaza-1606/ acedido a 10/05/2025 as 13:10 horas.

IEA, IRENA, UNSD, World Bank, WHO. 2023. Tracking SDG 7: The Energy Progress Report. World Bank, Washington DC. © World Bank.

Instituto Nacional de Estatística-Relatório do Inquérito sobre o Impacto do Acesso à Energia Sustentável, 2023.

Lévy D et al., Natural H2 exploration: tools and workflows to characterize a play, Science and Technogy for Energy Transitions 78, by EDP Sciences, https://doi.org/10.2516/stet/2023021

Prinzhofer A et al., Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H2-emitting structure, International Journal of Hydrogen Energy, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.01.119.

Zgonnik, V., The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review, Elsevier, https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140, 2020.

General Electrics, Hydrogen for power generation experience, requirements, and implications for use in gas turbines, in www.ge.com/gas-power/future-of energy, 2022

Joseph Victor, Oghenegare E. E., Recent Advances in White Hydrogen- Exploration and Production: A Mini Review, J. Energy Res. Rev., vol. 13, no 4, pp. 64-79, 2023, Article no JENRR 99222.

http://sdg7mozambique.org/Landing/Status?culture=pt-MZ

ARTIGO Nº22227

MODELAÇÃO ENERGÉTICA DA APLICAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EM AMBIENTE URBANO: CASO REAL NO PORTO - PORTUGAL

André Silva[1], Ana I. Palmero-Marrero[1,2(*)], Armando C. Oliveira[1,2]

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto, Portugal
[2] Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial (INEGI), Porto, Portugal
(*) *Email:* apalmero@fe.up.pt

RESUMO

Neste trabalho, será apresentada a metodologia de elaboração de uma modelação energética de edifícios à escala urbana, na cidade do Porto, com base no CitySim Pro. O modelo permitirá estimar as necessidades térmicas e a pegada carbónica dos edifícios da cidade do Porto. Para atingir os objetivos, será necessário realizar uma modelação geométrica em Sketchup, que é a base do modelo energético. A integração das propriedades térmicas das envolventes dos edifícios, sistemas energéticos, e o perfil de utilização de energia serão expostos e a metodologia de aquisição dos dados explicada. Durante o trabalho concluiu-se que auditorias energéticas foram ações eficazes para adquirir informação sobre os edifícios. Determinou-se também quais as superfícies com maior potencial de integração de sistemas fotovoltaicos. Espera-se que este trabalho permita, no futuro, estudar os efeitos dos sistemas fotovoltaicos nas ilhas de calor urbano.

***Palavras-chave**:* modelação energética urbana, eficiência energética, fotovoltaicos.

INTRODUÇÃO

Os edifícios são responsáveis por 30% do consumo energético global de edifícios e de 26% das emissões de dióxido de carbono (IEA, 2023). Como tal, de forma a auxiliar o planeamento urbano, a simulação energética de edifícios à escala urbana, é uma metodologia alternativa à simulação energética de edifícios à escala individual.

A modelação energética de edifícios à escala urbana permite simular energeticamente uma elevada quantidade de edifícios em simultâneo. É uma ferramenta que auxilia a tomada de decisão para otimizar o projeto de sistemas energéticos a uma escala urbana (Battini F., *et al*., 2023). No entanto, envolve dificuldades, tais como a complexidade dos sistemas urbanos, falta de informação e elevado tempo e dificuldade na modelação (Abbasabadi, N. e Ashayeri M., 2019).

No presente artigo apresenta-se a metodologia de criação do modelação energético à escala urbana, utilizando o *CitySim Pro*. A base do modelo, é criada em *SketchUp*, utilizando dados adquiridos ao longo do processo, tais como auditorias energéticas. No modelo energético foram integradas as propriedades térmicas da envolvente, assim como os sistemas energéticos. No final, foram estimadas as necessidades térmicas e as superfícies com maior potencial de integração de sistemas solares fotovoltaicos.

A baixa massa térmica dos painéis solares fotovoltaicos, comparativamente às superfícies urbanas adjacentes, pode fazer com que a temperatura dos painéis aumente rapidamente, diminuindo a eficiência, aumentando a temperatura do ar exterior e afetando o desempenho

energético dos edifícios. No entanto, na literatura, os estudos não são consistentes relativamente à relação entre a existência de sistemas solares fotovoltaicos e a formação de ilhas de calor urbano (Rodrigues, A. *et al.*, 2024). Assim, este estudo irá permitir estudar a relação entre a integração de sistemas solares fotovoltaicos em edifícios, formação de ilhas de calor urbano e o desempenho energético de edifícios.

DESENVOLVIMENTO DO MODELO ENERGÉTICO

Caso de estudo

Neste estudo, um dos principais objetivos foi o desenvolvimento de um modelo energético urbano para os edifícios duma área específica da cidade do Porto identificada como PCED (*Positive Clean Energy District*) que tem uma área de 71 hectares. O PCED localiza-se, como visto na Figura 1, a norte do rio Douro e a oeste do Oceano Atlântico, onde existem mais de 5.000 moradores dentro da área estudada.



Fig. 1 - Localização do PCED do Porto

Dentro desta área, existem diferentes tipologias de edifícios e infraestruturas, tal e como ser visto na Figura 2.

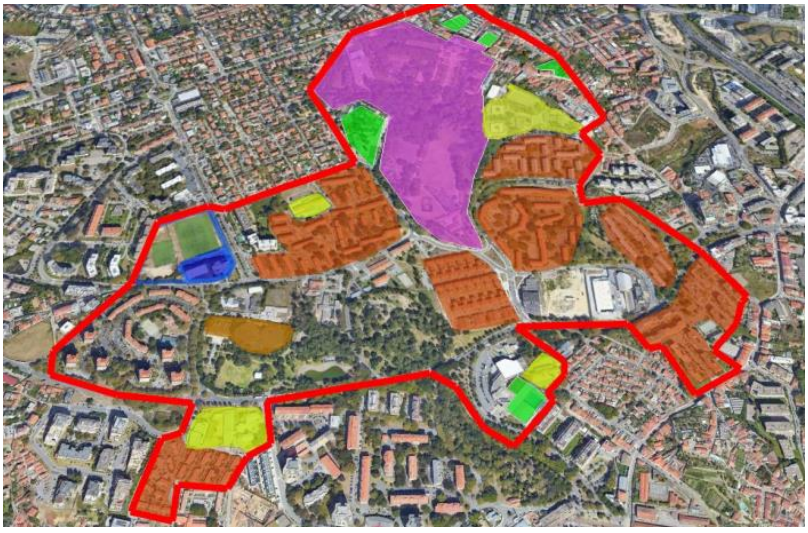


Fig. 2 - Localização dos edifícios dentro do PCED do Porto.

A área do PCED inclui a Fundação de Serralves (museu e parque) (polígono roxo), vários bairros sociais (polígonos laranjos) que contêm quase 1900 fogos, quatro escolas sob gestão

municipal (polígonos amarelos), tanques de água do Serviço Municipal (polígono castanho), o edifício administrativo e o complexo desportivo (marcadores azuis).

Neste trabalho, os bairros sociais pertencentes ao PCED, foram, generalizadamente, os analisados. Em termos de envolvente opaca e envidraçada, os bairros têm diferentes idades de construção e estão empregues diferentes soluções construtivas. Além disso, certos bairros sofreram operações de reabilitação, enquanto outros não.

Em termos de sistemas técnicos, pode-se afirmar que na maior parte dos bairros não existem sistemas de climatização. Este facto, além de dificultar a calibração do modelo energético, remete para possíveis situações de pobreza energética, o que é comprovado pelo resultado de inquéritos efetuados à população no âmbito de avaliação de conforto. Também se regista que, embora não existam sistemas de climatização, certas casas utilizam sistemas de aquecimento de unidades individuais, por intermédio de aquecedores elétricos. Note-se que esta solução tanto energeticamente como economicamente não é considerada uma solução eficiente.

Descrição do trabalho para a criação do modelo energético

O trabalho realizado consistiu na criação de um modelo energético, com vista a avaliar o panorama energético dos edifícios da cidade do Porto e a propor medidas visando a eficiência energética. Para o alcance desse objetivo, usou-se um software de modelação geométrica 3D, denominado *SketchUp*, e um software de simulação energética urbana, denominado *CitySim* Pro.

A escolha pela simulação dinâmica de edifícios à escala urbana em detrimento da simulação à escala individual, recaiu com a aplicação pretendida. Os modelos energéticos individuais, embora sejam mais indicados, por exemplo, quando se pretende estudar detalhadamente o desempenho energético de um edifício o conforto térmico interior, não são apropriados para o estudo energético de um elevado número de edifícios, devido ao elevado detalhe inerente à modelação, o que tornaria complexo o processo.

O desenvolvimento do modelo energético, seguiu uma abordagem fundamentada com análise do estado da arte da literatura acerca de modelação energética de edifícios à escala urbana. Na Figura 3 estão os passos descritos pelo processo do modelo energético.

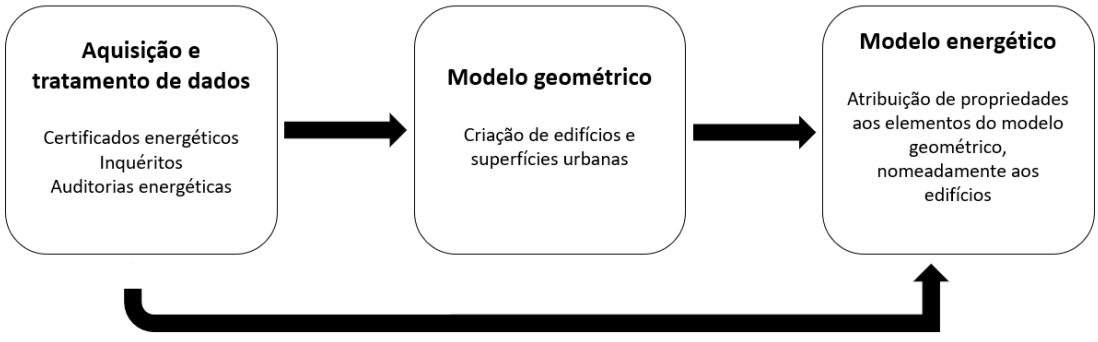


Fig. 3 – Processo de criação do modelo energético.

No início, realizaram-se inquéritos aos moradores dos bairros sociais em estudo, além da avaliação do estado de pobreza energética dos habitantes através da identificação dos problemas existentes, e recolheram-se informações acerca dos equipamentos de climatização existentes. Na maior parte das frações, não existem equipamentos de climatização eficientes, embora em

algumas existam unidades individuais para aquecimento ambiente, como radiadores elétricos a efeito de Joule.

ANÁLISE E RESULTADOS DO MODELO ENERGÉTICO

Para o desenvolvimento do modelo energéticos, seguiu-se nos passos referidos na figura 3, que serão analisados a seguir.

- **Aquisição e tratamento dos dados**: esta etapa é fundamental para que se consiga obter um modelo energético virtual mais próximo do modelo real. Os dados foram adquiridos, principalmente, através de certificados energéticos e estudos existentes. Também foram elaborados inquéritos aos moradores nos edifícios, com o objetivo de se obterem informações acerca do nível de conforto existente, patologias das frações e do perfil de utilização elétrica e de equipamentos nas frações;
- **Criação do modelo geométrico**: O modelo geométrico foi desenvolvido em SketchUp. É sobre o modelo geométrico que se desenvolve o modelo energético. O modelo geométrico contém a informação geométrica da cidade do Porto, nomeadamente no que diz respeito aos edifícios, sombreamentos e outros elementos e superfícies existentes em ambiente urbano. O modelo geométrico, contém informações sobre as obstruções existentes, edifícios, estradas, terrenos e outras superfícies urbanas que podem influenciar o comportamento térmico interior e exterior aos edifícios;
- **Criação do modelo energético**: Após desenvolvimento do modelo geométrico foi desenvolvido o modelo energético através do software CitySim Pro, onde se atribuíram as propriedades aos edifícios, tais como cargas internas e soluções construtivas. Destaca-se a atribuição de outras propriedades aos edifícios e superfícies urbanas, tais como o coeficiente de reflexão e a área envidraçada.

Aquisição e tratamento dos dados

A aquisição e tratamento dos dados é uma fase fulcral para a elaboração precisa de um modelo energético. Embora seja o primeiro passo, estará presente durante todos as fases de elaboração do modelo. Neste sentido, existe um tratamento de dados inicial, de modo a ser possível agrupar os dados existentes, em dados geométricos e dados não geométricos.

Nos primeiros estão englobados dados referentes à localização dos edifícios, alturas dos mesmos e distâncias absolutas entre si. Estão disponíveis em formato *shapefile* e foram disponibilizados por entidades municipais. Os dados geométricos são maioritariamente utilizados na fase de construção do modelo geométrico. No entanto, alguns dados como a percentagem de área envidraçada por fachada, por constrangimentos associados ao uso do *CitySim Pro*, serão apenas utilizados na fase de construção do modelo energético.

Relativamente aos dados não geométricos, estes incluem dados referentes às soluções construtivas dos edifícios, tipos de envidraçados, perfis de ocupação e potência de pico fotovoltaica instalada por fachada. Estes tipos de dados são obtidos, maioritariamente através da consulta de certificados energéticos e auditorias realizados aos edifícios em questão, e são maioritariamente utilizados durante a fase de elaboração, calibração e validação do modelo energético. São também os que mais contribuem para a incerteza associada à elaboração do modelo energético.

Na Tabela 1, encontram-se apresentados os tipos de dados geométricos e não geométricos existentes durante a fase inicial e disponíveis para a elaboração do modelo energético.

Tabela 1. Exemplos de dados geométricos e não geométricos recolhidos

Dados geométricos	**Dados não geométricos**
Localização dos edifícios	Perfis de ocupação
Altura dos edifícios	Ganhos internos
Distância absoluta entre edifícios	Soluções construtivas
Área de envidraçados por fachada	Potência de pico fotovoltaico por fachada
Geometria de sombreamentos e árvores existentes	Ventilação e infiltrações dos edifícios
Layout das coberturas	Tipos de envidraçados

No entanto, durante a construção do modelo geométrico, existe uma constante verificação dos dados existentes e aquisição de novos, de modo a ser possível construir um modelo geométrico preciso, mas também simplificado. De notar que quanto mais complexo for o modelo, mais difícil será a modelação, e mais tempo demorará a posterior simulação energética. É, então, necessário existir uma simplificação, adoção e avaliação dos dados disponíveis, de modo a ser possível produzir, ao mesmo tempo, um modelo simples e preciso e que atinja os objetivos do trabalho.

Nesta fase, também se recorreu ao *Google Earth* para estimar altitudes relativas do pavimento em contacto com o solo dos diferentes edifícios existentes, assim como para validar as alturas dos mesmos.

Durante a fase de conceção do modelo energético, para facilitar a modelação energética e tendo em conta a indisponibilidade de dados não geométricos referentes a certos edifícios, agruparam-se os edifícios em arquétipos. Esta abordagem é descrita na literatura e foi considerada adequada para garantir a precisão do modelo.

Os arquétipos foram criados tendo em conta alguns dos seguintes fatores:

- Tipologia dos edifícios;
- Tipo de construção dos edifícios;
- Idade de construção dos edifícios.

Embora os arquétipos tivessem permitido agrupar alguns dados geométricos, tais como soluções construtivas, tipo de envidraçados e perfis de utilização de energia, existiram outros que foram atribuídos individualmente a cada superfície urbana. Destacam-se a potência de pico fotovoltaico por fachada, a emissividade das superfícies e a área de envidraçados por fachada.

Criação do modelo geométrico

Este tipo de modelação define as características geométricas da zona urbana. A geometria urbana influência o comportamento térmico dos edifícios e todo o ambiente urbano, na medida em que afeta o sombreamento solar, os efeitos convectivos do vento e os efeitos radiativos entre as demais superfícies. Foram, então, desenhados, de forma cronológica, os edifícios, o terreno e obstruções existentes, tais como árvores. No final foi realizada uma renderização ao modelo, para se obter uma imagem digital mais próxima da realidade.

A modelação geométrica começou com a modelação dos edifícios e do terreno. O ficheiro *shapefile* fornecido durante a etapa de recolha e aquisição dos dados, foi convertido em ficheiro em formato dxf, para ser possível importar para *SketchUp*. Este procedimento auxiliou a modelação do pavimento de todos os edifícios. O ficheiro importado continha informações sobre a localização dos edifícios, área de pavimento e pé-direito dos mesmos, sendo possível visualizar em *SketchUp*, sob a forma de "caixas" distribuídas ao longo da cidade, como visto na Figura 4. Esta informação foi a base para a criação do modelo geométrico.

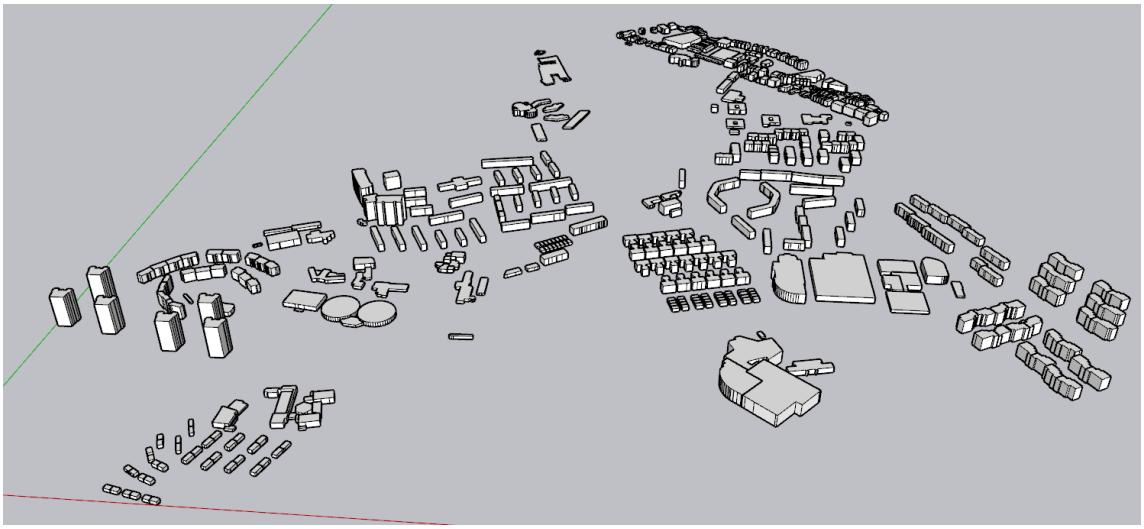


Figura 4 - Ficheiro inicial com a informação geométrica dos edifícios.

Através de uma análise da Figura 4, verifica-se que os pavimentos de todos os edifícios estão localizados ao mesmo nível. Contudo, na realidade, a altitude é diferente para cada um dos edifícios. Portanto, a primeira fase consistiu em localizar em termos de altura relativamente ao nível do mar, cada um dos edifícios. Para isto, recorreu-se ao *Google Earth*, de modo a se obter a respetiva altura.

A altura relativa entre os edifícios foi um parâmetro importante a ter em conta na modelação geométrica, devido à sua relevância no que diz respeito ao sombreamento. A não consideração deste efeito pode afetar a viabilidade económica e energética da instalação de painéis fotovoltaicos e alterar o comportamento energético dos edifícios, na medida em que pode ocorrer uma simulação imprecisa da radiação solar incidente nas fachadas e cobertura ao longo do ano.

A geometria e características das coberturas são um fator importante para a exequibilidade técnica de instalação de painéis fotovoltaicos. Por exemplo, a implementação de painéis fotovoltaicos, em termos técnicos, difere se se tratar de coberturas planas em terraço ou inclinadas. Além disso, o tipo de cobertura tem relação com o coeficiente de transmissão térmica da solução construtiva.

Após dimensionamento dos edifícios, passou-se à criação do terreno. Mais uma vez, teve-se em conta a altitude do terreno, em vários pontos da cidade. Em termos de detalhe, a complexidade do terreno adotada foi superior em áreas próximas aos edifícios a estudar.

A modelação de sombreamentos exteriores e árvores foi realizada após a criação dos edifícios e terreno. A criação das árvores foi considerada como necessária, pois a zona estudada possui um elevado número e verificou-se que algumas árvores possuem uma altura tal, que sombreiam por completo algumas fachadas dos edifícios e parte das coberturas. Isto pode ter impacto na estimativa da energia produzida por sistemas fotovoltaicos instalados na cobertura, assim como no estudo económico e ambiental da implementação de painéis fotovoltaicos integrados nas fachadas.

Na modelação de árvores, foi adotada uma modelação estática em que se considerou a árvore como tendo altura, diâmetro de cúpula e diâmetro de tronco médios.

Por fim, o modelo criado foi renderizado de modo a obter uma imagem digital da cidade, próxima da realidade. A renderização focou em dois pontos, que a seguir se explicam:

- Atribuição das cores reais aos edifícios. Este ponto teve como objetivo auxiliar a posterior definição do valor do coeficiente de reflexão das superfícies, durante a construção do modelo energético. Note-se que a refletividade das superfícies depende da cor, sendo maior para cores mais claras;

- Traçado das estradas existentes. Este ponto teve como objetivo auxiliar a identificação da rede de estradas que ligam os diversos edifícios.

No final, obteve-se com sucesso o modelo geométrico detalhado do PCED da cidade do Porto, tal como identificado na Figura 5.

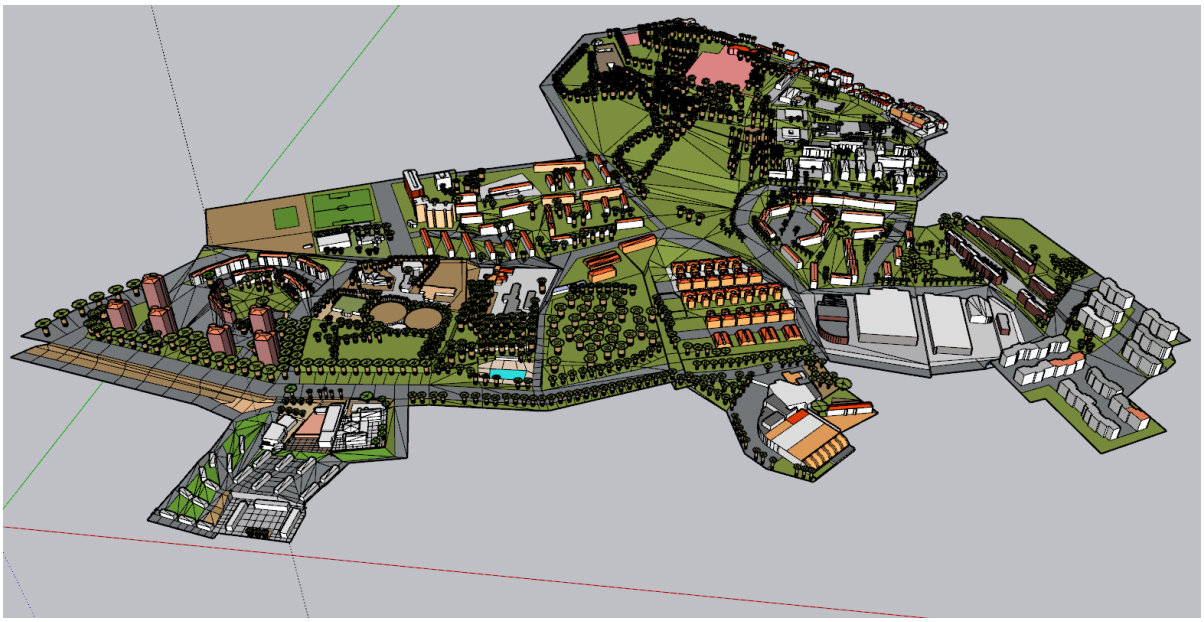


Figura 5 - Modelo geométrico do PCED do Porto.

Criação do modelo energético

Após criação do modelo geométrico do PCED da cidade do Porto, foi possível exportar os dados para *CitySim* Pro, de modo a proceder à modelação energética. Para ser efetuada com sucesso, é necessário atribuir aos edifícios informações acerca de: taxa de infiltrações (a soma das infiltrações devido à permeabilidade de ar da janela e devido a permeabilidade do ar através da caixa de estores); set-point de temperaturas interior (para edifícios de habitação foi considerado o disposto no Manual SCE, considerando uma temperatura mínima de 18 ºC, na estação de aquecimento, e máxima de 25 ºC, na estação de arrefecimento. Para edifícios de comércios e serviços considerou-se a temperatura interior compreendida entre 20 ºC e 25 ºC); irradiância mínima para acionamento de proteções solares (a utilização de dispositivos de proteção solar sempre que a radiação solar incidente na fachada superar os 300 W/m^2), características de envolvente opaca e envidraçada (a caracterização da envolvente opaca e envidraçada, foi feita em termos de coeficiente global de transferência de calor e fator solar. Para os diferentes valores considerou-se a proposta do Manual SCE e a ITE 50 e ITE 54 (Regulamentos sobre os Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios); rácio de envidraçados por fachada (analisou-se usando a vista área do Google Earth) e ganhos internos (consistiram na determinação do número de pessoas em cada edifício, do perfil de utilização de energia e de ocupação, assim como do ganho interno sensível e latente devido às pessoas). Para todas as superfícies urbanas, foi necessário atribuir o coeficiente de reflexão e a potência de pico fotovoltaica instalada.

A atribuição das propriedades seguiu o disposto no Decreto-Lei n.º 101-D/2020, mais concretamente a metodologia descrita pelo Manual SCE (Manual Técnico para a Avaliação do Desempenho Energético dos Edifícios em Portugal) (SCE, 2021), que estabelece a metodologia de cálculo para efeitos da avaliação do desempenho energético dos edifícios, e que foi aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021.

No entanto, é importante, sublinhar que a caracterização dos edifícios não foi elaborada de forma detalhada, devido à modelação ocorrer a uma escala urbana. Refira-se que, de acordo com a literatura, em estudos à escala urbana, mesmo com um menor detalhe na modelação, os resultados globais das necessidades energéticas do conjunto dos edifícios tendem a aproximam-se da realidade com o aumento do número dos edifícios.

Após criação do modelo energético, foi possível simulá-lo e analisar alguns pontos relativos às necessidades energéticas globais, temperatura das superfícies e radiação incidente nas superfícies em pequeno comprimento de onda (maioritariamente radiação solar), assim como propor medidas de melhoria a alguns edifícios. As simulações não foram possíveis de ser realizadas ao modelo energético agregado devido à complexidade do mesmo. Como solução, efetuaram-se simulações dinâmicas a pequenos "subconjuntos" separados. Por exemplo, como se apresenta na Figura 6, efetuou-se o estudo da irradiação média fotovoltaica incidente nas superfícies do bairro da Pasteleira, num determinado dia do ano.

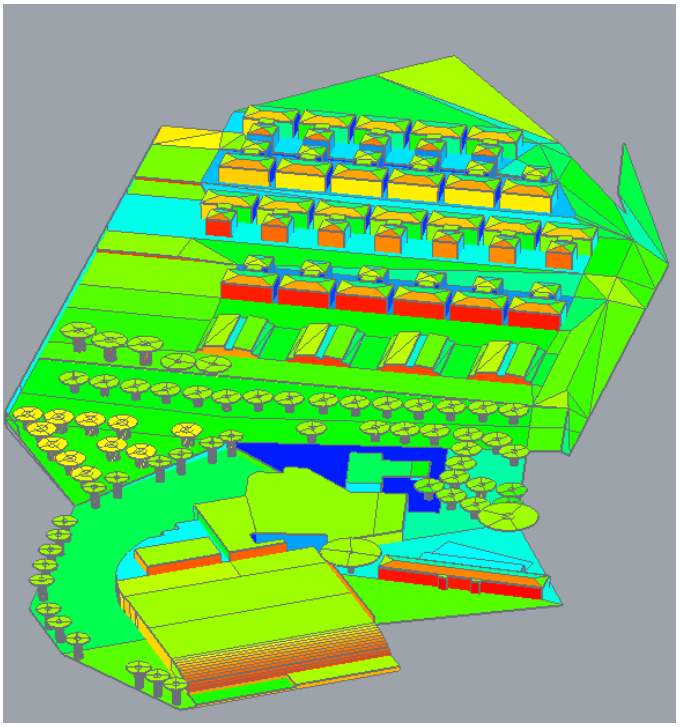


Figura 6 - Irradiância média incidente nas superfícies no bairro da Pasteleira, num determinado dia do ano.

Note-se que na figura apresentam-se resultados visuais, sendo possível verificar quais as superfícies com maior radiação solar incidente (cor vermelho e laranja), não sendo, contudo, possível de estimar o valor. Contudo, analisando a figura verifica-se, como expectável, que as superfícies orientadas a sul e sem sombreamento apresentam maior incidência solar, ao passo que, em algumas superfícies, o sombreamento provocado por edifícios reduz, de forma significativa a quantidade de radiação solar incidente.

CONCLUSÕES

Os principais objetivos alcançados foram a criação de um modelo geométrico, energético e a caracterização do panorama energético global da zona do Porto e, respetiva proposta de medidas de melhoria energética, recorrendo aos resultados obtidos da simulação do modelo energético.

A criação do modelo geométrico superou as expetativas iniciais. De facto, o modelo elaborado possuía um detalhe suficiente que o aproximava da realidade e, ao mesmo tempo, não tornava o modelo energético demasiado complexo, que aumentasse de maneira significativa o tempo de simulação.

As principais conclusões preliminares a tirar são as seguintes:

- Os bairros sociais apresentam maiores necessidades de aquecimento, comparativamente às necessidades de arrefecimento, o que condiz com os resultados obtidos durante a realização dos inquéritos aos moradores, que relatam que no verão a temperatura é agradável, mas que durante o inverno passam muito frio, essencialmente devido às infiltrações pela caixilharia. Com isto entende-se que, uma das possíveis medidas de melhoria a aplicar, seria a substituição dos envidraçados existentes, por outros com menor permeabilidade e maior resistência à transferência de calor para o exterior. A aplicação de isolamento exterior, também poderia ser benéfica, uma vez que o principal problema apontado são as necessidades de aquecimento;

- Um maior coeficiente de reflexão traduz-se numa menor temperatura das superfícies, devido à menor absorção de radiação. Por sua vez, as estradas que tendencialmente possuem uma cor escura, apresentam temperaturas mais elevadas. Efetuando um raciocínio idêntico, na região onde o PCED se encontra e existindo elevadas necessidades de aquecimento, uma pintura escura pode promover a sua diminuição;
- O sombreamento provocado pelos edifícios e por árvores influencia a produção fotovoltaica. Não tomar em consideração este efeito, poderia sobrestimar a produção real fotovoltaica;
- A presença de árvores ajuda a diminuir a temperatura exterior das superfícies, na medida em que contribui para o sombreamento. De facto, a presença destas perto de estradas, podem contribuir para a redução da temperatura da superfície das mesmas e, consequentemente, pode ajudar a aumentar o conforto térmico no ambiente urbano.

Por outro lado, a visualização espacial dos resultados em *CitySim Pro*, mesmo através de um modelo mais grosseiro, permitiu avaliar e caracterizar preliminarmente as necessidades energéticas dos edifícios da cidade do Porto, a quantidade de energia produzida por painéis fotovoltaico, a radiação solar incidente e as temperaturas das superfícies. Isto permitiu identificar os edifícios com maiores necessidades térmicas, propor medidas de melhoria e retirar conclusões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Portugal, através do financiamento plurianual da Unidade LAETA.

REFERÊNCIAS

Abbasabadi, N. e Ashayeri, M. "Urban energy use modeling methods and tools: A review and an outlook," Building and Environment, vol. 161, pp. 106270, August 2019, doi:https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106270.

Battini, F., Pernigotto, G., Gasparella, A. "District-level validation of a shoeboxing simplification algorithm to speed-up Urban Building Energy Modeling simulations," Applied Energy, vol. 349, pp. 121570, November 2023, doi:https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121570

IEA, "Buildings," IEA, Paris, 2023. Disponível em: https://www.iea.org/energy-system/buildings

Rodrigues, A., Oliveira, A. C., e Palmero-Marrero, A.I., "Integration of PV Systems into the Urban Environment: A Review of Their Effects and Energy Models," Urban Science, 8, 215, November 2024, https://doi.org/10.3390/urbansci8040215.

SCE - Manual do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, Aprovado pelo Despacho n.º 6476-H/2021, de 1 de julho. Disponível em: https://www.dgeg.gov.pt/pt/destaques/manual-do-sistema-de-certificacao-energetica-dos-edificios/ (consultado em maio 2025)

ARTIGO Nº22476

OPTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS ISOLADOS PARA ELECTRIFICAÇÃO RURAL CONSIDERANDO A PROBABILIDADE DE PERDA DE CARGA

Verónica Anastância Rafael Wamusse[1, (*)], Leonel João Muthemba[2], Edson Afonso Joaquim Punguane[1], Eldomar José Zita[1], João Lusito Alberto Mondlane[1]
[1] Instituto Superior Politécnico de Songo, Tete – Songo, [2] Universidade Rovuma
[(*)] *Email:* var.wamusse23@gmail.com

RESUMO

A eletrificação rural é de extrema importância, visto que a energia elétrica representa factor dinamizador dos diferentes sectores de actividade socioeconómica e industrial de qualquer unidade territorial de um país. A energia possibilita investimentos, inovações e novas indústrias que são os motores de empregos e crescimento para economias inteiras. Em Moçambique nem todos tem acesso a energia eléctrica porque os custos de investimentos são elevados e a procura é baixa devido à pobreza. Este cenário é notável nas zonas rurais devido à baixa densidade populacional, pobreza extrema e baixa renda familiar. A implantação de energias novas e renováveis, como a fotovoltaica, por exemplo, tem se mostrado viável no meio rural, pois é uma das melhores fontes de energia renovável com menos impactos negativos ao meio ambiente.

Este trabalho apresenta um modelo de optimização para o dimensionamento de sistemas isolados para eletrificação rural com o objectivo de minimizar a área do sistema fotovoltaico (FV), a quantidade de baterias, o custo do sistema e o LOLP (*Loss of Load Probability*), aplicando a técnica de Algoritmos Genéticos para determinar a melhor configuração do sistema. A metodologia de estudo compreendeu o dimensionamento do sistema fotovoltaico pelo método do mês mais crítico, assim como o banco de baterias para o sistema de armazenamento de energia em razão de a fonte solar ser de natureza intermitente. Foram também dimensionados os dispositivos de condicionamento de potência, o inversor e o controlador de carga.

O modelo matemático desenvolvido foi implementado na ferramenta computacional MATLAB®. O índice LOLP foi usado para medir a confiabilidade do sistema por meio da análise de sensibilidade sobre o comportamento do sistema com o aumento da carga ao longo do tempo. Esse aspecto é crítico em sistemas fotovoltaicos instalados e em operação em Moçambique e no mundo, onde o crescimento de carga não planeado compromete o CAPEX (*Capital Expenditure*) e OPEX (*Operational Expenditure)* dos projetos. De acordo com os resultados obtidos, houve uma redução da área do painel que contribui para a diminuição da energia excedente, da quantidade de baterias para o sistema de armazenamento de energia, do LOLP e consequente do custo total do sistema. Conclui-se neste trabalho, que foi encontrado um bom resultado para a função objetivo e a optimização Multiobjetivo mostrou ser um método muito eficiente na busca de soluções ótimas.

Palavras-chaves: Optimização. Sistemas isolados. Electrificação rural. Probabilidade de perda de carga.

ARTIGO Nº22489

ANÁLISE DO *BACKGROUND NOISE* EM ENSAIOS DE DESCARGAS PARCIAIS NO LAT/FEUP.

Antonio Fernando Martins Cardoso[1(*)], António Machado e Moura[1], Bernardo Marques Amaral Silva[1], José Rui Ferreira[1], Matias Fabricius[1], Mateus Laranjeira[1].

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Laboratório de Alta Tensão - Porto, Portugal
[(*)] *E-mail :* afmc@fe.up.pt

RESUMO

A medição de ruído de fundo (Background Noise - BGN) tem como objetivo determinar a quantidade de ruído presente naturalmente em sistemas de ensaio em alta tensão. Este artigo discute o BGN medido no hall de ensaios do Laboratório de Alta Tensão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LAT/FEUP) através da metodologia presente na norma IEC-60270:2000, utilizando como dispositivo de deteção o condensador de acoplamento (Ck) e uma impedância de medição (Zm). A medição foi conduzida usando esses sensores simultaneamente com o nível de tensão de 25kV/50kV/75kV. O calibrador pico-Coulomb (pC) foi usado para ajustar a referência em 100 pC. Os resultados da medição mostram que o menor nível de ruído captado está a volta de 25 a 35 pC, observado numa condição de menor interferência da rede elétrica da faculdade. Por outro lado, o maior nível do BGN medido, está a volta de 50 a 60 pC, o que para muitos ensaios está foram da margem de tolerância. Em assim sendo, conclui-se que para realizações de ensaios de medição de descargas parciais (DP) no LAT/FEUP devem ser realizados em horários nos quais o comportamento da rede elétrica tenha pouca interferência, o que, na prática, está alinhado ao processo de medição de DP realizados em equipamentos elétricos de subestações, para além de ações adicionais de redução do BGN

***Palavras-chave**:* Background Noise, Ensaios, Descargas Parciais, Ruído.

INTRODUÇÃO

DP são uma das causas de falha de equipamentos de alta tensão. Alguns sensores foram desenvolvidos para detetar sinais de DP, incluindo um detetor com condensador de acoplamento e impedância de medição, sendo este, considerado o método convencional padrão da norma internacional IEC-60270:2000 (Behrman, Gross e Muhr). Este método apresenta limitações para ensaios de campo, pois requer o desligamento do equipamento para instalação ou remoção do sistema de medição, o que nem sempre é viável. Entretanto é amplamente empregado em ensaios em laboratórios de alta tensão.

Nas medições de DP em alta tensão, o resultado pode ser um padrão de impulso ou onda de pulso com pulsos de corrente transitória de alta frequência, sendo tais pulsos de descargas detetados pelo sistema de medição. A perceção da componente de ruído na medição de DP afeta muito a qualidade do sinal recebido e, por conseguinte, dos diagnósticos baseados neste processo (Kirkham and White). Desta maneira, a medição do BGN tem como objetivo determinar a quantidade de ruído que aparece naturalmente no sistema observado e como determinadas ações de mitigação têm efeito na redução do BGN.

Influência do Campo Elétrico e o Surgimento de Descargas Parciais em Sistemas de Alta Tensão

Em sistemas de alta tensão (AT), a aplicação de uma diferença de potencial (ddp) sobre um determinado arranjo resulta, inevitavelmente, na indução de tensões em objetos próximos, na ionização de moléculas de ar nas superfícies condutoras, na geração de sinais eletromagnéticos e na formação de um campo elétrico distribuído ao redor do sistema. Esse campo elétrico é diretamente proporcional à tensão aplicada e exerce influência determinante sobre os fenômenos físicos que ocorrem nas proximidades (Kreuger).

A intensidade e a configuração do campo elétrico são fatores-chave para o surgimento de diversos efeitos indesejáveis em sistemas de transmissão de energia elétrica, tais como perdas energéticas, interferência em faixas de frequência audíveis ou utilizadas em rádio e televisão, emissão visual de corona, ocorrência de descargas parciais (DP) e, em situações mais críticas, descargas disruptivas — estas últimas associadas à ionização completa de um caminho condutivo até um elétrodo adjacente.

O campo eletromagnético constitui, portanto, a origem primária desses fenômenos. Dependendo do tipo de análise ou problema a ser investigado, são utilizadas terminologias e grandezas físicas específicas para caracterizá-los de forma adequada.

A ionização das moléculas de ar, causada por campos elétricos intensos, é o mecanismo subjacente a todos os fenômenos mencionados. Contudo, o termo "ionização" é utilizado de maneira geral para descrever a separação dos componentes de uma molécula neutra e, por isso, não é empregue para nomear diretamente os fenômenos elétricos resultantes (Birlasekaran *et al*). Termos específicos como, efeito corona, são utilizados para descrever descargas visíveis no ar em torno de condutores, enquanto "*streamer*" refere-se a descargas auto-sustentadas que evoluem sob determinadas condições de campo. O processo de DP tem sua origem conforme ilustra a Figura 1:

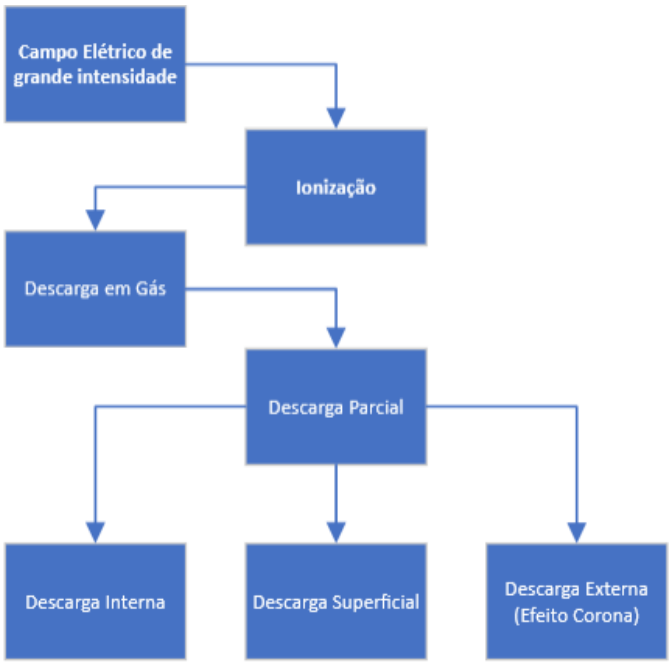


Fig. 1: Processo de formação dos diferentes tipos de DP

Entre os fenômenos mais críticos está a ocorrência de DP, que podem manifestar-se tanto em cavidades internas de materiais isolantes quanto em superfícies de contato condutoras. As DP em cavidades — como microbolhas de ar em sólidos isolantes — contribuem significativamente para a degradação do dielétrico em sistemas de isolamento de equipamentos de AT e podem gerar interferências eletromagnéticas, afetando, por exemplo, a receção de sinais de rádio (Cavallini, e Montanari).

Do ponto de vista físico, as DP podem ser compreendidas como descargas disruptivas localizadas, restringidas a pequenas regiões do material isolante, Figura 2. Em dielétricos sólidos, elas são geralmente causadas pela ionização de cavidades internas; em líquidos isolantes, por bolhas de gás; e no ar, pela ionização local de moléculas submetidas a altos gradientes de potencial.

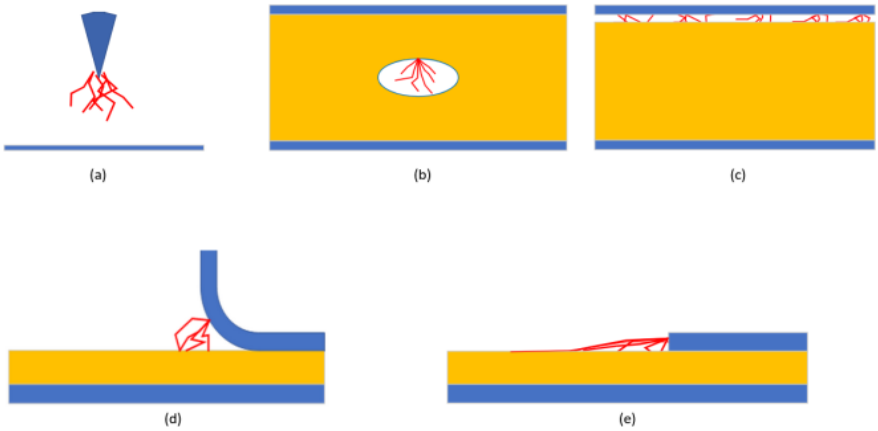


Fig. 2: Ponta/Plano (b) Cavidade em dielétrico sólido/liquido (c)Lacuna de gás paralela ao dielétrico (d)Descarga numa borda (e)Descarga numa superfície.

Essas descargas podem ocorrer em qualquer região do dielétrico, em interfaces entre materiais com constantes dielétricas diferentes ou em pontos adjacentes aos condutores. Em muitos casos, manifestam-se de forma repetitiva ao longo de diversos pontos do sistema isolante.

A realização de ensaios de descargas parciais é fundamental devido à sua capacidade de acelerar o envelhecimento e a degradação do material isolante, alterando suas propriedades dielétricas. A intensidade das DP influencia diretamente na vida útil do sistema isolante, sendo esse um dos principais aspetos avaliados nos ensaios. Além disso, a crescente utilização de materiais poliméricos — que tendem a envelhecer mais rapidamente sob ação de ionização — e a busca por soluções econômicas que demandam espessuras menores de isolamento tornam os ensaios de DP ainda mais relevantes na engenharia elétrica moderna (Zhu *et al*).

CARACTERÍSTICAS DAS DESCARGAS PARCIAIS

DP são descargas elétricas localizadas que não conectam completamente o isolamento entre os condutores. Ocorrem quando o campo elétrico dentro de um sistema de isolamento excede um limiar crítico, causando ionização gasosa transitória. Estas descargas originam-se tipicamente de pontos de tensão concentrados, seja dentro do material isolante ou ao longo da sua superfície.

Os eventos de DP manifestam-se como pulsos muito curtos, com duração inferior a 1 μs, e também podem produzir som, luz, calor e reações químicas.

Dentre as principais características das DP destacam-se:

- Ocorrem apenas em regiões localizadas do material isolante;
- Possuem curta duração em relação ao ciclo da senoide, situando-se tipicamente na ordem de nanossegundos;
- Apresentam frente de onda extremamente íngreme, sendo discretas no tempo e podendo ser tratadas como funções impulso na escala elipsoidal de registo das descargas;
- São fenômenos repetitivos, ocorrendo sucessivamente em diferentes pontos do dielétrico;
- As disrupções associadas às DPs ocorrem, predominantemente, em meio gasoso;
- A grandeza mais comumente utilizada para a medição de DPs é a carga aparente, expressa em pico coulombs (pC), estando diretamente relacionada ao processo de deterioração do dielétrico. A taxa de repetição (número de descargas por unidade de tempo) também é uma variável importante. Embora seja possível medir em milivolts (mV), essa prática é menos usual, devido à influência significativa da capacitância do objeto ensaiado nas leituras;
- As DPs promovem aquecimento localizado do fluido isolante e causam erosões nas paredes das cavidades, em decorrência do impacto mecânico de elétrons sobre as moléculas do material;
- Ocasionam perdas energéticas nas cavidades internas do dielétrico.

REPRESENTAÇÃO ELÉTRICA DAS DESCARGAS PARCIAIS

O comportamento das DP internas em uma isolação submetida a tensão alternada pode ser representada por um circuito equivalente, conforme ilustrado na Figura 3. Este circuito descreve um sistema típico de isolação sólida sujeito à ocorrência de DP em virtude da presença de uma cavidade em seu interior (Illias).

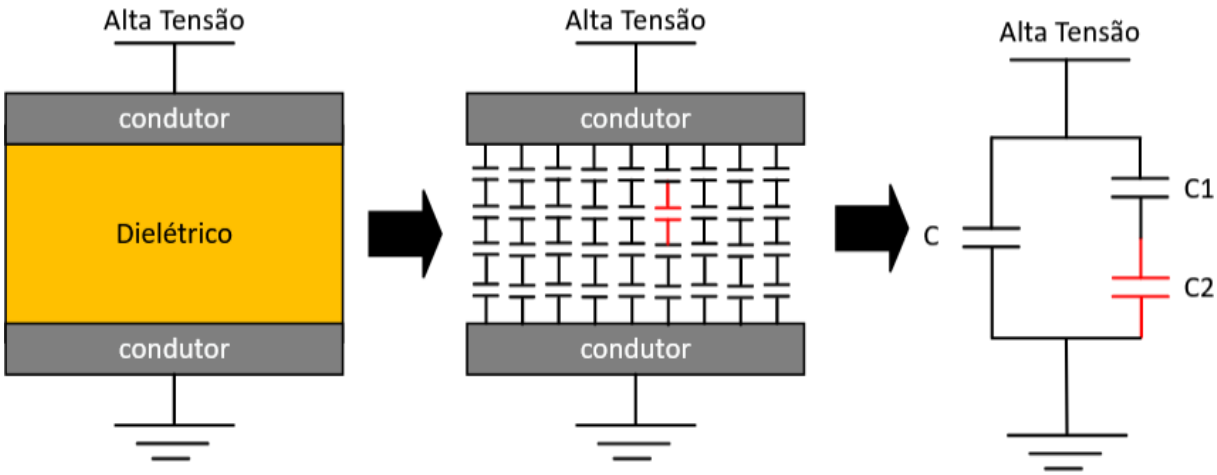


Fig. 3: Circuito para Estudos de DP

➔ A cavidade é modelada por uma capacidade C_2;
➔ As regiões integras do dielétrico ao redor da cavidade são representadas pelas capacidade C_1, em série com C_2;
➔ O restante da isolação, não envolvido diretamente na geração de DPs, é representado por uma capacidade C.

A tensão aplicada ao sistema é designada por V_{HV}, enquanto a tensão sobre a cavidade é indicada por V_{C2}. Quando V_{C2} atinge um valor crítico conhecido como tensão disruptiva U^+, ocorre uma descarga parcial na cavidade. Imediatamente após a descarga, a tensão se reduz para um valor V^+, caracterizando uma queda abrupta que pode ser modelada como uma função degrau, dado que o processo ocorre em menos de 100 ns — um intervalo significativamente menor que o período da sinusoide de 50 Hz.

À medida que a tensão sobre a cavidade volta a aumentar e novamente atinge o valor U^+, uma nova descarga é iniciada. Esse processo se repete ciclicamente até que a tensão V_{HV} aplicada ao sistema comece a decrescer, levando V_{C2} a atingir o limite inferior U^-, o que pode novamente desencadear uma descarga.

As descargas parciais nas cavidades geram pulsos de corrente que podem ser observados nos terminais da amostra. Conforme mostrado na Figura 4, esses pulsos concentram-se nas regiões onde a variação da tensão alternada é máxima, coincidindo com os instantes de maior taxa de variação da tensão aplicada.

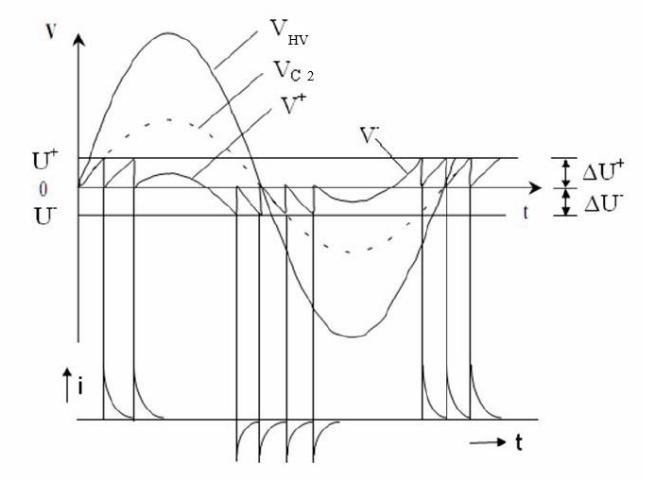


Fig. 4: Surgimento de descargas internas.

Inicialmente a carga Δq da cavidade, poderia ser tomada como uma medida da intensidade da descarga parcial. Supondo-se que a capacitância C_2 ao se descarregar, sofra uma queda de tensão ΔU, q1 pode ser calculada por (1).

$$\Delta q = \left(C + \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}\right) V_{apl} - (C + C_1) V_{C2} \quad (1)$$

Como habitualmente $C >> C_1$ e $C_1 >> C_2$, resulta em (3)

$$\Delta q = C\left(V_{apl} - V_{C2}\right) \quad (2)$$

$$\Delta q = C \times \Delta V \quad (3)$$

DEFINIÇÕES DE DESCARGAS PARCIAIS

A seguir são definidos os termos aplicados ao ensaio de descargas parciais com base na norma IEC 60270-1 (2000).

a) Pulso de DP:
Pulso de corrente ou de tensão que resulta de uma descarga parcial que ocorre dentro do equipamento. O pulso é medido utilizando-se um circuito detetor adequado, localizado dentro do circuito de medição;

b) Carga Aparente (Q_{IEC}):
Valor absoluto da carga de um pulso de descarga parcial que, se injetada instantaneamente entre os terminais do objeto sob ensaio, causando uma variação momentânea da tensão entre seus terminais de um valor igual ao da própria descarga parcial. A carga aparente não é igual a quantidade de carga realmente transferida através da cavidade considerada no isolante, a qual não pode ser medida. A carga aparente é geralmente expressa em pC;

c) Taxa de repetição de pulso:
Taxa entre o número total de pulsos de descargas parciais registada em um intervalo de tempo selecionado e a duração deste intervalo de tempo. Na prática apenas pulsos de acima de uma intensidade específica são considerados;

d) Taxa de início:
Mais baixa tensão na qual são observadas descargas parciais, quando aplicada no equipamento é gradualmente aumentada a partir de um valor baixo no qual não são observadas descargas parciais de intensidade superior a um valor mínimo especificado;

e) Taxa de Extinção:
Mais alta tensão aplicada na qual cessam as descargas parciais, quando a tensão é gradualmente diminuída a partir de um valor superior a tensão de início de descarga. Para se determinar a tensão de extinção levam-se em consideração apenas descargas parciais de intensidade superior a um valor mínimo especificado.

Mais alta tensão aplicada na qual cessam as descargas parciais, quando a tensão é gradualmente diminuída a partir de um valor superior a tensão de início de descarga. Para se determinar a tensão de extinção levam-se em consideração apenas descargas parciais de intensidade superior a um valor mínimo especificado. Neste trabalho de investigação o foco principal está no método elétrico de medição de DP, o qual foi empregado no processo de avaliação do BGN do LAT/FEUP.

O método de detecção elétrica é amplamente utilizado na identificação de descargas parciais devido à sua elevada sensibilidade e à existência de procedimentos de configuração e calibração padronizados. Além de sua confiabilidade, esse método permite estimar a magnitude do defeito com base na quantidade de carga elétrica associada à descarga, fornecendo informações relevantes sobre a severidade do fenômeno. No entanto, uma de suas principais limitações está na suscetibilidade a ruídos eletromagnéticos presentes no ambiente de medição. Em locais com altos níveis de interferência, a distinção entre sinais reais de descargas parciais e ruídos externos pode se tornar extremamente difícil, comprometendo a precisão da medição e, em casos mais críticos, até mesmo inviabilizando o diagnóstico.

Calibração do Sistema de Medição no Ensaio de Circuito Completo

A calibração do sistema de medição é fundamental para assegurar que o equipamento esteja apto a indicar corretamente os valores de descargas parciais (DPs). Esse procedimento consiste na injeção de uma carga conhecida nos terminais do objeto sob ensaio — com o circuito desligado — e na posterior correspondência desse valor no sistema de medição. Para garantir a fidelidade dos resultados, a configuração do sistema durante a calibração deve ser idêntica à utilizada nos ensaios propriamente ditos (Stone). No caso de equipamentos trifásicos, como transformadores, a calibração deve ser realizada em cada fase separadamente.

O calibrador é composto, essencialmente, por uma fonte de corrente contínua conectada em série com uma pequena capacitância. É importante observar que, devido às dimensões do circuito de ensaio, há uma tendência à captação de sinais de rádio e outras fontes de interferência eletromagnética, o que pode comprometer a exatidão das medições. Dessa forma, o ruído ambiente deve ser inferior a 50% do valor especificado de DP. Quando identificados, pulsos nitidamente atribuídos a fontes externas podem ser desconsiderados.

Medições de Descargas Parciais

As medições de DPs são realizadas com base nas normas IEC 60270/2000, que estabelecem os principais circuitos de ensaio (Mason):

1. **Impedância em série com o capacitor de acoplamento:** Utilizado quando uma das extremidades do objeto sob ensaio está aterrada, Figura 5. Esse arranjo é frequentemente adotado por centros de pesquisa como o LAT/FEUP.

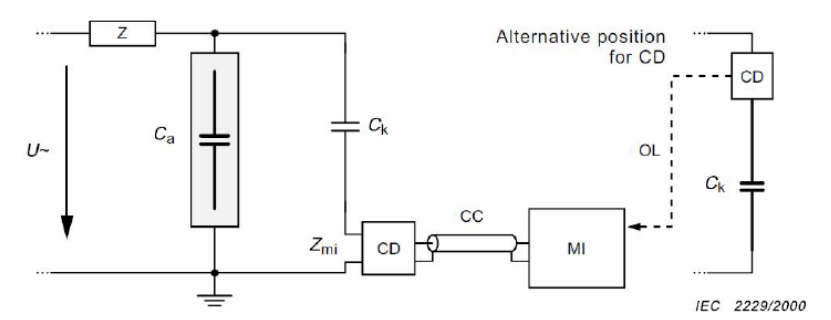


Fig. 5:Impedância de medição em série com o capacitor de acoplamento.

2. **Impedância em série com o objeto sob ensaio:** Empregado quando o terminal de baixa tensão do objeto permanece isolado do terra. Esse circuito possui a vantagem de atenuar interferências, com a atenuação proporcional à razão entre a capacitância do objeto e a do condensador de acoplamento (C/Ck).

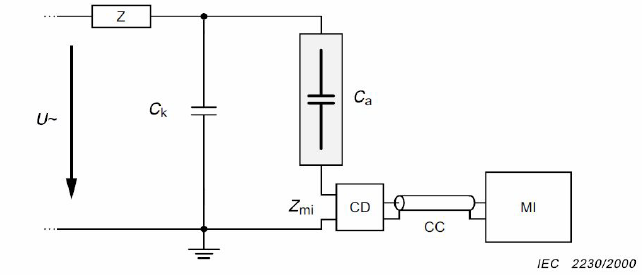


Fig. 6:Impedância de medição em série com o equipamento sob ensaio.

3. **Circuito equilibrado (balanceado):** Nesse arranjo, tanto o lado de baixa tensão do objeto quanto o do capacitor de acoplamento são isolados do terra por impedâncias de medição. Este é o circuito mais robusto contra interferências externas.

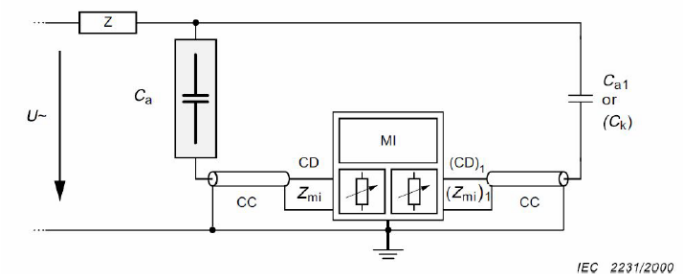


Fig. 7:Circuito de ensaio equilibrado ou balanceado.

Calibração do Circuito de Ensaio

A calibração do circuito de ensaio é realizada por meio da injeção de uma carga conhecida q_c, permitindo a determinação de um fator de escala no sistema de medição. O calibrador utilizado nesse processo consiste em uma fonte de corrente contínua E_c, conectada a uma pequena capacitância C_c.

A calibração pode ser realizada de duas formas:

- **Direta:** A carga é injetada diretamente nos terminais de alta tensão do objeto com o circuito desligado. Ajusta-se, então, a escala no medidor para refletir a carga conhecida.
- **Indireta:** A mesma carga é injetada nos terminais da impedância de medição, permitindo que o fator de escala permaneça visível e verificável durante todo o ensaio.

Procedimentos para Ensaios de Descargas Parciais

Os ensaios devem seguir rigorosamente as diretrizes normativas. A seção de alta tensão do circuito, após o filtro (incluindo o capacitor de acoplamento e as conexões), deve estar isenta de efeitos corona até a tensão máxima de ensaio. O objeto ensaiado deve estar limpo, seco, em temperatura ambiente e livre de esforços mecânicos, térmicos ou elétricos anteriores (Cavallini, e Montanari).

Eventuais irregularidades nas superfícies externas, como saliências pontiagudas, devem ser eletricamente neutralizadas por meio de anéis toroidais. A tensão de ensaio a ser aplicada segue, preferencialmente, as especificações normativas do equipamento ou os requisitos do cliente.

O ruído ambiente deve permanecer abaixo de 50% do valor especificado para DPs. Para níveis muito baixos de descarga (< 10 pC), admite-se ruído superior a 50%, mas não acima do valor da DP medida. Nenhum ruído pode ser subtraído dos valores registados.

As medições têm três finalidades principais:

- Verificar se o objeto sob ensaio apresenta DPs inferiores a um nível especificado, para uma determinada tensão.
- Determinar as tensões nas quais um valor mínimo de DP é excedido (em subida) ou extinto (em descida).
- Avaliar a magnitude das DPs em uma tensão constante.

A prática usual é registar os valores de DP ao longo de 10 segundos para diferentes níveis de tensão e, a partir disso, construir uma curva de carga (pC) versus tensão (kV).

Níveis Aceitáveis de Descargas Parciais

A especificação de níveis máximos de DPs é um tema de debate, dada a ausência de uma relação direta e universal entre descarga parcial e vida útil do equipamento. Fatores como volume dielétrico, distância de isolação, variáveis climáticas, dinâmica do material isolante e condições do ensaio influenciam diretamente os níveis de DPs observados.

A abordagem mais amplamente aceita considera que o nível de DP é um indicativo da qualidade do sistema isolante. Assim, quanto menores os valores registados, maior a confiabilidade do material. Em testes laboratoriais, recomenda-se que o nível de carga aparente das DPs não ultrapasse de 5 a 10 pC na tensão máxima de operação do equipamento, preferencialmente próximos ao nível de ruído do sistema de medição.

MEDIÇÕES DO BGN NO LAT/FEUP

A metodologia adotada para a medição do ruído de fundo (Background Noise – BGN) neste estudo seguiu os procedimentos definidos pela norma IEC 60270:2000, que estabelece as diretrizes para medições de descargas parciais (DP) em sistemas de alta tensão. A medição foi realizada no hall de ensaios LAT/FEUP, com o objetivo de quantificar o nível de ruído presente no ambiente de ensaio, mesmo na ausência de descargas parciais reais. Esse levantamento é essencial para avaliar a viabilidade de ensaios de DP no laboratório, garantindo que os sinais captados estejam acima dos níveis de ruído e, portanto, sejam confiáveis.

Para a detecção do BGN, foi utilizado um capacitor de acoplamento (Ck) em conjunto com uma impedância de medição (Zm), formando o circuito de medição padrão conforme a norma, mostrado na Figura 8. Os ensaios foram conduzidos com a aplicação de diferentes níveis de tensão alternada (25 kV, 50 kV e 75 kV), com o objetivo de avaliar a variação do ruído em função da tensão aplicada. O calibrador de pico-Coulomb (pC) foi empregue para estabelecer uma referência de 100 pC no sistema de medição, permitindo a correta calibração dos instrumentos e a comparabilidade dos resultados obtidos.

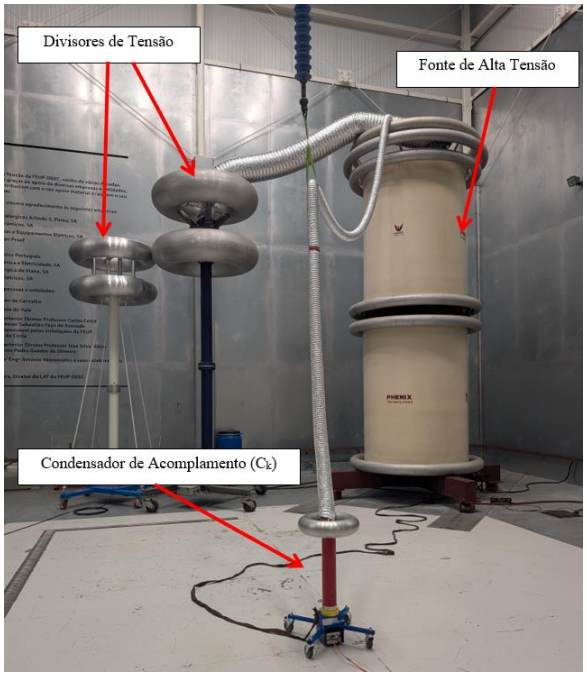


Fig. 8: Circuito de Ensaios

Durante os ensaios, foram observadas variações significativas no nível de ruído de fundo captado, o que evidencia a influência de fatores externos, como a atividade da rede elétrica

local. Os menores valores registados situaram-se entre 25 e 35 pC, verificados em momentos de menor interferência eletromagnética, enquanto os níveis mais elevados, entre 50 e 60 pC, ocorreram em horários com maior atividade elétrica na faculdade. Esses valores são críticos, pois ultrapassam os limites aceitáveis para diversos tipos de ensaios de DP, comprometendo a confiabilidade das medições nesses períodos.

A análise dos resultados obtidos na medição do BGN ao nível de 25 kV mostra variações importantes ao longo do dia e entre os diferentes dias de ensaio, Figura 8. O pico mais significativo foi observado no segundo dia, às 10h, com um valor de aproximadamente 63 pC. Esse valor está bem acima do intervalo considerado aceitável para ensaios de descargas parciais e indica a ocorrência de uma interferência pontual, provavelmente causada por atividade eletromagnética intensa na rede elétrica ou uso de equipamentos próximos ao laboratório.

Nos demais dias, os valores de carga aparente oscilaram entre 18 pC e 35 pC, o que demonstra um comportamento mais estável e dentro da margem tolerável para ensaios. O quinto dia apresentou uma leve elevação entre 11h e 14h, mas sem ultrapassar limites críticos. Isso sugere que a maior parte das medições foi realizada em condições favoráveis, especialmente nos períodos sem grande influência externa.

Observa-se ainda uma tendência geral de redução dos níveis de ruído ao longo do dia, com valores mais baixos registados entre 14h e 16h. Esse comportamento pode estar associado à diminuição da atividade na rede elétrica ou do uso de equipamentos no entorno do laboratório, o que contribui para um ambiente mais estável e adequado à medição de descargas parciais.

Diante disso, recomenda-se que as medições de descargas parciais no LAT/FEUP sejam preferencialmente realizadas no período da tarde, quando os níveis de BGN são menores e mais constantes. Além disso, picos anômalos como o observado no segundo dia devem ser avaliados com cuidado, e novas medições podem ser necessárias para garantir a confiabilidade dos resultados.

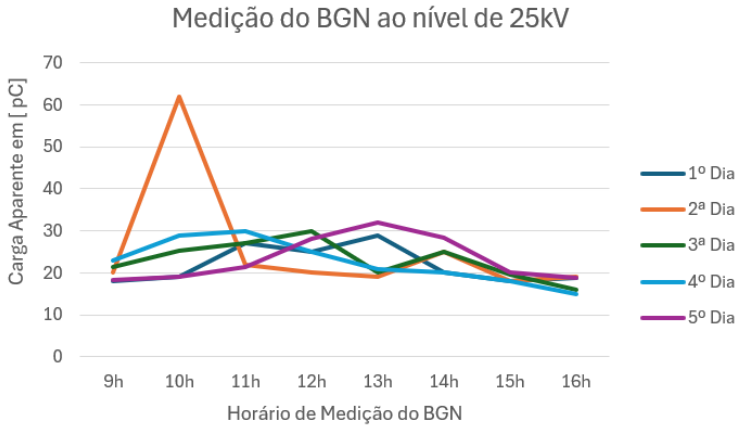


Fig. 9: Medições ao nível de 25kV

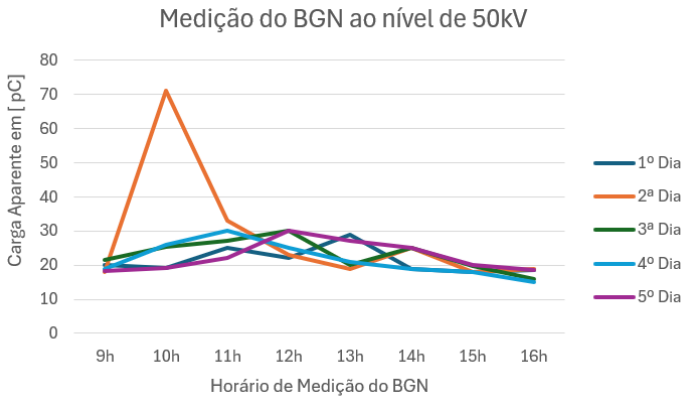


Fig. 10: Medições ao nível de 50 kV

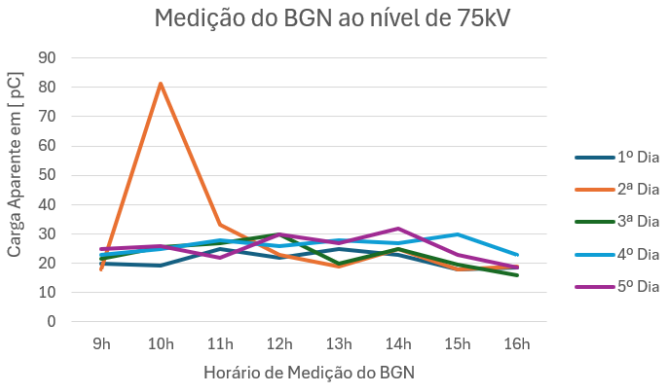


Fig. 11: Medições ao nível de 75kV

Diante desses resultados, conclui-se que os ensaios de descargas parciais no LAT/FEUP devem ser cuidadosamente agendados para horários em que a interferência da rede elétrica seja mínima. Essa prática está em consonância com as recomendações técnicas para ensaios em campo, como os realizados em subestações elétricas, onde a mitigação do BGN é fundamental para garantir a precisão das medições. Além disso, medidas complementares de redução de ruído no laboratório devem ser consideradas, como o uso de blindagem eletromagnética e filtros adequados, visando aprimorar a qualidade dos dados obtidos nas futuras campanhas de ensaio (Bérubé *et tal*).

CONCLUSÕES

Este estudo evidenciou a importância do controle do ruído de fundo (BGN) em ensaios de descargas parciais (DP) no LAT/FEUP, especialmente diante das exigências normativas da IEC 60270. As medições demonstraram variações significativas nos níveis de BGN ao longo do dia, afetadas por fatores externos como a atividade da rede elétrica da faculdade. Tais variações comprometem a precisão das medições de DP, podendo afetar negativamente a confiabilidade do diagnóstico dos sistemas de isolamento.

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que os ensaios de DP sejam preferencialmente realizados no período da tarde, quando os níveis de BGN mostraram-se mais baixos e estáveis. Além disso, ações complementares como o uso de blindagem eletromagnética e a aplicação de filtros devem ser consideradas para a mitigação do ruído ambiente.

Por fim, reforça-se a necessidade de calibração precisa e contínua dos sistemas de medição, de modo a assegurar que os sinais captados correspondam efetivamente a descargas parciais reais, garantindo assim a confiabilidade dos ensaios realizados em laboratório.

REFERÊNCIAS

G. Behrmann, D. Gross and M. Muhr, "Guide to Changes Made in Edition 4 of IEC 60270, Charge-Based Partial Discharge Measurements," in *IEEE Electrical Insulation Magazine*, vol. 40, no. 4, pp. 27-39, July/August 2024, doi: 10.1109/MEI.2024.1056808

H. Kirkham and D. R. White, "The Nature of the Measurement of Partial Discharge," *2019 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, Auckland, New Zealand, 2019, pp. 109-114, doi: 10.1109/I2MTC.2019.8826841.

Kreuger, F.H., Partial discharge detection in high-voltage equipment, Butterworths, London, 1989.

Birlasekaran, R., Shibuya, Y., Okabe, S., Ohki, Y., Noise reduction in partial discharge measurements using wavelet filtering, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 15, pp. 1110–1118, 2008.

Cavallini, A., Montanari, G.C., A classification system for partial discharge phenomena, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 12, pp. 219–231, 2005.

Zhu, M., Li, J., Liu, Y., Analysis of noise suppression in PD measurement systems using adaptive filters, Measurement, Vol. 146, pp. 477–484, 2019.

Illias, H.A., Chen, G., Lewin, P.L., Partial discharge behavior within a spherical cavity in a dielectric material as a function of frequency and voltage waveform, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 18, pp. 432–443, 2011

Stone, G.C., Electrical insulation condition assessment using partial discharge testing, IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 24, pp. 7–15, 2008.

Mason, J.H., The detection and measurement of partial discharges in electrical plant, IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 9, pp. 139–145, 1974.

Cavallini, A., Montanari, G.C., Partial discharge testing: A review of the present methods, IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 10, pp. 578–584, 2003.

Bérubé, D., Jalbert, J., Roy, S., Signal processing techniques for partial discharge detection under high noise, IET Science, Measurement & Technology, Vol. 10, pp. 150–157, 2016.

ARTIGO Nº22686

MELHORAR O DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES DE PEROVSKITE ATRAVÉS DE TÉCNICAS AVANÇADAS DE CAPTURA DE LUZ

Boane, Jenny L. N.[1,2], Coimbra, Edgar[1], Camilo Daniel[1], Fortunato, Elvira[1], Martins, Rodrigo[1], Menda, Ugur D., Mendes, Manuel J.[1], Águas, Hugo[1(*)]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Escola Superior de Desenvolvimento Rural (ESUDER) - Vilanculos, Moçambique
[2]Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, NOVA FCT - Caparica, Portugal
[(*)] *Email:* hma@fct.unl.pt

RESUMO

O objetivo deste estudo é aumentar a eficiência das células solares de perovskita por meio da integração de nanoestruturas fotónicas de óxido condutor transparente (OCT), visando a redução das perdas óticas. Para isso, foi utilizada uma técnica de litografia coloidal de baixo custo, permitindo a fabricação de micro-malhas de óxido de índio e estanho (ITO) em substratos de vidro, com óxido de níquel (NiOx) servindo como camada de transporte de buracos. As estruturas desenvolvidas proporcionaram maior dispersão da luz e transparência, além de reduzir a resistência folha em ~11%. Quando incorporadas nas células solares, as malhas de ITO aumentaram a fotocorrente de curto-circuito em cerca de ~13% e aumentaram a eficiência global para ~16,3%, evidenciando o potencial das estruturas fotónicas em aplicações optoelectrónicas.

***Palavras-chave**:* células solares de perovskita, nanoestruturas fotónicas, litografia coloidal, aplicações optoelectrónicas.

INTRODUÇÃO

Os dispositivos fotovoltaicos de pelicula fina são muito promissores uma vez que podem beneficiar de um custo de produção mais baixo da integração direta numa vasta gama de tipos de substrato e da flexibilidade mecânica e de leveza o que os torna compatíveis com substratos flexíveis de baixo custo, bem como altamente atrativos para a energia fotovoltaica integrada em edifícios (BIPV), devido à sua facilidade de instalação, por exemplo, em superfícies curvas de edifícios/telhados.

A necessidade de reduzir a espessura das células solares com finalidade de poupar os custos de material de produção e aumentar a flexibilidade mecânica melhorando simultaneamente a eficiência fotovoltaica através de esquemas de captação de luz fotónica deu origem a muitos estudos.

As células solares de perovskita têm atraído grande atenção na investigação de energias renováveis devido ao seu elevado potencial de eficiência e baixo custo de fabricação. No entanto, desafios relacionados às perdas óticas e à resistência elétrica ainda limitam o seu desempenho máximo. Estratégias que visam otimizar a captura de luz e melhorar as propriedades elétricas das células solares são, portanto, essenciais para avançar nesta tecnologia promissora. Neste contexto, a integração de nanoestruturas fotónicas baseadas em óxidos condutores transparentes surge como uma abordagem inovadora para mitigar estas limitações.

ARTIGO Nº23458

ESTUDO DA POSSIBILIDADE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE BIOGÁS COM VISTA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA PARA ALIMENTAR UMA ÁREA EM KATEMBE

Augusto N. Júnior[1(*)], Fernando H. Chachaia[2]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, DEEL- Maputo, Moçambique
[2]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, DEEL- Maputo, Moçambique
(*) *Email:* augustobelmiro09@gmail.com

RESUMO

O projecto avalia a viabilidade da implementação de um sistema de biogás para geração de energia eléctrica em Katembe, utilizando resíduos alimentares dos mercados Zimpeto e Malanga e esterco bovino como matéria-prima. O sistema, baseado em um biodigestor de lagoa coberta, produzirá cerca de 4.821,67 m³ de biogás por dia, convertido em aproximadamente 11.916,2 kWh de electricidade, utilizando um motor Caterpillar CG132B-12. O estudo demonstra viabilidade econômica, com potencial atrativo de retorno sobre o investimento, e benefícios socioambientais, como geração de empregos, redução de emissões e alívio na rede eléctrica local, tornando-se um modelo sustentável para outras regiões.

***Palavras-chave**:* Biogás, Katembe, Energia renovável, Resíduos orgânicos, Socioeconômico, Ambiental, Eficiência energética.

INTRODUÇÃO

A busca por novas fontes de energia, atrelada à grande necessidade de redução das emissões de gases poluentes, tem demandado cada vez mais a atenção de pesquisas na utilização de recursos renováveis.

Nesse sentido, uma alternativa que tem ganhado grande destaque mundial é a produção de biogás. O biogás é constituído principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e outros constituintes minoritários. O biogás é obtido pela digestão anaeróbia de efluentes industriais, dejectos de animais e/ou lodo de esgoto (Angelidaki et al., 2018).

No presente artigo descreve – se o estudo da possibilidade de implementar um sistema de Biogás que visa produzir Energia Eléctrica para alimentar uma área em Katembe. O objectivo deste estudo é a identificação e quantificação de fontes de biomassa disponíveis alinhado com o cálculo e a análise do potencial de biogás produzido.

REFERÊNCIAS

ANGELIDAKI, I.; TREUA, L.; TSAPEKOSA, P.; LUOC, G.; CAMPANARO S.; WENZEL, H.; KOUGIASA, P. G. Biogas upgrading and utilization: current status and perspectives. Biotechnology Advances, v. 36, n. 2, p. 452-466, 2018.

ARTHUR, R.; BREW-HAMMOND, A. Potencial biogas production from sewage slugde: a case study of the sewage treatment plant at Kuame Nkruamah University of Science and Technology (KNUST). International Journal of Energy and Environment, Kumasi, v. 1, p. 1009-1016, 2010.

ZHANG, C.; SU, H.; TAN, T. Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid–liquid system. Bioresource Technology. Elsevier, v. 145, p.10-6, 2013

PAPER Nr.23518

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ENERGY POLICIES IN THE HEALTH SECTOR IN THE CITY OF BEIRA

Sandro Luis Rodrigues Pais [1 (*)], Vasco Munguare Penente [2 (*)], Júlio Acácio Pacheco [3(*)], Calulo Artur Chataza [4(*)],

[1] University Zambeze - Beira, Mozambique
(*) *Email:* spais@unipiaget.ac.mz
[2]University Zambeze - Beira, Mozambique
(*) *Email:* vasco.penete@uzambeze.ac.mz

ABSTRACT

The present research entitled Analysis of the Implementation of Energy Policies in the Health Sector on Sofala Province, aim to understand the relationship that is established between energy policies, through their goals and efforts also understand the advances and setbacks arising from this activity in the health sector in Sofala province. We start from the assumption that the materialization of energy policies in the health sector in Sofala province has been deficient, which may somehow compromise the goals of sustainable development and the 2030 agenda established by the United Nations. The general objective was to assess the stage of implementation of renewable energy policies, specifically review Mozambique's renewable energy policies, verify the stage of implementation of renewable energy policies in the health sector, from 2000 to 2021, project their implementation in the period 2022 to 2030 and propose alternative measures to comply with renewable energy policies. In addition to observations, literature review, survey, SPSS version 2.0 software was used, with Holt's Exponential Smoothing method. The main results revealed that currently (until 2021) the province has 174 health units, with 43% of the units having access to photovoltaic energy, an energy coverage rate about 43% of the national grid. On the other hand, 56.3% of the health units do not have access to solar energy and 17.8% are in the dark, that is, without access to any type of energy. The process of electrification in the districts was not uniform. The installed power for each health unit varies from 285wp to 720wp, an insufficient capacity to guarantee basic services. To ensure compliance with the 2030 agenda established by the UN, it would be necessary to electrify 99 units between 2021 and 2030. Our estimative indicate the installation of another 42 US by 2030. There are 75 electrified health units between 2000 and 2021 considering the projections we will have only 117 electrified health units by the year 2030, reflecting a deficit of 57 units to be electrified corresponding to 32.7%.

Keywords: Energy Policies, Renewable energy, Health units

1. Introduction

This research addresses issues related to the implementation of renewable energy policies in the health sector in rural areas. Sofala province case study. In accordance with Resolution No. 5/98 of March 3rd regarding Mozambique's energy policy and Resolution No. 24/2000 of October 3rd approving the national energy strategy, several initiatives are presented for the development of the sector among them the electrification program based on solar energy in health centers in isolated locations using solar panels through management concessions awarded through a public tender initiated in 1998. As can be seen, these energy policies and strategies defined by the Mozambican authorities do not have a time horizon, much less quantitative goals for the health centers that would benefit from this program. According to the 2030 Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development". In its objective 7 it determines to guarantee access to reliable, sustainable, modern and affordable energy for all. In this context, the Mozambican Energy for All project (Pro-Energia) provides for Electrification through photovoltaic mini-grids and domestic solar systems (SSD), to be implemented by FUNAE through public-private partnerships (PPP) based on energy sales contracts EDM, in areas with high poverty rates where connection to the national network is not viable in the short and medium term. In theoretical terms, there is a commitment by the government and the Mozambican energy sectors through international partnerships and in compliance with the goals established by the United Nations (UN) to guarantee access to reliable electricity at an affordable price for 100% of the population by 2030 . The research intends to look at the process of electrification in rural areas from renewable energies specifically in the health sector. In order to carry out this research work, a bibliographical review of energy policies from 1998 to 2021, the government's five-year plans and the economic and social plan of Mozambique will be supported by surveys of health workers in the province of Sofala.

4. General objective: Assess the degree of implementation of renewable energy policies in the health sector in Sofala province.

4.1. Specifics

1. Review Mozambique’s renewable energy policies,ϖ 2. Check the degree of implementation of renewable energy policies in the health sector, in the period 2000 to 2021.

3. Project the implementation of renewable energy policies in the health sector in the period 2022 to 2030, and

4. Propose alternative measures to comply with renewable energy policies.

2. Material and Methods

For the execution of the research, study visits will be carried out to the health sector in the province of Sofala with the aim of comparing the actions foreseen in the various governance instruments, among them strategic energy plans and the actions that are being operational zed on the ground. Bibliographical consultations were carried out, that is, a bibliographical review of the instruments that materialize Mozambique's energy policy, the government's five-year program, economic and social plan, dissertations, theses and other literature relevant to the research topic. We also seek the reading of Resolution No. 5/98, of March 3, 1998,

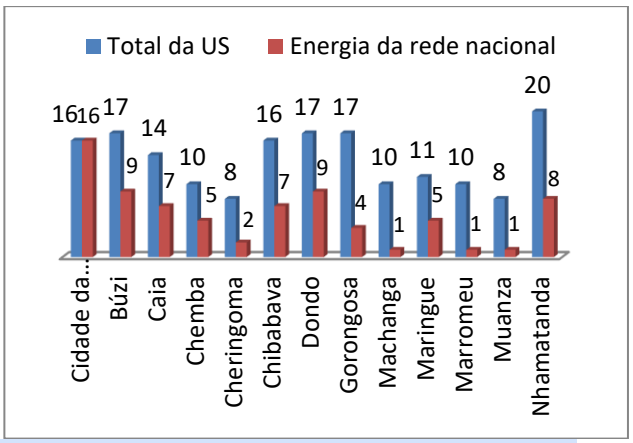
Resolution No. 24/2000, of October 3, 2000), Resolution No. 10/2009, of June 4, 2009 (MOÇAMBIQUE, 2009) with the aim of studying the planned actions and what is being carried out on the ground in relation to the millennium sustainable development goals in the field of renewable energies. We help ourselves in unstructured interviews with staff and health managers at District and Province level with the aim of assessing the type of energy used by each health unit, the equipment used, among other aspects that were deemed relevant for understanding of the subject under study. We use the direct In-Loc observation of some photovoltaic systems, specifically in the health centers of the Districts of Muanza, Caia and Dondo to have direct contact with our object of study, to create familiarity and interaction. Data analysis was materialized based on the projection and estimate of electrification. The statistical technique was used, which consists of time series analysis using SPSS software version 2.0, with Holt's Exponential Smoothing method. This software was powered by data from the period 2000-2021 collected at the Sofala provincial health department, at the National Energy Fund (FUNAE) as well as data from SOLAR WORKS, a company contracted by the government to electrify health facilities in the province. The data can be observed in the annexes of this research report. SPSS version 2.0 software works by following these steps: • Uploading the database to the system; • Check the behavior of the series through the line graph; • Next, the period in question is transformed; • The process immediately; It is • Finally, the operation is confirmed. A Microsoft Excel and Word Office 2007 spreadsheet was used to produce the graphs and tables. The graphs and tables are the results of the analysis of the data collected, as mentioned above, at the Sofala provincial health department, at FUNAE and at SOLAR WORKS. The discussion of data took into account the crossing of information from the bibliographic review based fundamentally on strategies, resolutions, official documents that regulate the materialization of the national energy policy with the results of the quantitative analyzes of the collected data.

3. Results and Discussion

At this stage of the dissertation report, we will present the energy matrix of the health units in the province of Sofala, presenting graphs and tables referring to the situation of the Province, in the time interval between the years 2000 to 2021. The tables and graphs make reference to the health units that are benefiting from the energy of the national network, from renewable sources specifically from photovoltaic systems and the health units that until then have not benefited either from the coverage of the national network or from renewable sources. We also present systematized information on the characteristics, fundamentally with regard to the year of installation and the respective installed power based on solar panels in health units in each district of Sofala province.

4.1.1 Health units in the province of sofala with access to energy from the national grid.

The graph below (graph n^0 1) represents energy from the national network of health units and allows us to determine the current rate or percentage of coverage in terms of energy supply from the national network in the province of Sofala.



Graph n^0 1 – Energy from the national grid in health units . Own source

Let's consider the total number of health units by (TUS) and the total number of health units with access to national grid energy by (TRN). Thus, depending on the information collected and presented in the graph above, we can determine the

coverage rate (TC) using the following equation below:

$$TC = \frac{TRN}{TUS}$$

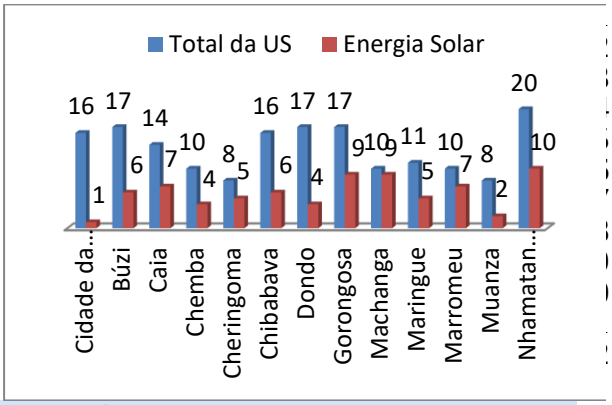
According to the available data, TRN 75 and TUS=174, substituting in the coverage rate equation we have.

$$TC = \frac{TRN}{TUS} \Rightarrow TC = \frac{75}{174} = 0{,}43 *$$

$$100\% \Rightarrow TC = 43\%$$

Currently (in 2021) we have an energy coverage rate from the national grid for health units in Sofala province of around 43%.

1.2 Health units in Sofala province with access to solar energy To determine the energy coverage rate for the photovoltaic or solar system at provincial and district level, we used the same equation, making some corrections to the variables. TES (total health units with access to solar energy) and TUS (total health units) are considered. We use the same equation.



Graph nº 2 - Health units with access to solar energy
(Own source)

Using the data from the graph above, Graph n0 2 we have TES 75 and TUS=174, substituting in the coverage rate equation we have:

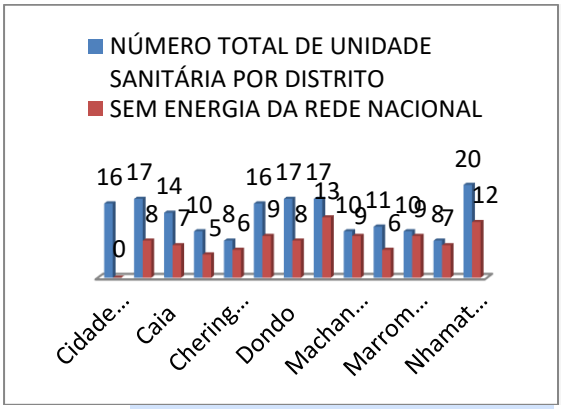
$$TC = \frac{TES}{TUS} \Rightarrow TC = \frac{75}{174} \Rightarrow TC = 0{,}43 *$$

$$100\% \Rightarrow TC = 43\%$$

Currently (in 2021), regarding solar energy coverage in health units in Sofala province, we have a rate of around 43%

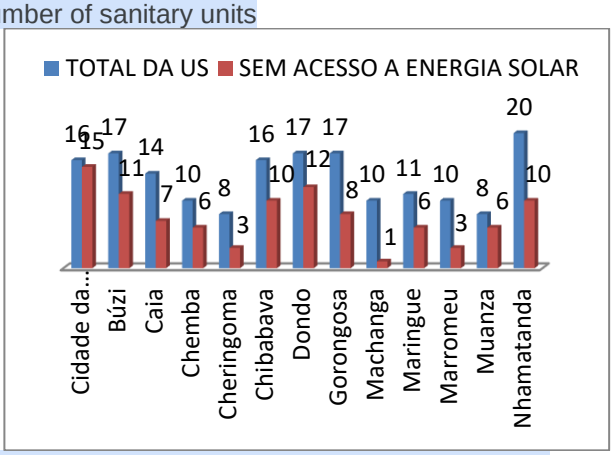
4.1.3 Health units without access to energy from the national grid

We determined the percentage of health units in Sofala province without access to national grid energy. To do this, we must add the values of the health units in each district without access to energy from the national grid and then divide by the total number of health units.% US = $\frac{99}{174} \Rightarrow \%\,\text{US} = 56$



Graph-3. Health units without access to national grid energy (Own source).

According to the calculation above, 56% of the Sanitary Units-US are considered without access to energy from the national network or the dark ones. These US may be illuminated by alternative energy sources, in this specific case, photovoltaic energy, not meaning, therefore, that they are in the dark. 4.1.4 Health units without access to solar energy Based on the same reasoning as in the previous analysis, it is possible to calculate the percentage of sanitary units that until 2021 did not benefit from solar energy or installation with solar panels. To determine the percentage of sanitary units without access to solar energy or solar panels, just add the sanitary units without access to solar energy divided by the total number of sanitary units



Considering that the health units without access to solar energy total 98 and the total number of health units 174, then we will have the following equation:

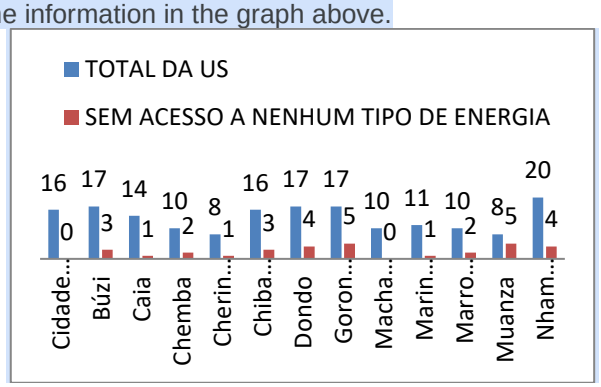
$$\%\,\text{US} = \frac{98}{174} \Rightarrow \%\,\text{US} = 56.3$$

Therefore, the percentage of health units considered as not having access to solar energy

in the province in the province represents about 56.3%

4.1. 5 Health units without access to any type of energy

Unfortunately, in Sofala Province there are still health units that do not benefit from the electrification of any energy source according to the information in the graph above.



Graph n0 5 - Health units without access to any type of energy

From the information that the graph gives us, we can determine the percentage of sanitary units without access to any type of energy, that is, the sanitary units that are still dark. %US=US=17.8 Therefore, the percentage of health units that are in the dark without access to solar or electrical energy in the province represents around 17.8%. The calculation of this data followed the previous reasoning, that is, the logic used to calculate the remaining indicators analyzed in this dissertation.

Graph nº4 - Health units without access to solar energy

4.2 Discussion of Results

In accordance with resolution n.º 5/98 of March 3 referring to Mozambique's energy policy and resolution n.º 24/2000 of October 3 approving the National Energy Strategy, several initiatives for the development of the among them the electrification program based on solar energy in health centers in isolated locations using solar panels through management concessions awarded through a public tender initiated in 1998. From the results obtained, we found that energy policies are being implemented in the health sector, health units are being electrified based on photovoltaic systems that have been assumed as an alternative in the energy matrix in health units in the province of Sofala. Currently, data referring to the year 2021, regarding solar energy coverage in the health units of the province of Sofala, represent a rate of around 43%, that is, of the total of 174 health units spread across the districts of the province, about 75 units have access to photovoltaic energy based on solar panels. Observations made on the ground consolidated by statistical data provided by the provincial health department of Sofala regarding energy sources in the health units show that the health units are being electrified with solar panels ranging from 285 Wp to 720 Wp. The energy capacity referred to above only serves to provide basic health care services, such as the conservation of vaccines from the Extended Vaccination Program (PAV) and lighting in health units. Hospital services such as imaging (x-rays, ultrasounds, tomography, and aerosols) among others, provided for type I and II units are compromised, in part because they require more power in relation to the installed capacity. This energy power deficit greatly jeopardizes the health of the population, which is still lacking. Despite the poor quality of installed power, we can illustrate the evolutionary scenario through the graph below, which represents the behaviour of the implementation of alternative energy policies (photovoltaic systems) at the level of health units in the district of Caia, province of Sofala.

.



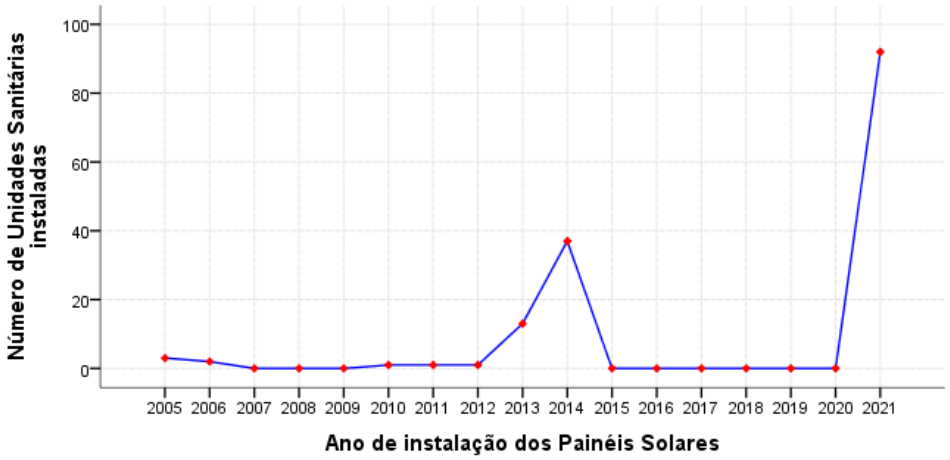
Graph n0 6 – Installed power in Caia district

.

We can see from the graph above that the health units in the district of Caia were electrified in the period between 2005 and 2021 with solar panels with the following characteristics : 400 Wp panels, 320 Wp panels, 960 Wp and 720 Wp panels with 600 Wp inverters , 400Wp, 1200Wp and 1000Wp respectively. The characteristics mentioned above are adapted precisely for basic health care. In fact, when reading the graph above, we observe a linear growth of photovoltaic renewable sources, complying with the operationalization of the strategic plans of the renewable energy policies in force in Mozambique. As in other parts of the province, in the district of Caia, the situation is no different. The installed solar panels only serve to provide basic health services, however, the connection and activation of robust devices is not allowed. There are certain services in district health units and/or administrative posts that contribute to improving the quality of life of local populations and consequently reducing the mortality rate, which are not offered due to the lack of investment in the sector, as well as the poor quality power. The reality on the ground shows that the expansion of the electrical network in the health units of the rural areas of the province of Sofala, in the current mold (photovoltaic systems), does not satisfy the demand for health care of the local population, consequently the desired results regarding a decrease in the mortality rate and an improvement in the quality of life. Sustainable Development Goals 2030 (SDG) of the United Nations "Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development", in its goal 7 propose to ensure access to reliable, sustainable, modern and affordable energy for all. Looking at the energy access component or coverage rate in the health units, we found that the province of Sofala has about 174 health units and among them 75 health units have access to the energy coverage of the national network, which corresponds to a coverage rate of 43 %.

4.3 Projection and estimation of electrification

In order to achieve the millennium goals set by the United Nations, it was necessary to carry out some calculations of statistical estimates (forecast) and the speed of implementation of the energy policy associated with the 2030 agenda. For projection and estimation of electrification, a statistical technique consisting of time series analysis was used. Since the observed data from the research illustrate a set of time series in relation to the installation of solar panels in health units in the Province of Sofala, The main objective of this statistical analysis is to verify to what level the installation of solar panels in health units in Sofala Province will be in 2030, which is the target established by the competent authorities to cover 100% of electrification. To apply the statistical technique, the behaviour of the series under study was first verified. According to graph n07 below, it can be seen that the series under study has no seasonality over the period of installation of solar panels, it can also be noted that there is a growing trend throughout the series and that from 2005 to 2021 there is a disparity in the installation of solar panels in sanitary units of a minimum of 0 and a maximum of 92 installed units. From 2007 to 2009 and 2015 to 2020 there were no installations of solar panels in health units, and in 2021 the highest number of installations of solar panels in health units was observed. The average number of health units that benefited from the installation of solar panels is approximately 19, with a standard deviation of 32.08.



Graph n^{0} 7 : Installation series in sanitary units from 2005 to 2021

However, according to the graph above, there is an increasing trend in the series under study from 2005 to 2021, with a sharp decrease only at the beginning of 2015 to 2020. Therefore, it is concluded that the series has increasing trends and is not seasonal, so the appropriate forecast statistical model for this series will be estimated using the Holt Exponential Smoothing method. Using the SPSS software version 2.0, with Holt's Exponential Smoothing method, the model that best fits the forecast to the data was estimated, thus allowing the forecast of the number of health units that will benefit from the installation of Solar Panels until 2030 in the Province of Sofala. According to table 3, below, which shows the model parameters, through the P-value, it is noted that the model parameters are significant, since these are greater than 0.05 the level of significance used.).

412
413

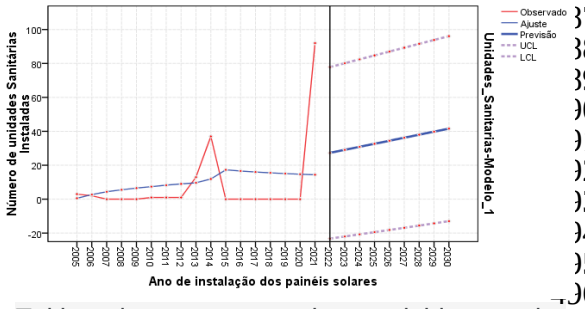
Exponential Smoothing Model Parameters				
Model		Estimative	statístical	Sig.
Number of Sanitary Units installed - Model 1	Alpha (Level	0,143	1,196	0,25
	range (Trend)	2,54	9,16	1,00

414 Source: (own source)
415

Prediction										
Model	year	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Number of Sanitary Units installed - Model 1	Prediction	27	29	31	33	34	36	38	40	42

416
417
418

For each year, forecasts start after the last non-missing value in the requested forecast period range, and end at the last period for which non-missing values of all predictors are available or the end date of the requested forecast period, whichever is previous. From the values shown in Table 4, it can be seen that the series shows an increasing trend over time, with the lowest number of health units installed in 2022 and the highest in 2030.



Taking into account the variables under analysis, we consider the year 2000 as the reference year, the beginning of the implementation of the national strategy, until the year 2021, the period in which we obtained the last update of the electrification data of the health units provided by the Provincial Health Directorate of Sofala and by the FUNAE Provincial Delegation, 21 years have elapsed. In the period of 21 years, 75 health units were electrified. Based on data determined by estimates, it indicates that by 2030, considering the current average speed, 42 more hospitals will be electrified, totaling 117 of the 174 to be electrified. = Without considering other probable variables that include funding sources, natural meteorological storms, war conflicts that occurred in the central region of the country, the national grid energy expansion plan, among others, the average speed of implementation and/or electrification of the health units is 3.5 Hospitals/year. To ensure compliance with the agenda at the level of health units in the province, it would be necessary to electrify 99 units in the period between 2021 and 2030. Considering the current speed of electrification, our provisions indicate the installation of another 42 US by 2030. There are 75 electrified sanitary units between 2000 and 2021 and with the scenario described in the paragraph above, we will have 117 electrified sanitary units by the year 2030, that is, if we add the 42 that will be electrified between 2021 and 2030, the 75US installed between 2000 -2021, there is a deficit of 57 units to be electrified, representing a deficit of 32.7%. Surveys carried out with health unit employees and technicians pointed to a malfunction of the installed systems due to the low frequency of equipment maintenance. Given this scenario, it can be assumed that by the end of the implementation of the policy, some beneficiary health units may be in the dark due to malfunctions or damage to equipment. Another source of energy for health units in the province is electricity from the national grid, which has mostly been switched by internal photovoltaic systems (off-grid connections).

4.4 Brief consideration on the electrification strategy through the national grid According to (EDM STRATEGY 2018-2028),

The goal of universal access by 2030 is a huge financial and institutional challenge, the achievement of which requires government coordination and cooperation, especially between MIREME, EDM and FUNAE. According to the same strategy, EDM assumes itself as the main player in national electrification, with experience and capacity, being therefore responsible for the development and implementation of a set of projects within a national plan, in order to connect a minimum of 300,000 to 450,000 new customers annually from 2018, expected to reach around 85 percent of national domestic access in 2028. It was not possible to obtain data from EDM that indicate the speed and degree of implementation of the strategy described above that could lead us to a more realistic analysis and discussion of the situation. Considering that the effort towards electrification and universal access in the country has been in force since 2000 through resolution n.º 24/2000, of 3 October, later replaced by the changes and improvements introduced in resolution n.º 10/2009, verified the actions on the ground lead us to believe in a possible delay or non-compliance with the forecast. As previously shown in Graph 1, in the results analysis subchapter, the health units with access to energy from the national network are limited to district hospitals and some units located in administrative posts, with the exception of the Machanga, Marromeu and Muanza districts where electricity from the national grid is supplied only at the District headquarters

524

4. Conclusion

Mozambique's National Energy Policy (PNE) was established almost two decades ago by Resolution No. 5/98, of March 3, 1998 (MOÇAMBIQUE, 1998) and initially implemented by the National Energy Strategy (ENE), of 2000 (Resolution No. 24/2000, of October 3, 2000); eight years later it was revoked and replaced by ENE, Resolution n.º 10/2009, of 4 June 2009 (MOÇAMBIQUE, 2009). For the analysis of the degree of implementation of the National energy policies in the province of Sofala, there was a crossing of information from the bibliographic review based fundamentally on strategies, resolutions, official documents that regulate the materialization of the energy policy with the results of the quantitative analysis of the data collected. The main results revealed that currently (until 2021) the province has 174 health units spread across the districts of the province, about 43% units have access to photovoltaic energy based on solar panels, we have an energy coverage rate from the national grid of about 43%. On the other hand, 56.3% of the sanitary units are considered without access to solar energy, 17.8% are in the dark without access to any type of energy. The pace of electrification in the districts was not uniform, with some years accelerating and slowing down. The power installed by each sanitary unit varies from 285wp to 720wp, insufficient capacity to guarantee basic services, which demonstrates the lack of sizing. To ensure compliance with the 2030 agenda established by the UN at the level of health units in Sofala province, it would be necessary to electrify 99 units in the period between 2021 and 2030. Considering the current speed of electrification, our provisions indicate the installation of another 42 US until 2030. There are 75 electrified sanitary units between 2000 and 2021 and with the scenario described in the paragraph above, we will have 117 electrified sanitary units by the year 2030, that is, if we add the 42 that will be electrified between 2021 and 2030, the 75US installed between 2000 -2021, there is a deficit of 57 units to be electrified, representing a deficit of 32.7%. These results may compromise established goals.

References

1.MOÇAMBIQUE, Boletim da República, (2000), Resolution 24/2000 of October 3: NEW AND RENEWABLE ENERGY STRATEGY - October 3, 2000, SERIES I, Number 39, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo

. 2.MOÇAMBIQUE, Boletim da República, (2000), Resolution 08/2000 of 29 April: Regulation establishing the competences and procedures for the attribution, control and termination of concessions for the production, transmission, distribution and sale of electricity, as well as as its import and export APRIL 29, 2000, SERIES I, Number 16, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo.

3.MOÇAMBIQUE, Boletim da República, (2000), Resolution 24/2000 of 3 October: Energy Strategy - 3 October 2000, I SERIES, Number 39, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo. MOZAMBIQUE, Boletim da República, (2000), Resolution 62/2009 of 14 October: New and renewable energy development policy - 14 October 2000, SERIES I, Number 41, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo.

4.MOÇAMBIQUE, Boletim da República, (2000), Resolution 21/1997 of 1 October: Electricity Law - 1 October 2000, SERIES I, Number 40, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo

5.MOZAMBIQUE, Ministry of Energy (2009) - Strategy for the development of new and renewable energies (edenr) for the period 2011 – 2025, Resolution 10/2009 of 4 June.

6.UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAM (UNDP), transforming our world: AGENDA 2030 .

7.SILVA, F. E. Energy, Environment and Sustainability: Proposal for an Educational Model for Basic Education. 2010. Thesis (Doctorate in Mechanical Engineering)

8. ALER. Renewable Energies in Mozambique. National Situation Report. Lusophone Renewable Energy Association, 2nd edition. Lisbon, 2017. 9.DRE (2010). Resolution of the Council of Ministers n.º 29/2010. [in line]. [reference April 27, 2011]. Available at: <http://dre.pt/pdf1sdip/2010/04/07300/0128901296.pdf>.

10.DGEG (2011j). National Energy Strategy – ENE 2020. [online]. [reference April 27, 2011]. Available on the Internet at: <http://www.dgge.pt/>.

11.MOÇAMBIQUE, Boletim da República, (2002), Resolution 127/2002 of 31 July: Ministry of Health, I series, Number 31, Official Publication of the Republic of Mozambique, Maputo. PROVINCIAL DIRECTION OF HEALTH OF SOFALA. Statistical data from health units, 2021
12. ENERGY FUND. Energy reform and access program, November 2009. 13. ENERGY FUND. Technical specifications of solar systems for schools, health centers, administrative posts, 2012.

ARTIGO Nº23523

DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO DE USINA TERMOELÉTRICA MULTIFUNCIONAL COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA ZONAS RURAIS EM MOÇAMBIQUE

Edilton I. Chitata[1], **Zefanias Mabote**[1]
[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia – Maputo, Moçambique
(*) *Email:* Ediltoninancio@gmail.com; mabotezefanias@gmail.com

RESUMO

Em Moçambique, muitas zonas rurais enfrentam severas dificuldades no acesso à energia elétrica, comprometendo serviços essenciais, sobretudo na área da saúde. Em 23 de julho de 2024, uma reportagem da STV revelou que devido à falta de eletricidade, maternidade do Centro de Saúde de Mbirimbire, no distrito de Nhamatanda (Sofala), recorriam ao uso de fogo a lenha nos momentos de parto, evidenciando riscos e limitações na assistência médica. Durante as noites, a iluminação das enfermarias era garantida apenas por esses meios improvisados. Este tipo de situação evidencia a urgência de soluções descentralizadas, sustentáveis e adaptadas à realidade local.

Neste contexto, o desenvolvimento de um protótipo de usina termoelétrica multifuncional surge como uma proposta inovadora, com potencial para contribuir para a diversificação da matriz energética moçambicana, promovendo o uso combinado de fontes como gás natural, lenha e carvão, de forma eficiente e segura. O protótipo foi idealizado para ser replicável em zonas remotas, com o objetivo de fornecer energia a instituições de saúde, escolas e comunidades.

Palavras-chave: usina termoelétrica multifuncional, energia rural, segurança energética, diversificação da matriz energética moçambicana.

INTRODUÇÃO

O fornecimento de energia elétrica continua a ser um dos maiores desafios para o desenvolvimento sustentável das zonas rurais moçambicanas. A falta de energia limita o funcionamento de escolas, hospitais e demais serviços sociais. Os casos extremos de maternidades realizando partos nas noites com o auxílio de fogo a lenha. Esta realidade motivou o desenvolvimento de um protótipo funcional de uma usina termoelétrica multifuncional, capaz de operar com gás natural, carvão ou lenha como fonte de calor, capaz de suprir necessidades básicas de energia em localidades isoladas. O objetivo principal é fornecer uma solução acessível, segura e adaptável para geração local de energia em comunidades carentes de infraestrutura elétrica. A metodologia adotada envolveu a modelagem tridimensional do protótipo em softwares como Autodesk Inventor e AutoCAD, bem como a construção física do prototipo. A proposta busca demonstrar a viabilidade técnica e funcional de um gerador termoelétrico adaptado à realidade local, contribuindo para a mitigação do problema da escassez de energia em instituições públicas de zonas remotas.

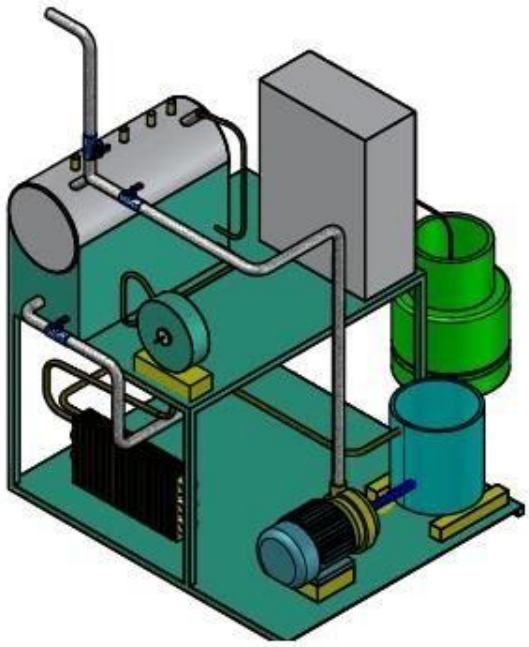


Figura 1- Modelo 3D da usina desenvolvida, desenvolvido pelo autor

REFERÊNCIAS

- VIANA, M. L. (2012). A exploração dos recursos naturais e o seu impacto no crescimento económico dos PALOP. Revista Económica do Centro de Estudos Africanos, nº 9.

- AUTY, R. M. (1993). Sustaining Development in Mineral Economies: The Resource Curse Thesis. Routledge.

- STV – Soico Televisão. Centro de Saúde de Mbirimbire realiza partos com velas e fogueiras por falta de energia elétrica. Reportagem exibida em 23 de julho de 2024. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=tHfsE42Ldgg.

PAPER Nr.23536

COMPREHENSIVE ANALYSIS OF COCONUT OIL PRODUCTION CAPACITY AND PRACTICES IN INHAMBANE PROVINCE, MOZAMBIQUE: A PATHWAY TOWARD RENEWABLE BIODIESEL FEEDSTOCK

Fana Gebremedhin Gebremichael [1(*)], António José Cumbane [2]

[1]Center of Studies in Oil and Gas Engineering and Technology, Eduardo Mondlane University, Mozambique

[2]Postgraduate division, Faculty of Engineering, Eduardo Mondlane University, Mozambique

(*) Email: fanagebremedhin6@gmail.com

ABSTRACT

This study presents a detailed field-based assessment of coconut oil production practices across both industrial and traditional sectors in Inhambane Province, Mozambique. By documenting the complete working procedures and analyzing production capacity, constraints, and opportunities, the research identifies essential gaps affecting productivity and proposes realistic, sustainable solutions. Coconut oil is a versatile product with numerous uses not only in cooking, skincare, haircare, and health benefits but also holds significant potential as a renewable feedstock for biodiesel production. The findings aim to guide stakeholders and policymakers in optimizing processing techniques, supply chains, and rural livelihoods.

Keywords: Coconut oil, Inhambane, Mozambique, small-scale, industrial production, biodiesel potential, sustainability.

1. INTRODUCTION

Inhambane Province is one of Mozambique's most coconut-rich regions, with a long history of coconut-based agriculture and value-added product development. Coconut oil, traditionally used for food, skincare, and medicinal purposes, is now emerging as an attractive and suitable biofuel feedstock because it is rich in triglycerides with high levels of medium-chain fatty acids. Coconut oil production plays a significant role in the local economy of Inhambane Province. With its abundant coconut plantations (Figure 1), the region supports a blend of industrial and traditional oil producers. Despite its economic and energy potential, the coconut oil industry in the province faces persistent challenges, including weather-related disruptions such as cyclone, outdated processing technologies, supply chain fragmentation, aging of the coconut trees and deforestation. Understanding the capacity, challenges, and potential of these producers is essential for designing interventions to improve productivity and sustainability. Therefore, this paper aims to bridge the knowledge gap by documenting the actual working practices in both industrial and small-scale contexts, and by proposing pragmatic recommendations rooted in sustainable engineering and bioenergy principles.



Figure 1: **Coconut Trees in Inhambane Province, Mozambique**

2. METHODOLOGY

The research employed a qualitative and descriptive approach. Site visits were conducted at three industrial facilities—Oilmax, SOILL, and Maeva Oil Company—as well as two traditional producers in Cumbana and Inharreme districts. Data collection involved direct observation, photographic documentation, and structured interviews with operators and owners. The working procedures, raw materials, main products, byproducts, quality parameters, and production capacity and challenges were carefully recorded for comparison and evaluation.

3. WORKING PROCEDURES AND CAPACITY OF INDUSTRIAL-SCALE PRODUCERS

Three major companies—Oilmax, SOILL, and Maeva—demonstrate distinct practices in coconut oil processing.

3.1. Oilmax Private Company (Maxixe City)

Oilmax sources copra from rural communities and dries it using a hot air via steam boiler at 45–60°C using firewood over 4 days. Moisture checked manually. After preheating to 50°C, the copra undergoes hot pressing at 40–45°C. The oil is filtered and stored, while unextracted copra is reprocessed as shown in Figure 2. Production reaches 10–12 tons/day of virgin oil, which is exported. Bagasse byproduct, which was previously used as energy source, now sold to South Africa due to its low calorific value. The company only evaluates the FFA (2.8), color, and odor of the produced oil.
Market: Virgin oil exported to Germany and Swaziland; byproducts (bagasse) sold to South Africa.

Challenges:

- Seasonal and cyclone-related supply shortages.
- Deforestation and aging trees.
- Lack of capital for technology upgrades.



Figure 2: Process of Extracting Coconut Oil Using Mechanical Pressing

3.2. Southern Oil (Pty), Ltd (SOILL)

SOILL uses wet copra (45% moisture), drying it using thermal boiler over 68 hours to reach 5% moisture. The copra is cleaned of silicate, cut to increase surface area for oil release, and then preheated (70–80°C) before extraction using Anderson expellers at 90–100°C. 60% of the oil is extracted; bagasse (10% oil remaining) is sold without solvent recovery. The oil is first neutralized with NaOH to reduce FFA and treated with HCl to produce acid oil for animal feed. Production capacity is 210 tons/month of neutralized oil.

Byproducts of the process:

- Bagasse (sold South Africa at 17 MZN/kg),
- Filter sludge (sold to local farmers at 3 MZN/kg),
- Acid oil (used as animal feed).

Quality Control: FFA (0.1%), soap content (50 ppm), moisture (0.1%), smell and color. The company also analyze the protein content of the bagasse.

Innovation: A new coconut oil production project has been launched, which utilizes the entire coconut—including the husk and shell—to maximize both oil quality and yield. The production process begins with the removal of the husk and shell using advanced machinery specifically acquired for this purpose. The extraction stage is then carried out using a newly purchased, high-performance oil extraction machine. As a result, the oil produced is of exceptionally high quality. This premium-grade oil is neutralized and exported to South Africa at a price of 78,000 Rand per ton. In comparison, the neutralized oil derived from copra purchased from the local community is sold to South Africa at a significantly lower price of 28,000 Rand per ton. This highlights the added value of using whole coconuts and modern technology in the production process.

Sustainability Note: Coconut husk is also considered for compost or mattress fiber.

Challenges:

- Inconsistent raw material quality due to varied suppliers.

- Poor infrastructure delaying transport.
- High raw material prices and seasonal variability.

3.3. Maeva Oil Company

Maeva produces 1,500 L/hr virgin oil using steam drying at 250°C over 24 hours. The process resembles Oilmax's, utilizing hot-air steam boilers for drying and mechanical pressing but with higher drying temperature and shorter duration.

Markets: Virgin oil sent to Maputo for refining; bagasse sold at 10 MZN/kg.

Challenges: Primarily raw material supply and energy costs.

4. WORKING PROCEDURES AND CAPACITY OF SMALL-SCALE PRODUCERS

4.1. Cumbana Village Producer (Hot Press Method)

In **Cumbana**, women producers manually dehusk, break, and crush coconut meat. They extract milk using warm water and squeeze it by hand, followed by cooking over an open wood fire in a large metal pot as part of the traditional hot pressing method for up to 5 hours or less (Figure 3). Oil separates manually from the cooked mixture using a traditional ladle (Figure 4), is cooled overnight, and stored. Yields range from 2.5 to 3.5 liters per 50 coconuts, used for household and sold at 200 MZN/L.

Byproducts: Shells and husk for firewood, bagasse as pig feed, water for livestock.

Challenges: Labor-intensive, exposure to smoke, time-consuming.

Shelf Life: Up to 6 months.



Figure 3: Traditional Coconut Oil Preparation Using Hot Cooking Method



Figure 4: Separation of Coconut Oil after Cooking

4.2. Inharreme District Producer (Cold and Hot Press Methods)

Hot Press: Similar to Cumbana method with cooking for oil separation.
Cold Press: cold pressing involves the same initial steps**:** As hot press—manual breaking, meat separation, grinding, milk extraction, then cooling overnight (natural ambient conditions), and separating oil from water due to density differences. The oil is then melted and filtered through cloth. This method is less laborious but has a shorter shelf life (one month). Yields range from 2.5 to 3.5 liters per 50 coconuts, used for household and sold at 200 MZN/L.
Drawbacks:
Cold press oil has a short shelf life (~1 month), possibly due to incomplete water separation and higher FFA.
Applications: Cooking oil, cosmetic use, and therapeutic purposes.
Observations: Removing the black skin from coconut meat improves oil quality and shelf life.

5. KEY CHALLENGES IDENTIFIED

- Climate Risks**:** Irregular rainfall and frequent cyclones reducing coconut availability
- Aging coconut trees with declining productivity
- Infrastructure Gaps**:** Poor roads delay both raw material intake and product delivery.
- Supply Inconsistency**:** Copra from many small vendors leads to quality variations.
- Lack of solvent extraction, especially for residual oil in bagasse
- Labor-intensive traditional methods with health risks from smoke exposure

6. RECOMMENDATIONS TO IMPROVE YIELD AND SUSTAINABILITY

For Industrial Producers

- Introduce solvent extraction for higher oil recovery from bagasse
- Promote replanting with high-yield hybrid coconut trees
- Strengthen raw material contracts through cooperatives
- Use coconut husk and shell for composting or bioenergy
- Adopt solar or improved drying systems and Enhance Storage: in order to reduce firewood reliance and solar drying and efficient storage can reduce spoilage.

For Small-Scale Producers

- Provide manual or semi-mechanical expellers: Reduce labor and smoke exposure.
- Train producers in oil separation, quality control, and hygiene practices.
- Establish cooperatives for tool sharing and market access
- Promote low-smoke stoves and solar cookers
- Enable access to urban markets with fair trade branding

7. CONCLUSION

Coconut oil production in Inhambane Province holds significant potential for economic growth and renewable energy development. Both industrial and small-scale sectors play critical roles but require targeted interventions to improve yield, reduce losses, and enhance sustainability. With proper support in infrastructure, training, and technological upgrades, coconut oil can serve as a viable biodiesel feedstock and a sustainable livelihood source, so this will unlock economic and energy opportunities for Mozambique.

ACKNOWLEDGMENT

The author acknowledges the generous contributions of local producers, company staff, and community members in Inhambane Province who shared insights, data, and field access to support this research.

ARTIGO Nº23553

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA GASOLINA NA CADEIA DE ABASTECIMENTO NAS BOMBAS DA CIDADE DE MAPUTO

Jéssica Sérgio Mussivane[1]; Estêvão Pondja[2]
Departamento de Ciências Tecnológicas, Universidade Técnica de Moçambique[1]
Departamento de Engenharia Química, Universidade Eduardo Mondlane[2]
E-mail: jmussivane@gmail.com[1]; tindjombo@gmail.com[2]

RESUMO

A presente pesquisa aborda a avaliação da qualidade da gasolina na cadeia de abastecimento nas bombas de combustível da cidade de Maputo. O presente estudo foi desenvolvido com intuito de saber até que ponto a não avaliação dos parâmetros físico-químicos da gasolina pode influenciar na danificação dos motores de veículos na cidade de Maputo. Objectivo do presente estudo foi de avaliar a qualidade da gasolina na cadeia de abastecimento da cidade de Maputo, analisando parâmetros como, *pH*, teor de água, viscosidade, massa especifica, aspecto e cor. Para a prossecução dos objectivos previamente definidos foram colhidas 8 amostras em diferentes postos de abastecimento de gasolina, durante 3 campanhas. As amostras recolhidas foram submetidas a análises laboratoriais por meio de destilação azeotrópica para determinação de humidade segundo a norma da *ASTM D95*, uso do viscosímetro para viscosidade, sonda para determinação de pH, balança calibrada e balão volumétrico de *50 ml* para a determinação da massa especifica, e termómetro para a temperatura. A média dos resultados dos parâmetros analisados nos 8 postos de abastecimento é a seguinte: $pH = 7.06 \pm 0.01$; viscosidade dinâmica $= 0.50 \pm 0.01$ *mPa.s*; temperatura $= 25.23 \pm 0.06$ ^oC; teor de água $= 0.72 \pm 0.02\%$; e teor de etanol $= 9.70 \pm 0.60\%$. Conclui-se que o teor de água e a viscosidade estão em excesso na gasolina em todos os postos de abastecimento; o teor de etanol tem um limite admissível de até *10%* de acordo com o Diploma Ministerial *nº 95/2018* e para o presente estudo verifica-se que está em conformidade. O excesso de água na gasolina provoca corrosão do motor. Para valores elevados da viscosidade aumenta o risco de detonação, reduz o desempenho e danifica os componentes do motor.

***Palavras-chave**:* Gasolina, qualidade da gasolina, parâmetros físico-químicos, cadeia de abastecimento, danificação de motores.

Painel VI: Recursos Minerais E Hídricos

22192 USO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS DOS AQUÍFEROS ALUVIONARES DOS RIOS DE AREIA DE MOÇAMBIQUE PARA FINS DE CONSUMO HUMANO E IRRIGAÇÃO. Zunchany Matola. 549

22198 VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO COM ESCÓRIA E OUTROS RESÍDUOS, ENDURECIDOS COM A CARBONATAÇÃO ACELERADA. Joaquim Constantino; J. Castro-Gomes 563

22203 DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRATÉGIA PARA PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, PARA CONSUMO HUMANO, NA CIDADE DA BEIRA - MOÇAMBIQUE. Albertina Amélia Alberto Nhavoto; António Guerner Dias; Daniel Agostinho. 577

22210 DIMENSIONAMENTO DE FILTRO DESCENDENTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS. Lulu Lino Dingane; Salvador Carlo Grande. 589

22212 AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E POROSIDADE EM FILTROS DESCENDENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS. Lulu Lino Dingane; Salvador Carlo Grande. 599

22482 POTENCIAL DE COLAPSO DAS “AREIAS VERMELHAS DE LUANDA”, ANGOLA: ESTADO DA ARTE. Francisco M. António; Fernando A. B. Bonito; Agostinho A. R. C. A. Benta; Ângela G. Filipe. 607

22638 CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E TECNOLÓGICA DE ARGILAS DE CAFUMPE - MOÇAMBIQUE. Osvaldo Jorge Brito Rupias; Fernando Joaquim Fernandes Tavares Rocha. 627

22655 DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BAIRRO DE ESTORIL- CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage. 649

23322 AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA E IMPACTO AMBIENTAL DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO PORTO DA BEIRA: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DAS ZONAS COSTEIRAS. Dias Serafim Alfredo Pandze; Ubaldo G.Ombe Gemusse; Fernando Rocha. 661

23468 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: CIDADE DE MAPUTO, MOÇAMBIQUE. Humeid Abdul R. Daud. 663

23471 SÍNTESE DE CLORETO DE ALUMÍNIO A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALUMÍNIO PARA APLICAÇÃO COMO REAGENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA. João Baptista Moane; António José Cumbane. 665

23472 TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS DALLAS CARWASH. Vera Cláudia Mutchamua; Estevão Pondja. 667

23474 CARACTERIZACÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTE DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO. Dulce S. Mutombene; Estêvão Pondja. 669

23475 LICENÇA SOCIAL PARA OPERAR E GESTÃO DE IMPACTOS SOCIAIS - DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA MINEIRA EM MOÇAMBIQUE. Romualdo José Romão Brito; David Selemane José. 681

23517 ESTIMATIVA DE VAZÕES EM LOCAIS SEM DADOS NA BACIA DO PÚNGUÈ EM MOÇAMBIQUE USANDO MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO. Maibeque Francisco João; Ubaldo Ginova Ombe Gemusse. 695

23524 CARACTERIZAÇÃO GEOESTATÍSTICA E ESTRUTURAL DE HOTSPOTS DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE-MACIA. Helton das Neves Alberto Massingue. 703

23526 SÍNTESE DE ZEÓLITAS DE BAIXA RAZÃO Si/Al A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL PARA ADSORÇÃO DE CU2+. Afonso T. S. Mapire; Miguel M. Uamusse; Estevão A. J. Pondja; Jonas V. Matsinhe. 713

ARTIGO Nº22192

USO E APROVEITAMENTO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS RASAS DOS AQUÍFEROS ALUVIONARES DOS RIOS DE AREIA DE MOÇAMBIQUE PARA FINS DE CONSUMO HUMANO E IRRIGAÇÃO: Caso de estudo da província de Gaza

Zunchany Matola [1,2,3(*)]

[1]Hidrogeólogo, [2]Especialista em Irrigação, [3]Consultor da Fundação Berta Nicuia, Moçambique
[(*)] *Email:* zunchany.matola@gmail.com

RESUMO

Moçambique detém um grande potencial, de rios com caudais permanentes durante o ano todo e não permanentes; de uma época chuvosa muito longa com precipitações altas, e de rochas sedimentares, as quais compõem as províncias hidrogeológicas mais produtivas. Entretanto, é um país que serve de delta dos rios de areia partilhados internacionalmente, como, Limpopo e Zambeze. Detém também, rios de areias nacionais permanentes, como, Rovuma, Lúrio, Save, Licungo e outros, os quais contêm balúrdios de água subterrânea. Estes sistemas hídricos são recarregados por duas principais fontes de água (precipitação e escoamento superficial) permitindo-lhe reservar águas subterrâneas rasas ao longo de todo o ano. Esta água subterrânea rasa, não é aproveitada para qualquer tipo de fim, pelo que, é toda perdida para o oceano. Em época seca, os rios de areia mostram-se nalgumas zonas da superfície do leito seco, porém, a alguns poucos metros de profundidade, reservam-se quantidades de águas nos aquíferos aluvionares. Estudos, revelam que a água albergada nos aquíferos aluvionares dos rios de areia, poderia ser aproveitada para suprir as necessidades de mais de 15000 utentes por cada rio de areia durante todo o ano. Para tal, é necessária uma combinação entre inovações tecnológicas de baixo custo e métodos sustentáveis para aceder as águas subterrâneas rasas: propondo-se a utilização de um *kit de perfuração manual* com *bailing* para construção de furos manuais convencionais com caudal seguro. E através da *app The Drillers Toolbox* se vão captar os dados dos registos da perfuração em tempo real, os quais ajudarão a compreender a litologia do local. Os furos contruídos desempenharão dois diferentes papeis: uns como furo de pesquisa, onde se vai instalar *dispositivos dive* dentro dos furos para colectar dados da água subterrâneas para ajudar a compreender a dinâmica hidrogeológica do local; e outros, como um furo de captação de água para vários fins. Esta proposta tecnológica para o sector de águas subterrâneas é vantajosa, por ser economicamente e tecnicamente viável para países pobres e pode ser uma solução estratégica para ultrapassar a falta de água para consumo humano em Moçambique.

***Palavras-chave*:** Rio de areia, águas subterrâneas, tecnologia.

ABSTRACT

Mozambique has a great potential for rivers with permanent flows throughout the year and non-permanent flows; a very long rainy season with high rainfall, and sedimentary rocks, which constitute the most productive hydrogeological provinces. Meanwhile, it is a country that serves as a delta for internationally shared sand rivers, such as the Limpopo and the Zambezi. It also has permanent national sand rivers, such as the Rovuma, Lúrio, Save, Licungo and others, which contain huge amounts of groundwater. These water systems are recharged by two main sources of water (rain and surface currents) allowing it to reserve shallow groundwater all year round. This shallow groundwater is not used for any purpose and is therefore lost to the ocean. In the dry season, rivers of sand appear in some areas of the dry bed surface, but at a depth of a

few meters, quantities of water are reserved in the alluvial aquifers. Studies show that the water in the alluvial. This requires a combination of low-cost technological innovations and sustainable methods of accessing shallow groundwater: it is proposed to use a hand-held drilling kit with a bailing to construct conventional hand-held boreholes with safe flow. And using The Drillers Toolbox application, data will be captured from the drilling logs in real time, which will help to understand the lithology of the site. The boreholes built will have two distinct functions: one as a research borehole, where diving devices will be installed inside the boreholes to collect groundwater data that will help understand the hydrogeological dynamics of the site; and the other as a water collection borehole for various purposes. This technological proposal for the groundwater sector is advantageous because it is economically and technically viable for poor countries and could be a strategic solution for overcoming the lack of water for human consumption in Mozambique.

Key words: Sand rivers, groundwater, technologies.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é fundamental para uma produção agrícola confiável, especialmente em países áridos e semi-áridos onde as chuvas se concentram em uma ou duas estações chuvosas. Os rios de areia são rios que correm apenas durante os períodos de chuva e têm um leito que é preenchido com vários metros de areia (grossa). Este leito do rio forma um reservatório de águas subterrâneas rasas – um chamado aquífero – que é recarregado cada vez que o rio flui (Nissen-Petersen 2000; Mansell e Hussey 2005; Hussey, 2007; Mpala et al., 2016; Blok 2017). Muitos agricultores ao longo do rio Limpopo, em Moçambique, não têm acesso a águas superficiais durante a estação seca. O rio reduz-se a uma pequena ribeira que serpenteia por uma porção arenosa.

Em geral, na província de Gaza, o rio de areia do Limpopo tem um potencial não explorado oferecendo águas subterrâneas rasas durante todo o ano que podem apoiar 30 000 agricultores a irrigarem. Infelizmente, este valioso recurso continua por não se utilizar devido à falta de acesso dos agricultores à água e à tecnologia adequada para a bombeá-la, e prede-se toda para o oceano.

O presente artigo introduz um estudo completo e resumido dos métodos, ferramentas as quais podem ser utilizadas para explorar as águas subterrâneas rasas dos aquíferos aluvionares do rio Limpopo para vários fins, principalmente para o sector de agricultura. E o sucesso do projecto de utilização desta água subterrânea rasa através dos furos manuais acoplado a tecnologia de irrigação solar para o fortalecimento do desempenho dos agricultores na província de Gaza. Cujo foco é de expandir esta tecnologia sustentável para o todo território moçambicano para os pequenos agricultores.

1.1. Objectivos

- Usar e aproveitar águas subterrâneas rasas dos aquíferos aluvionares do rio de areia
- Prover soluções eficientes à base da natureza para melhorar o desempenho dos agricultores em Moçambique

2. ENQUADRAMENTO BIOFÍSICO

O Baixo Limpopo é tipicamente uma paisagem plana e arrebatadora, caracterizada por um clima semi-árido, onde o gado pasta em extensas planícies. Mais perto dos solos

fluviais os solos são mais férteis e a produção agrícola, tanto de sequeiro como de regadio, é mais comum.

2.1. Geologia

O baixo Limpopo caracteriza-se por um complexo sistema de formações sedimentares Cenozoicas: conglomerados de areia e depósitos de areia da era Cenozoica com intercalações de sedimentos cretáceos e clásticos, e sedimentos não consolidados do período Quaternário. Ao longo de milhões de anos, uma planície constituída por sedimentos de idade variável foi elevada acima do nível do mar, após o que um grande sistema fluvial erodiu o seu caminho através dela até ao oceano (Spaliviero, De Dapper e Maló 2014; e Spaliviero 2014). Perto do rio camadas impermeáveis de argila e lama, e camadas de alta condutividade de cascalho, areia e silte alternam (SADC-GMI e IGRAC 2010).

2.2. Solos

Ao longo do rio, os solos fluvieutéricos normalmente se estendem até 5 a 10 km do rio. Estes solos são constituídos por depósitos aluviais jovens que se desenvolvem em áreas periodicamente inundadas. As texturas variam de areia grossa em diques a argilas pesadas em áreas de bacia. Os solos têm uma elevada capacidade de humidade e uma elevada fertilidade que são bons para a agricultura. Localmente, em áreas argilosas a capacidade de infiltração é, no entanto, baixa e ocorre alagamento. No lado de Guijá há um trecho de Plano de solos Eutérios, que são solos caracterizados por uma camada subsuperficial de acúmulo de argila. A transição para a camada de argila é nítida – o teor de argila pelo menos dobra. A argila leva tanto ao encharcamento sazonal quanto ao estresse hídrico (Jones *et al.*, 2013).

2.3. Clima

A área do projecto é caracterizada por um clima tropical seco, com precipitação média de 340 mm/ano com alta variação anual. As temperaturas médias variam entre 24º e 25ºC. A época quente começa em outubro e termina em fevereiro/março. A época fria se estende de março/abril a setembro.

Boa parte do montante do rio Limpopo, a evapotranspiração real excede a precipitação como resultado da produção de culturas irrigadas.

2.4. Hidrologia

O rio Limpopo é um rio com caudal superficial que cobre apenas todo o leito do rio durante os períodos de pico. Normalmente, o rio na época chuvosa cobre todo o leito, mas continua sendo um corpo de água superficial raso. Durante a época seca, o rio é reduzido a um córrego com menos de 10 m de largura, com menos de 1 m de profundidade.

O caudal de água no Baixo Limpopo é regulado pela Barragem de Massingir no Rio dos Elefantes e afluente ao Rio Limpopo (armazenamento 2880 Mm^3) e ao Açude de Macarretane, a montante da Vila de Chókwè (armazenamento 4 Mm^3). Está prevista uma nova barragem em Mapai (7200 Mm^3) para regular ainda mais o armazenamento de água e controlar as cheias.

3. PEQUENOS AGRICULTORES – GRUPO ALVO

Baixo Limpopo, os agricultores podem ser agrupados em quatro categorias principais:

- Agricultores que estão no esquema da irrigação do Chókwè (HICEP): produzem principalmente arroz e recebem água através do sistema de regadio existente;
- Agricultores individuais de grande escala: possuem campos que podem ser de até 20 a 30 hectares, muitas vezes têm sistemas de pivô central para irrigação ou grandes bombas de diesel;
- Pequenos agricultores individuais: a maioria detém parcelas de menos de um hectare, produz vegetais durante a estação fria, se tiver acesso a uma bomba, e milho e feijão são irrigados com a chuva durante a estação quente;
- Agricultores que trabalham em associações: recebem apoio do governo e de ONGs, e serviços de extensão; muitas associações têm grandes bombas de diesel que foram doadas por ONGs ou governo, mas não têm capacidade (financeira) para repará-las quando quebrarem. Os agricultores que trabalham em associações têm muitas vezes custos de mão de obra mais baixo, uma vez que se ajudam mutuamente e podem, por exemplo, partilhar os custos de aluguer de um Tractor. Assim como os equipamentos de irrigação, sementes, fertilizantes e pesticidas são fornecidos por ONGs e governo, principalmente através dos Extensionistas do SDAE.

Este estudo centra-se nos agricultores que se encontram na segunda categoria.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de projecto

Este estudo de pesquisa e viabilidade foi realizado no Sul de Moçambique, ao longo do Baixo Limpopo, ou seja, o troço do rio Limpopo que se encontra a jusante do Pafuri na fronteira entre Moçambique e o Zimbabwé, na província de Gaza.

O rio Limpopo nasce no centro da África Austral, na fronteira entre Botsuana e a África do Sul, e corre para leste num grande arco até ao Oceano Índico. O rio tem uma extensão de 1 750 km, uma bacia hidrográfica de 415 000 km^2 e uma descarga média anual em Xai-Xai de 170 m^3/s. O fluxo do rio é totalmente regulado. Existem inúmeras barragens ao longo do seu curso, tanto para o controlo de cheias como para armazenar água para libertar durante a estação seca. A maior parte da bacia é afectada pela escassez física de água (Global Water Partnership, 2011).



Figura 1. Bacia do Rio Limpopo. A parte em Moçambique, ou seja, a jusante de Pafuri, é conhecida como o Baixo Limpopo.

4.2. Avaliação e abordagem

O estudo de viabilidade e de implementação consistiu em dois componentes principais:

- Uma avaliação técnica na qual foi estudada a hidrogeologia da região, desenvolvidos poços de pesquisa, sondagens geofísicas e fotointerpretação
- Desenvolvimento de um projecto de irrigação solar na província de Gaza, o qual utilizou águas subterrâneas rasas do rio Limpopo, uma bomba solar, um sistema de transporte e aplicação de água – Californiano para fortalecer os pequenos agricultores.

4.3. Método

Em campo foram realizados levantamentos geológicos e de qualidade da água, experiências foram desenvolvidas de poços manuais e cinco locais de testes foram instalados para avaliar nomeadamente:

1) Sr Januário
2) Dona Ubisse
3) Sr Ngovene
4) Dona Anita
5) Campo de demonstração do ISPG



Figura 2. Localização das zonas de teste.

5. RESULTADOS

5.1. Avaliação técnica

5.1.1. Hidrogeologia

Sabe-se que os sedimentos Cenozoicos no sul de Moçambique consistem em várias dezenas de metros de areia grossa com água doce e uma espessa camada de argila salobra a salina de origem marinha. O rio Limpopo depositou no seu leito sedimentos grosseiros com laminas de argilas de poucos centímetros. O rio tem em média 500 m de largura, verifica-se apenas na época chuvosa quando o leito está cheio, porém, o canal principal tem apenas 100 m de largura. Antigos meandros e bancos de areia nas curvas internas ocorrem ao longo seu curso.

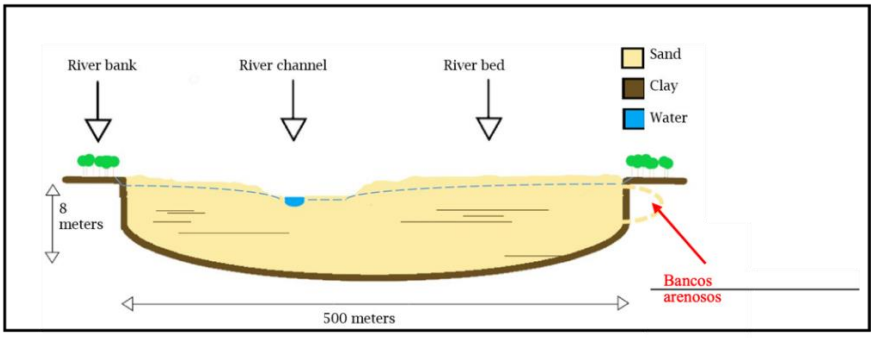


Figura 3. Secção transversal simplificada do rio de Areia Limpopo (por Sara Biekart, Utrecht University 2018).

5.1.2. Geofísica

As avaliações de Tomografia de Resistividade Eléctrica (TER) foram em 4 principais pontos, a seguir foram processados e analisados, mostrando a composição dos sedimentos dentro e ao lado do rio (Figura 4):

- Uma camada de areia parcialmente saturada de espessura variável (na superfície vermelha e amarela), que parece continuar nas margens do rio (perfis Macarretane 1 e 3);
- Uma espessa camada de argila com água de mais de 50 m de profundidade (azul escuro); e ainda
- Com laminas de areia siltosa com diferentes profundidades (vermelho, amarelo, verde e azul claro), que são deposições anteriores do rio

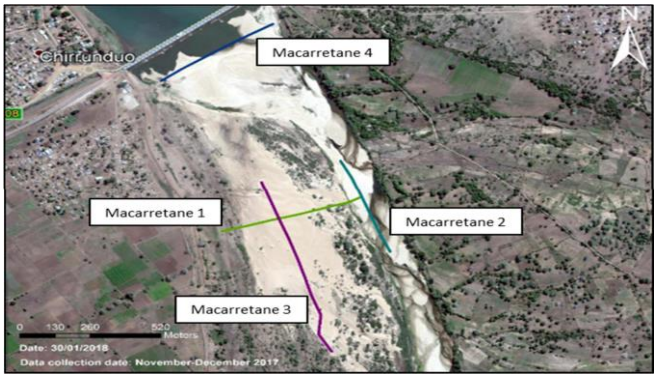


Figura 4. Localização das avaliações geofísicas realizadas em Macarretane.

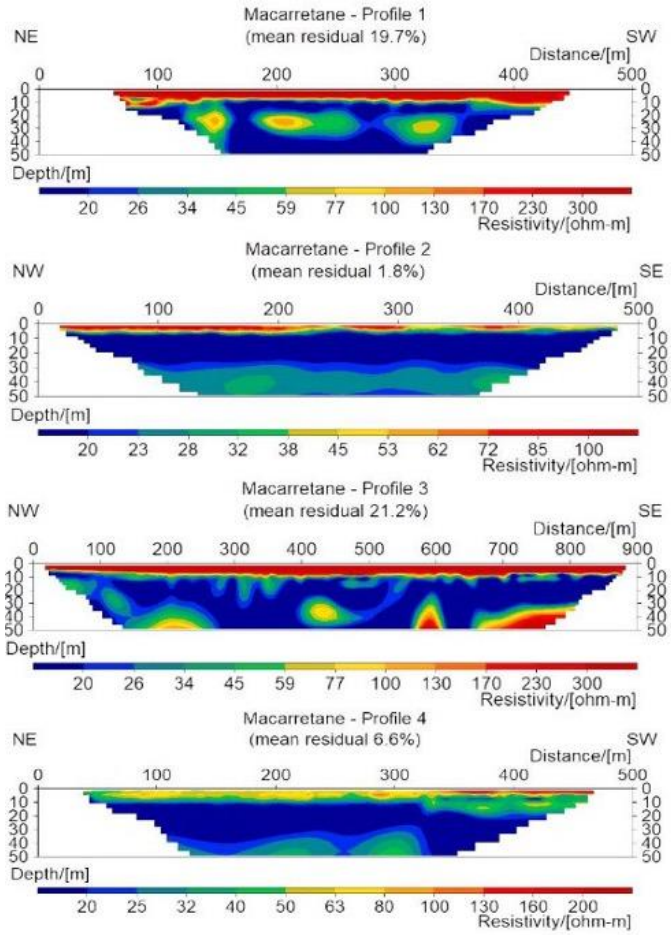


Figura 5. Perfis TER obtidos durante as avaliações geofísicas em Macarretane.

5.1.3. Sensoriamento remoto

Ao processar as imagens do modelo digital de elevação (sensoriamento remoto), ficou claro que algumas áreas mais próximas do rio tinham aspecto mais granular. Quando analisada mais detalhadamente, essas diferenças parecem ser causadas pelos processos morfológicos que determinaram a deposição dos sedimentos ao longo do rio. São os meandros que brilham na paisagem. Esta característica permite identificar em que áreas podem ser encontrar sedimentos arenosos.

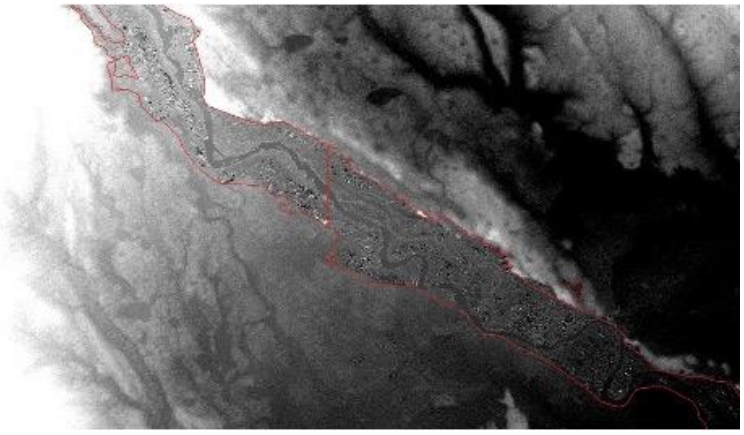


Figura 6. Identificação de sedimentos arenosos (limite vermelho) ao longo do rio Limpopo com base no modelo digital de elevação.

5.1.4. Testemunho de sondagem das perfurações

A partir dos testemunhos de sondagens obtidos do FIPAG, furos profundos da produção de água potável, ficou claro que os 10 a 60 m superiores de sedimentos cenozoicos consistem em argilas. Abaixo há um aquífero de água doce produtivo com espessura altamente variável e uma profundidade variável (Figura 7, locais F1 a F7 e FIPAG caniçado), testemunhos de sondagens mostram uma rápida alteração de argilas e areias finas a medias no topo, e uma camada mais espessa de pelo menos localmente mais de 20 m de areia grossa abaixo.



Figura 7. Localização dos furos.

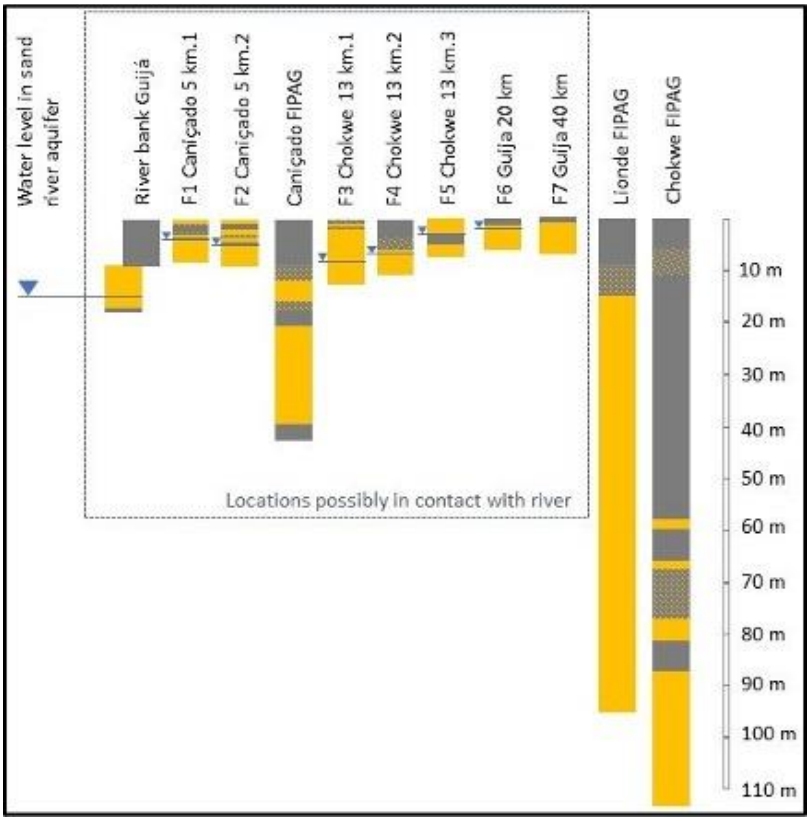


Figura 8. Representação simplificada dos furos de pesquisa obtidos do FIPAG e furos feitos manualmente durante o estudo.

5.1.5. Análise da qualidade de água

Os parâmetros de qualidade da água são indicadores dos processos físicos, químicos e biológicos que afectaram a amostra de água. As amostras de água foram colhidas dos furos construídos manualmente, poços escavados existentes, e entre ouros locais (Figura 8).



Figura 9. Locais onde foram colectadas as amostras de água.

As águas do rio são pobres em sais. Os sais presentes podem ser explicados pela evaporação (cloreto) e dissolução de gesso e carbonetos (HCO3 e cálcio). Com uma condutividade eléctrica acima de 2500 microS/cm para as amostras de 3 a 8, e 11 são salobras a salinas. Para as amostras 3 a 5 e 11, todas provenientes de poços escavados de uma aldeia, a elevada condutividade não pode apenas ser explicada pelas concentrações de clorecto (Figura 10). A salinidade parece ser causada pela dissolução de gesso e carbonetos (SO4, Ca, HCO3), proximidade de latrinas que contaminam as águas subterrâneas (SO4 e NO3).

Tabela 1. Salinidade (condutividade eléctrica como indicador), cloreto, bicarbonato e concentração de cálcio das amostras de água.

Code		EC_uS/cm	Cl_mg/L	HCO3_mg/l	Ca_mg/L
1	dug well	1060	70	500	57
2	dug well	1471	161	488	19
3	dug well	2510	326	818	53
4	dug well	2610	350	659	45
5	dug well	2580	240	866	32
6	dug well	2060	365	647	131
7	dug well	3400	731	769	92
8	hand pump	6140	1668	329	110
9	manual drilling 2 m	965	91	329	12
10	dug well	801	68	256	12
11	manual drilling >6 m	1637	255	561	65
12	dug well	1053	131	415	61
13	dug well	756	38	427	43
14	river	674	65	268	44
15	irrigation water	633	16	366	74
16	hand pump	679	75	281	53

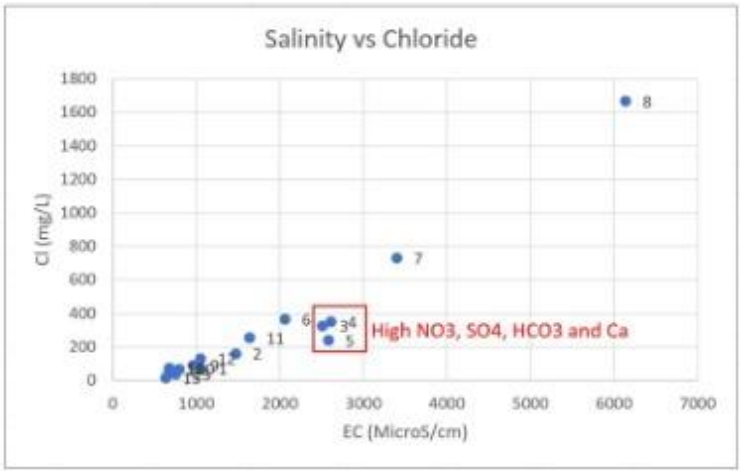


Figura 10. Salinidade (condutividade eléctrica como indicador) versus cloreto.

5.1.6. Recarga do leito do rio

O leito do rio de areia é constituído por areia grossa com rendimento específico de 0,15 a 0,18 e condutividade hidráulica de 107m^2/dia (Blok 2017). A água pode ser facilmente captada do aquífero. A recarga do aquífero ocorre através de três processos principais:

- Precipitação
- Escoamento superficial
- Descarga da barragem

Com base nos registos disponíveis, 510 Mm3/ano de água não estão atribuídos até 2025 e poderiam ser captados para, por exemplo, pacote de irrigação para rios de areia.

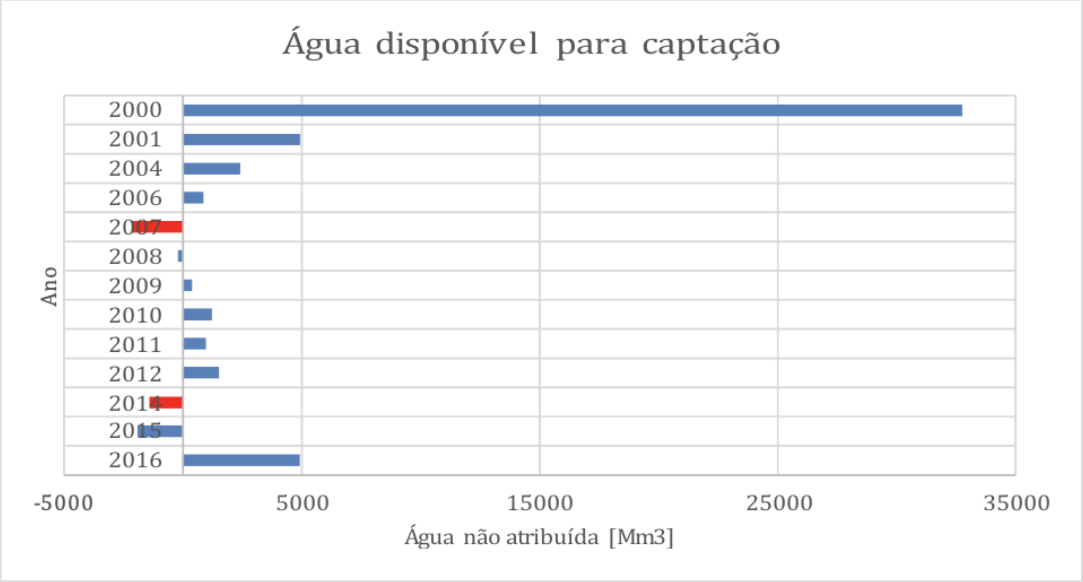


Figura 11. Água disponível para captação, definida como a diferença entre o caudal e a água atribuída.

5.2. Principais resultados do projecto

Foram selecionados cerca de 100 pequenos agricultores na província de Gaza, os quais obedeciam os seguintes critérios de elegibilidade:

a) Ser pequeno agricultor
b) Ter uma machamba com 0,5 ou 1 hectare no mínimo e máximo, respetivamente
c) Com uma fonte de água segura ou não
d) Ter sonho de crescer e desenvolver como agricultor

5.2.1. Exploração sustentável das águas subterrâneas rasas dos aquíferos aluvionares

Foram construídos mais 50 furos manuais convencionais para os agricultores que não detinham uma fonte de água segura, durante o ano todo. Utilizando o kit de perfuração manual, que é portátil.



Figura 12. Furos manuais construídos durante o projecto, kit de perfuração.

5.2.2. Uso e aproveitamento de águas subterrâneas para fins de agricultura e irrigação

Foram distribuídos 100 kits de irrigação solar para 100 pequenos agricultores da província de Gaza, o qual era composto por:

- 1 furo manual convencional
- 1 bomba solar portátil
- 1 sistema de transporte e aplicação de água – californiano

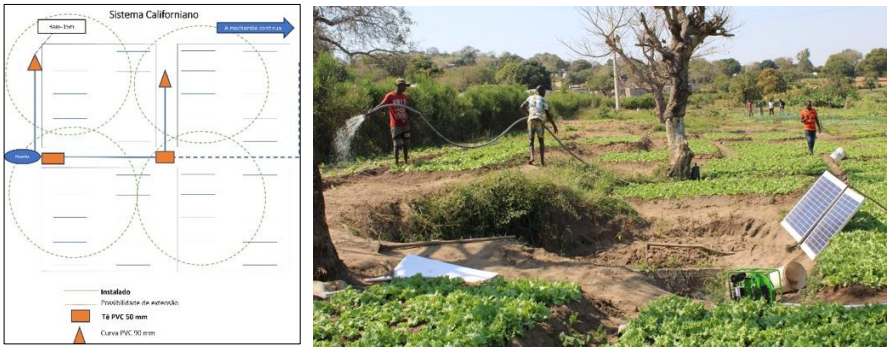


Figura 13. Sistema de transporte e aplicação de água – californiano.

5.2.3. Sustentabilidade e capacitação dos envolvidos

Treinamento sobre técnicas de perfuração e construção de furos manuais

Foram treinadas e equipadas 3 equipes em técnicas de perfuração e construção de furos manuais, compostas por 15 indivíduos. Estas equipes estão localizadas em diferentes áreas estratégicas da província de Gaza, para suprir as necessidades dos pequenos agricultores e actualmente são empresas de perfuração em suas zonas.



Figura 14. Treinamento práctico em perfuração e construção de furos manuais.

5.2.4. Treinamento técnico-práctico sobre sistemas de irrigação solar

Foram igualmente treinados mis de 120 extensionistas do SDAE na província de Gaza sobre sistemas de irrigação movida a energia solar.



Figura 15. Treinamento dos técnicos de SDAE.

6. CONCLUSÃO E CAMINHOS POR SEGUIR

Moçambique dispõem de um grande potencial de rios de areia não explorados, e soluções a base da natureza são uma perfeita escolha frente aos desafios que as mudanças climáticas oferecem. Conclui-se que:

- Moçambique detém inúmeros rios de areias com potenciais de águas subterrâneas rasas em aquíferos aluvionares para suprir as necessidades agrícolas durante o ano todo, os quais podem ser estudados por meio de furos piezométricos ou furos de pesquisa simples:
    - Furo de pesquisa manual com recurso a kit de perfuração manual, o qual pode ser replicado localmente
- Detém ainda mais radiação solar com boa capacidade para utilizar como fonte energia renovável, visando a utilização de energia limpa e verde, sem custos adicionais através de:
    - Bombas solares, de preferência portáteis/móveis
- Combinação de sistemas de transporte e aplicação de água nas machambas adequados, acessíveis para os pequenos agricultores de Moçambique:
    - Sistema de irrigação californiano
    - Sistema de irrigação Spray Tube
- Os solos moçambicanos são muito férteis, tornam-se férteis ainda mais em zonas junto aos rios, devido a retenção de águas e sais. Com boa capacidade de cultivar em qualquer estação do ano, o que irá contribuir para o fortalecimento da segurança alimentar e desnutrição.

- Este factores mencionados acima, são possíveis quando combinados os investimentos financeiros, tecnologia e conhecimento, juntos são capazes gerar grandes impactos socioeconómicos em Moçambique, sobretudo no sector de segurança alimentar e subsistência.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Blok, Tanneke. 2017. “Groundwater Storage in Sand Rivers.” Gouda: Acacia Water.

Blok, Tanneke. 2017. “Groundwater Storage in Sand Rivers.” Gouda: Acacia Water.

Direcção Nacional de Águas, DNA (1987); Notícia explicativa da carta hidrogeológica de Moçambique - 1:1000000´. Ministério da Construção e Águas; Maputo.

Global Water Partnership. 2011. “Limpopo Basin.” 2011. https://www.gwp.org/en/WACDEP/IMPLEMENTATION/Where/Limpopo/.

Hussey, Stephen. 2007. “Water From Sand Rivers: Guidelines for Abstraction,” 212.

Jones, A., Breuning-Madsen, H., Brossard, M., Dampha, A., Deckers, J., Dewitte, O., Gallali, T., Hallett, S., Jones, R., Kilasara, M., Le Roux, P., Micheli, E., Montanarella, L., Spaargaren, O., Thiombiano, L., Van Ranst, E., Yemefack, M., Zougmoré R., (eds.), 2013, Soil Atlas of Africa. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 176 pp.

Mansell, M. G., and S. W. Hussey. 2005. “An Investigation of Flows and Losses within the Alluvial Sands of Ephemeral Rivers in Zimbabwe.” Journal of Hydrology 314 (1–4): 192–203. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.015.

Mpala, S. C., A. S. Gagnon, M. G. Mansell, and S. W. Hussey. 2016. “The Hydrology of Sand Rivers in Zimbabwe and the Use of Remote Sensing to Assess Their Level of Saturation.” Physics and Chemistry of the Earth 93: 24–36. https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.03.004.

Nissen-Petersen, E. 2000. Water from Sand Rivers. A Manual on Site Survey, Design, Construction and Maintenance of Seven Types of Water Structures in River beds. Nissen-petersen, Erik. 2006. “Water from Dry River beds How Dry and Sandy River beds Can Be Turned into Water Sources by Hand-Dug Wells , Subsurface Dams , Weirs and Sand Dams.” Water

Spaliviero, M., M. De Dapper, and S. Maló. 2014. “Flood Analysis of the Limpopo river Basin through Past Evolution Reconstruction and a Geomorphological Approach.” Natural Hazards and Earth System Sciences 14 (8): 2027–39. https://doi.org/10.5194/nhess-14-2027-2014.

Referências internet

Instituto Nacional de Meteorologia (INAM). Disponível em <https://www.inam.gov.mz/index.php/pt/> Acesso em 21 de novembro de 2024

Direcção Nacional de Gestão de Bacias Hidrográficas de Moçambique (DNGBH). Disponível em <https://www.dngrh.gov.mz/> Acesso em 05 de novembro de 2024
Fundo Nacional de Energia (FUNAE). Disponível em: < https://funae.co.mz/funae-divulga-potencialidades-energeticas/>. Acesso em 02 de novembro de 2024

Smallholder farming families Adapt African Alluvial Aquifers to Strengthen Their Own Resilience. Disponível em: < https://sandrivers.org/a4store/>. Acesso em 27 de outubro de 2024

ARTIGO Nº22198

VIABILIDADE DE PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONSTRUÇÃO COM ESCÓRIA E OUTROS RESÍDUOS, ENDURECIDOS COM CARBONATAÇÃO ACELERADA

Joaquim Constantino[1(*)], J. Castro-Gomes[1], Maria Inês Alves Vicente[2]

[1]Centro de Materiais e Tecnologias Construtivas (C–MADE), Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior (UBI), Covilhã, Portugal.
[2]Plataforma de Ciência Aberta, Município de Figueira de Castelo Rodrigo, Distrito de Guarda, Portugal
(*) *Email:* joaquim.constantino@ubi.pt

RESUMO

Este estudo avalia a viabilidade técnica de produzir eco-materiais cimentícios a partir de escória de forno elétrico de arco (EAFS) e resíduos industriais inorgânicos (cerâmica, betão e vidro), utilizando a carbonatação acelerada como processo de cura e endurecimento. Foram desenvolvidas e testadas diferentes formulações cimentícias, moldadas sob compactação estática em provetes cúbicos de 40 × 40 × 40 mm. Os resultados foram comparados com uma mistura de referência à base de cimento Portland e areia. As misturas com EAFS, isoladamente ou em combinação com resíduos, apresentaram resistências à compressão adequadas para aplicações não estruturais, destacando-se a formulação com EAFS puro, que atingiu 44,70 MPa. A carbonatação acelerada revelou-se eficaz na ativação das misturas, promovendo a formação de carbonatos estáveis e contribuindo para a captura de CO_2. Complementarmente, as análises termoanalíticas (TGA/DSC) demonstraram elevada estabilidade térmica das formulações à base de EAFS, com perdas de massa residuais inferiores a 0,05% e ausência de eventos térmicos relevantes. Em contraste, a mistura convencional com cimento Portland registou maior instabilidade, com perdas superiores a 3% associadas à decomposição de compostos hidratados e carbonatados. Os resultados obtidos confirmam o potencial das formulações estudadas como alternativa sustentável aos materiais convencionais, promovendo a valorização de resíduos, a redução da pegada de carbono e a aplicação de princípios de economia circular na construção civil. Embora a produção tenha sido conduzida em provetes laboratoriais, os desempenhos registados indicam uma aplicabilidade promissora em blocos de construção para fins não estruturais.

***Palavras-chave**:* carbonatação acelerada; escória de forno elétrico de arco; resíduos inorgânicos; materiais cimentícios sustentáveis; viabilidade técnica.

INTRODUÇÃO

A construção civil representa um dos sectores mais impactantes ambiental global, sendo responsável por um consumo elevado de recursos naturais e pela emissão significativa de gases com efeito de estufa (GEE). Estima-se que aproximadamente 40% da energia global e 30% das emissões de CO_2 estejam relacionadas com o ciclo de vida dos materiais e infraestruturas de construção (Ubolsook et al., 2024). O setor gera toneladas de resíduos inertes e industriais que, muitas vezes, não recebem o devido tratamento, contribuindo para a degradação ambiental.

Face a esta realidade, a reutilização de subprodutos industriais, como a escória de forno elétrico de arco (EAF), representa uma alternativa viável à substituição parcial de agregados

convencionais, reduzindo a extração de matérias-primas natural, evitando o depósito em aterros. Estes resíduos apresentam potencial cimentícios e características químicas compatíveis com processos de mineralização do dióxido de carbono (CO_2), possibilitando o desenvolvimento de materiais de construção com baixa pegada de carbono (Grünhäuser Soares & Castro-Gomes, 2022)

Neste contexto, a carbonatação acelerada tem-se revelado uma tecnologia promissora. Trata-se de um processo de cura alternativo que expõe misturas cimentícios ou ligantes alternativos a elevadas concentrações de CO_2 sob condições controladas de temperatura e humidade. Esta exposição induz a formação de carbonatos estáveis, como a calcite ($CaCO_3$), a partir da reação do dióxido de carbono com os óxidos de cálcio, magnésio e outros metais presentes nos resíduos industriais (Liu & Meng, 2021).

Vários estudos conduzidos na Universidade da Beira Interior, nomeadamente no âmbito do C-MADE – Centro de Materiais e Tecnologias da Construção, têm mostrado a eficácia da carbonatação acelerada em ligantes livres de clínquer, especialmente quando combinada com escórias de aço, cinzas de biomassa e outros resíduos (Grünhäuser Soares & Castro-Gomes, 2022; Humbert et al., 2019).

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar a viabilidade técnica da produção de blocos de construção a partir de escória EAF e outros resíduos industriais, endurecidos por carbonatação acelerada. A investigação visa analisar parâmetros fundamentais, como a resistência mecânica, a densidade, a eficiência de captura de CO_2 e a conformidade com os requisitos técnicos aplicáveis, contribuindo para o desenvolvimento de materiais de construção ambientalmente responsáveis e alinhados com os princípios da economia circular.

CONCEITOS DE CARBONATAÇÃO ACELERADA E CAPTURA DE CO_2

A carbonatação acelerada é um processo que expõe materiais cimentícios a concentrações elevadas de dióxido de carbono (CO_2) em condições controladas, promovendo reações químicas que resultam na formação de carbonatos estáveis, como o carbonato de cálcio ($CaCO_3$) ou carbonato de magnésio ($MgCO_3$), consoante a composição do material(Li et al., 2022). No caso de ligantes à base de cal hidratada, a reação pode ser representada pela seguinte equação química:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O \quad (1)$$

Esta reação resulta na densificação da matriz do material, conferindo-lhe maior resistência mecânica, durabilidade e menor porosidade(Humbert & Castro-Gomes, 2019). No caso de materiais contendo óxidos de magnésio, como a magnésia reativa presente em alguns resíduos industriais, a reação predominante é:

$$MgO + CO_2 \rightarrow MgCO_3 \quad (2)$$

Este processo melhora as propriedades físico-mecânicas dos materiais e permite o sequestro mineral permanente de CO_2, através da sua fixação estável na matriz cimentícia. Para além de aumentar a resistência e a durabilidade, esta técnica confere aos blocos produzidos um contributo adicional na mitigação das emissões de carbono associadas ao sector da construção (Labaran et al., 2022).

APLICAÇÕES DE EAF E OUTROS RESÍDUOS

A (EAFS), tem sido estudada como material alternativo na construção civil. Composta principalmente por óxidos de cálcio, silício, ferro e magnésio, a escória EAF possui potencial para substituir agregados naturais em concretos e argamassas(Humbert et al., 2019; Kim & Ann, 2021).

Estudos demonstram que a utilização de escória EAF, especialmente quando submetida à carbonatação acelerada, pode melhorar as propriedades mecânicas e de durabilidade dos materiais cimentícios (Abate et al., 2018; Humbert & Castro-Gomes, 2019; Sedira & Castro-Gomes, 2020; Yi et al., 2020)

Outros resíduos industriais, como cinzas de casca de arroz e resíduos de carvão ativado, têm sido explorados como materiais alternativos na produção de compósitos cimentícios. A incorporação desses resíduos não só reduz a necessidade de extração de recursos naturais, mas também contribui para a gestão sustentável de resíduos (Kishore et al., 2025; Oyejobi et al., 2024).

Além dos resíduos industriais, a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD), tem sido investigada como uma estratégia para reduzir a extração de recursos naturais e minimizar os resíduos enviados para aterros. A carbonatação acelerada desses agregados pode aumentar sua estabilidade e desempenho em aplicações estruturais (Oyejobi et al., 2024; Pereira-De-Oliveira et al., 2012, 2014; Sedira et al., 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Escória de forno elétrico de arco (EAFS): recebida em forma de agregados provenientes de unidades siderúrgicas na Maia e em Paio Pires (Seixal), foi seca a 60 °C durante 24 h, moída em moinho de discos vibratórios Retsch RS 300 e peneirada para obtenção de partículas < 125 μm. Considerou-se uma fração inferior a 150 μm como adequada à escala industrial e compatível com a dimensão dos provetes.

Resíduo cerâmico (BW): obtido a partir da fragmentação de tijolos cerâmicos grosseiros, foi limpo, seco a 80 °C durante 24 h, britado num britador de mandíbulas Retsch BB 200 e posteriormente moído em moinho Retsch RS 300, resultando num pó fino e homogéneo para incorporação nas misturas cimentícias.

Resíduo de betão (CW): proveniente de um bloco C25/30 curado entre 2012 e 2020 sob condições controladas (20 ± 2 °C; 99% HR). Foi britado no britador Retsch BB 200 e moído no RS 300, seguindo o mesmo procedimento aplicado ao resíduo cerâmico.

Resíduo de vidro (GW): obtido pela recolha de garrafas flint de resíduos urbanos. Após lavagem e remoção dos rótulos, o material foi moído em moinho de bolas até alcançar granulometria fina adequada à incorporação.

Cimento Portland (PC): utilizou-se o cimento Portland de calcário CEM II/B-L 32,5 N, da marca CIMPOR, referente ao lote produzido a 20 de Março de 2025 (código: 200325 50U 3.3 16).

Areia amarela (RS): areia siliciosa obtida por britagem de materiais naturais de pedreira, fornecida pela Tabal-Sepor – Areias e Argamassas, Lda. (Salvaterra de Magos). A análise granulométrica indicou partículas entre 0-2 mm, com $D_{50} \approx 1$ mm e $C_u \approx 2{,}5$.

A composição estimada de óxidos das matérias-primas foi determinada por espectroscopia de raios X por dispersão de energia (SEM-EDX), utilizando um equipamento Hitachi S-3400 N. As densidades reais foram obtidas por meio de um picnómetro de deslocamento de gás, modelo Micromeritics AccuPyc 1340, conforme estudo realizado por (Grünhäuser Soares et al., 2022; Sucupira Cristino & Castro Gomes, 2021). Os resultados encontram-se apresentados na Tabela1.

Tabela 1. Composição estimada de óxido (% em peso) e propriedades físicas

Composição estimada do óxido (% wt.) e propriedades físicas	PC	EAFS	BW	CW	GW	RS
Na_2O			0,5	1,5	14,6	
MgO	2,15	4,1	2,1	2,2	0,7	
Al_2O_3	4,78	12	26	12,9	2,3	24,7
SiO_2	15,51	13,9	56,9	46	67	69,1
SO_3	4,22			1,4		
K_2O	1,97	0,8	3,1	3,1	4,2	1,7
CaO	68,85	34,2	1,8	25,1	12	1
TiO_2		0,6	0,6		0,4	0,4
Fe_2O_3	2,52	29,1	6,4	6,4	2,7	3,2
PS<63µm (% wt.)		83,5	82,7	82,2	85,7	0,9
Densidade real (g/cm^3)		3,82	2,64	2,43	2,45	2,64
Blaine fineness (cm^2/g)		2910	7225	4372	4997	

A análise técnica mostrou que o tamanho da partícula PS < 63 µm e finura de Blaine têm um papel na eficiência do processo de carbonatação acelerada, pois influenciam diretamente a reatividade dos resíduos com o CO_2. Já a densidade real revelou-se importante sobretudo para o dimensionamento adequado das misturas e para o controlo da massa volúmica dos blocos produzidos.

Composição da mistura e preparação das amostras

A composição das misturas encontra-se detalhada na Tabela 2, incluindo uma mistura de controlo composta por cimento Portland (PC) e areia, em volume de 1:3 entre ligante e areia, e com uma proporção em massa de água para sólidos no ligante de 0,10.

Tabela 2. Composição das Misturas

Mistura	**Ligante**	**Agregado Fino**	**Relação de Massa w/s**	**Massa Sólida - Ligante (%)**	**Massa Sólida - Agregado Fino (%)**
PC + RS (Padrão)	PC	RS	0,10	37,01	62,99
EAFS + RS	EAFS	RS	0,10	42,31	57,69
EAFS	EAFS	-	0,10	100	-
EAFS + BW	EAFS	BW	0,10	42,31	57,69
EAFS + CW	EAFS	CW	0,10	42,31	57,69
EAFS + GW	EAFS	GW	0,10	42,31	57,69

Neste estudo, foram preparadas cinco argamassas com incorporação de materiais à base de resíduos. Uma das formulações foi composta exclusivamente por escória de forno elétricos de arco (EAFS) como ligante. As restantes seguiram uma proporção volumétrica de 1:3, correspondendo a uma parte de EAFS como ligante e três partes de resíduos finamente moídos, nomeadamente cerâmica, betão ou vidro, utilizados como adições minerais.

Foram fabricados seis provetes cúbicos com arestas de 40 mm para cada composição de mistura (Figura 1), seguindo a metodologia descrita por (Grünhäuser Soares et al., 2022; Humbert et al., 2019; Sucupira Cristino & Castro Gomes, 2021). A argamassa preparada foi vertida em moldes e compactada sob uma pressão estática de 30 MPa. Após atingir o nível de compactação desejado, a pressão foi mantida durante 120 segundos, de forma a garantir a uniformidade da compactação e a melhor acomodação das partículas.

Seguidamente, os provetes foram desmoldados por extrusão e pesados numa balança eletrónica RADWAG PS 6100.R2.M, procedendo-se de imediato à sua conservação em caixa de cura húmida, de modo a preservar a humidade enquanto se concluía o fabrico dos restantes.

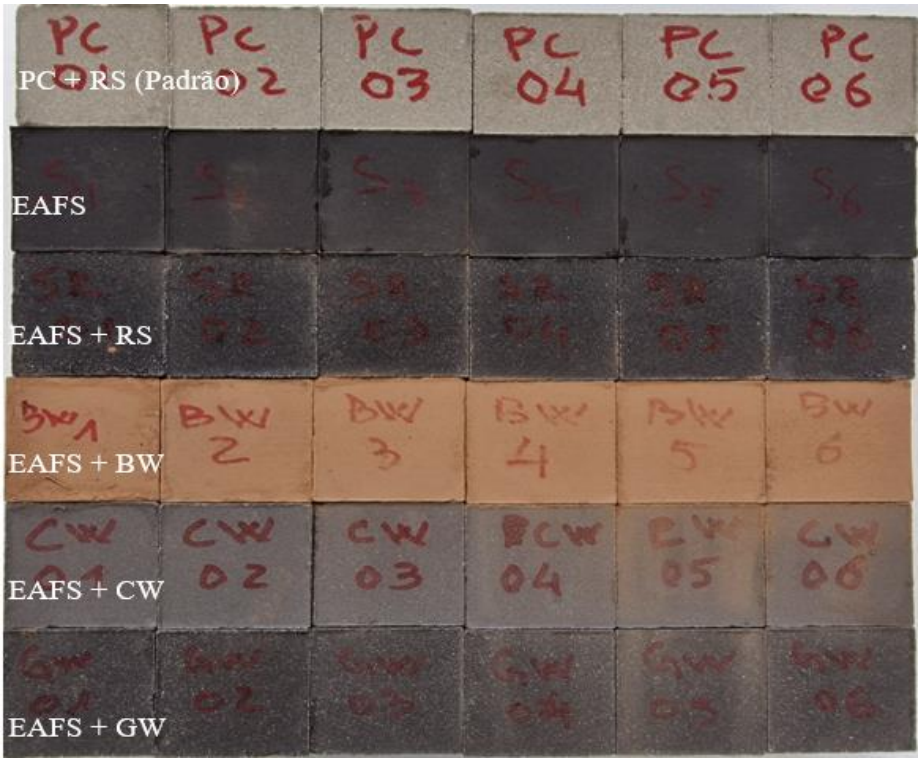


Fig.1 - Provetes cúbicos, produzidos para os ensaios de resistência à compressão e estabilidade térmica.

Para o processo de cura por carbonatação acelerada (ACC), foi utilizada uma câmara pressurizada (Figura 2) com capacidade aproximada de 75 litros, na qual se aplicou um vácuo parcial inicial de 0,2 bar. Os provetes foram então submetidos a 24 horas de cura sob atmosfera controlada, com os seguintes parâmetros:

- concentração de CO_2 superior a 99%,
- pressão parcial de CO_2 de 0,9 bar,
- temperatura de 60 ± 2 °C,
- humidade relativa > 99%.

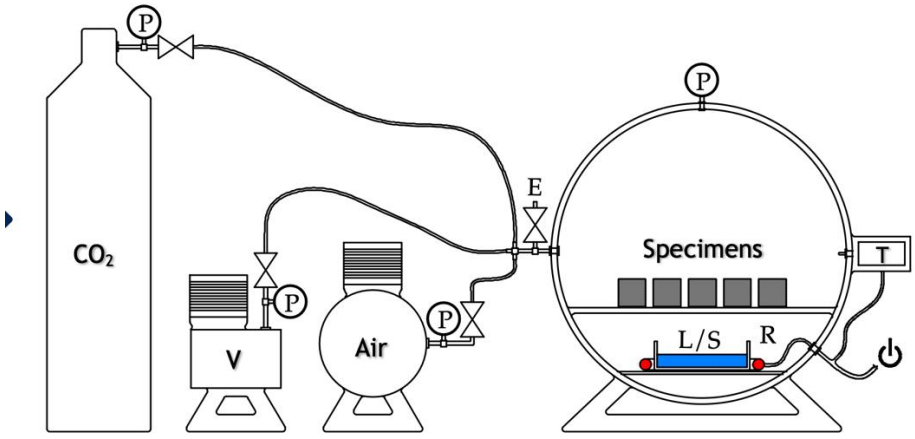


Fig.2 - Esquema da configuração de cura de CO2 em câmara pressurizada (Soares, 2024)

Após o período de carbonatação, os provetes foram colocados numa estufa a 60 °C durante 24 horas, com o objectivo de estabilizar as reações químicas internas e reduzir a humidade remanescente. Finalmente, as amostras foram armazenadas durante sete dias em condições ambientais húmidas (temperatura de 20 ± 2 °C e humidade relativa de 80 ± 2 %), antes de serem submetidas aos ensaios de resistência à compressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência à Compressão

A Figura 1 apresenta os resultados da resistência à compressão dos provetes, a cura por carbonatação acelerada durante 24 horas, seguida de estabilização térmica e cura húmida por sete dias. A mistura composta unicamente por escória de forno elétrico de arco (EAFS) registou o valor mais elevado, atingindo 44,70 MPa, o que demonstra o elevado potencial de reatividade deste material em condições de carbonatação, em conformidade com os resultados de (Humbert et al., 2019), que destacam a EAFS como um ligante alternativo eficaz em formulações isentas de clínquer.

A mistura de referência, composta por cimento Portland (PC) e areia, apresentou uma resistência de 23,80 MPa, valor inferior ao da EAFS pura, mas superior ao das formulações que incorporam resíduos. Quando o cimento foi substituído por EAFS e se manteve a areia como agregado fino (EAFSR), a resistência desceu para 13,47 MPa, sugerindo que a composição e textura da areia podem limitar a eficácia do processo de carbonatação e a formação de produtos de reação mais densos.

As misturas com agregados finos residuais apresentaram comportamentos distintos. A formulação com resíduos de vidro (EAFS+GW) alcançou a resistência mais elevada entre os resíduos alternativos (14,03 MPa), seguida da mistura com resíduos de betão (EAFS+CW, 12,53 MPa). A resistência mais baixa foi registada na mistura com resíduos cerâmicos (EAFS+BW), com apenas 6,27 MPa. Estes resultados estão alinhados com os trabalhos de (Grünhäuser Soares et al., 2022), que evidenciam que a natureza química e a heterogeneidade

estrutural dos resíduos, influenciam na reatividade e a formação da microestrutura dos materiais carbonatados.

Apesar do menor desempenho mecânico em algumas formulações, várias misturas atingiram valores superiores a 10 MPa, o que pode ser considerado adequado para elementos de construção não estruturais. Estes resultados confirmam o potencial da carbonatação acelerada como uma tecnologia eficaz para a valorização de resíduos e a produção de materiais cimentícios sustentáveis, com benefícios claros ao nível da redução da pegada de carbono.

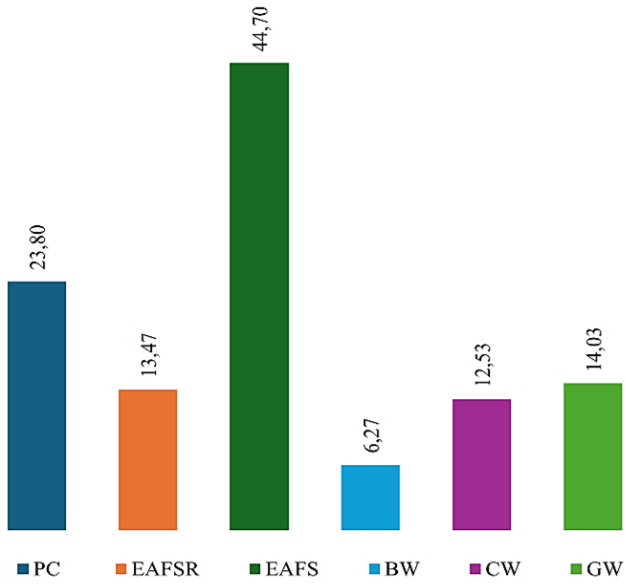


Fig.3 - Resistência à compressão

Modo de rotura e desempenho mecânico

A análise dos provetes, Figura 4, após o ensaio de compressão uniaxial evidencia distintos modos de rotura associados à composição das misturas. A mistura de referência (PC + RS) apresentou rotura axial controlada e colapso uniforme, refletindo uma matriz densa e bem consolidada. A escória de forno de arco elétrico (EAFS), usada isoladamente, revelou elevada resistência, mas com falha irregular e fragmentação lateral, indicativa de menor coesão interna.

A combinação EAFS + RS demonstrou comportamento intermédio, com delaminação parcial e melhoria face à EAFS pura, embora sem atingir o desempenho da referência. Misturas com resíduos cerâmicos (EAFS + BW) e de betão (EAFS + CW) apresentaram desintegração acentuada e colapsos localizados, atribuídos à fraca aderência entre partículas e à heterogeneidade da matriz. Já o resíduo de vidro (EAFS + GW) resultou em fissuração profunda e falhas frágil-britantes, associadas à rigidez do material vítreo.

De forma geral, os diferentes modos de rotura confirmam o impacto direto da natureza dos resíduos no desempenho estrutural das misturas, sendo observadas maiores fragilidades nas formulações com agregados reciclados e comportamento mais estável na mistura de referência.

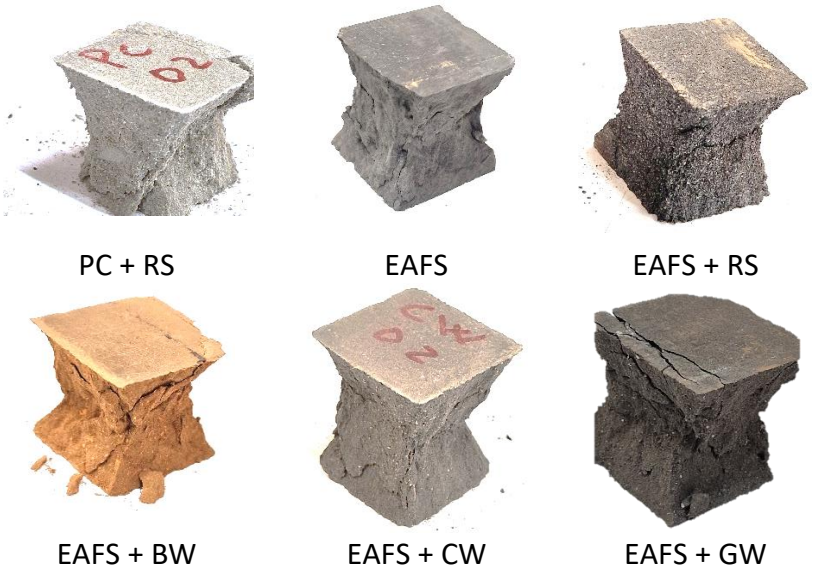


Fig. 4 - Provetes das diferentes formulações após o ensaio de compressão

A análise conjunta dos resultados de resistência à compressão (Figura 3) e dos modos de falha observados nos provetes (Figura 4) evidencia dependência do desempenho mecânico em relação à composição das misturas e à natureza dos resíduos incorporados.

TG-DTG

As análises termoanalíticas (TGA/DSC) na Figura 2, realizadas às diferentes formulações cimentícias desenvolvidas neste estudo, permitiram uma avaliação comparativa da estabilidade térmica de cada mistura, revelando importantes informações sobre a composição, estrutura e comportamento térmico dos materiais utilizados. As amostras analisadas foram escória de forno eléctrico de arco (EAFS) como ligante principal, combinadas com diferentes agregados finos: areia siliciosa (RS), resíduos de cerâmica (BW), resíduos de betão (CW) e resíduos de vidro (GW), além da mistura de referência composta por cimento Portland (PC) e areia.

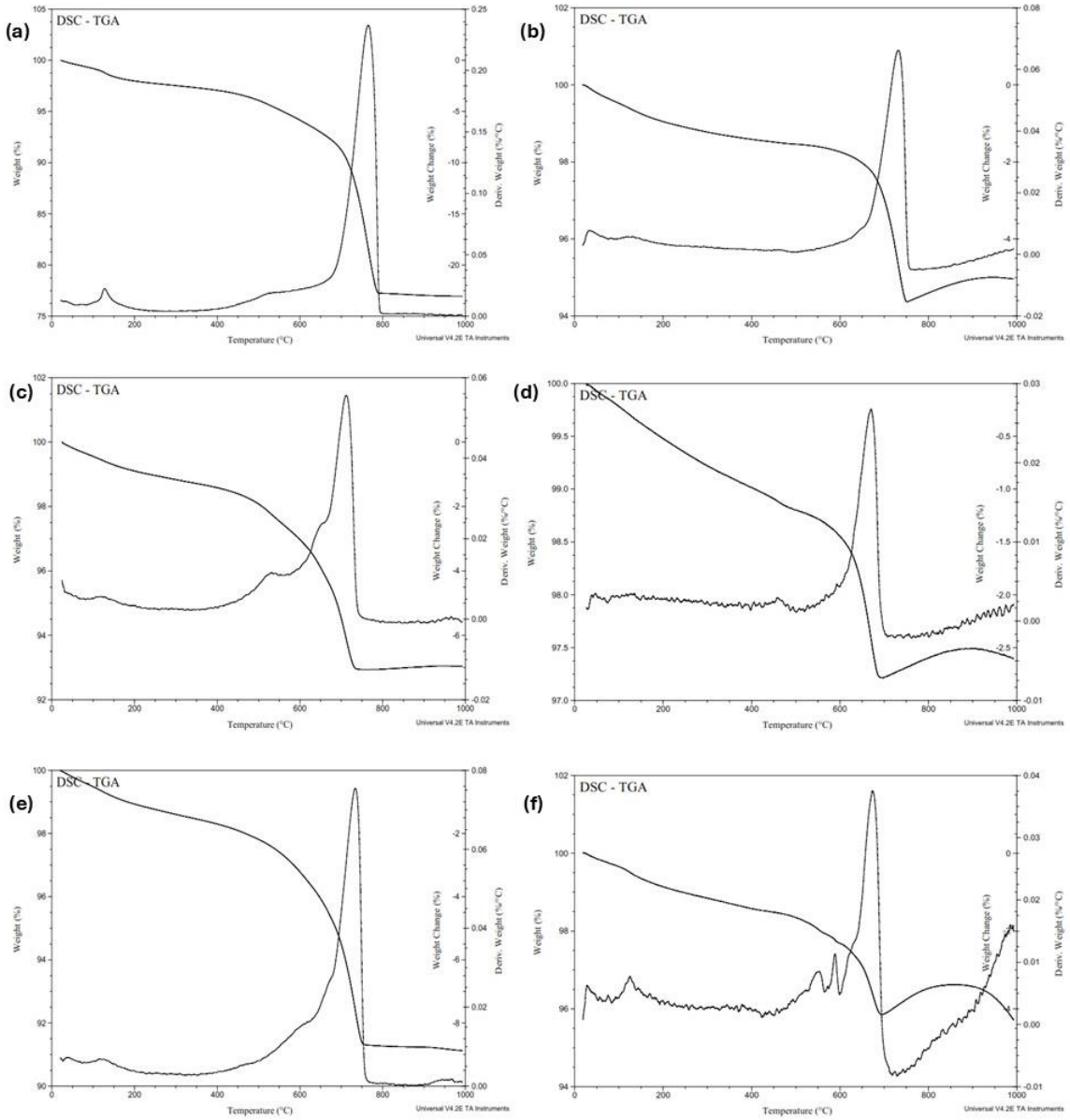


Fig. 2 - Curvas TG e DTG das matérias-primas: (a) PC; (b) A EAFS; (c) A EAFSR (d) BW; (e) CW e (f) GW.

A mistura convencional PC apresentou perdas de massa cumulativas expressivas, variando entre 3% e 5% ao longo do ensaio. A primeira fase de perda, entre 100 °C e 200 °C, é atribuída à evaporação da água fisicamente adsorvida e da água capilar. Uma segunda perda relevante, entre 400 °C e 600 °C, está associada à desidratação da portlandite ($Ca(OH)_2$), um composto comum nos produtos de hidratação do cimento Portland. Acima dos 700 °C, ocorre a decomposição de carbonatos residuais, como o $CaCO_3$, resultando na libertação de CO_2. Estes eventos, é coerentes com os resultados apresentados por (Tajuelo Rodriguez et al., 2017), confirmam a instabilidade térmica das pastas cimentícias tradicionais, onde a decomposição de carbonatos amorfos e portlandite carbonatada ocorre por volta dos 550 - 800 °C.

A EAFS, manteve-se praticamente inalterada ao longo de todo o ensaio. A variação de massa foi inferior a 0,02%, sem qualquer pico representativo na curva de fluxo térmico (DSC), o que indica que o material é constituído essencialmente por óxidos metálicos, silicatos e aluminatos, todos compostos inorgânicos estáveis até altas temperaturas. Este resultado confirma a

adequação da EAFS como ligante alternativo em formulações cimentícias sujeitas a processos térmicos, como a carbonatação acelerada, sendo coerente com a literatura (Humbert et al., 2019).

A EAFSR manteve igualmente uma estabilidade térmica elevada. A perda de massa permaneceu inferior a 0,02%, semelhante à da EAFS isolada. A areia, composta essencialmente por dióxido de silício (SiO_2), é altamente estável do ponto de vista térmico, o que contribui para a inércia observada. A curva DSC não revelou alterações energéticas relevantes, evidenciando que a incorporação da areia não induz reações térmicas adicionais nem altera o comportamento geral da matriz.

A mistura BW apresentou um perfil de estabilidade térmica muito semelhante ao da EAFS isolada, com perda de massa inferior a 0,02% ao longo do ensaio. Tal resultado indica uma estrutura mineral consolidada e estável, característica de materiais calcinados e inertes. De forma semelhante, (Chen et al., 2022) observaram perdas térmicas inferiores a 1% até 1000 °C em misturas contendo EAFS e resíduos ricos em óxidos, com estabilidade associada à formação de fases vítreas e silicatos de cálcio, como gehlenite e anortite. Estes dados reforçam a viabilidade da combinação da mistura para aplicações cimentícias submetidas a cura térmica ou carbonatação acelerada, mantendo desempenho e integridade estrutural.

A análise da CW evidenciou um comportamento térmico estável, com uma perda de massa inferior a 0,05% ao longo do ensaio TGA. Esta ligeira variação poderá estar associada à presença residual de compostos hidratados, como portlandite ou etringite, provenientes do betão reciclado. Contudo, a ausência de picos acentuados na curva DSC indica que estas fases se encontram em quantidades muito reduzidas ou já parcialmente carbonatadas. Estes resultados estão em consonância com (Arribas et al., 2015), que atribui EAFS uma elevada estabilidade térmica, desde que devidamente processada e isenta de compostos expansivos, como óxidos de cálcio e magnésio livres.

A mistura que integra resíduos de vidro (vidro do tipo *flint*, recolhido e moído) demonstrou a maior estabilidade térmica entre todas as formulações analisadas, com uma perda de massa praticamente nula (< 0,01%) nos ensaios TGA/DSC. Este comportamento está associado à natureza amorfa do vidro, composto essencialmente por sílica e óxidos metálicos que não sofrem decomposição nas condições térmicas aplicadas. A curva DSC não evidenciou qualquer pico de transição térmica relevante, o que confirma a completa inércia térmica da matriz, e corrobora com resultados apresentados por (Yildirim, 2024) que verificou que misturas de escória de aciaria com pós de vidro mantêm-se volumetricamente estáveis, mesmo sob condições de cura acelerada.

Tabela 3. Síntese comparativa das curvas TG e DTG

Mistura	Perda de Massa (%)	Picos térmicos	Estabilidade global
EAFS (100%)	< 0,02	Nenhum	Muito elevada
EAFS + RS	< 0,02	Nenhum	Muito elevada
PC + RS	3–5	Sim (hidratação e carbonatos)	Moderada
EAFS + BW	< 0,02	Nenhum	Muito elevada
EAFS + CW	< 0,05	Nenhum	Elevada
EAFS + GW	< 0,01	Nenhum	Extremamente elevada

Os resultados obtidos confirmam que todas as formulações de EAFS, quer utilizadas isoladamente, quer em combinação com resíduos sólidos (BW, CW e GW), mostraram um comportamento termoestável, favorável à aplicação em processos de cura acelerada, em particular por carbonatação. Em comparação, a mistura de referência à base de cimento Portland (PC + RS), embora funcional, revelou maior instabilidade térmica, com perdas de massa superiores e a presença de picos térmicos associados à desidratação de produtos de hidratação e à decomposição de carbonatos. Estes dados reforçam a viabilidade técnica das formulações alternativas desenvolvidas neste estudo para a produção de blocos de construção sustentáveis, com baixa pegada de carbono e elevada estabilidade térmica.

CONCLUSÕES

Os resultados do estudo, confirmam a viabilidade técnica da produção de blocos de construção a partir de escória de forno elétrico de arco (EAFS) e resíduos industriais, utilizando a carbonatação acelerada como método de cura e endurecimento. A escória, utilizada isoladamente ou combinada com resíduos cerâmicos, de betão e de vidro, demonstrou elevado potencial como ligante alternativo, apresentando desempenho mecânico satisfatório e comportamento térmico estável.

A formulação composta exclusivamente por EAFS atingiu a maior resistência à compressão (44,70 MPa), superando a mistura de referência com cimento Portland, que registou 23,80 MPa. As misturas com adições minerais de resíduos também evidenciaram resistências adequadas para aplicações não estruturais, destacando-se a combinação EAFS + vidro (14,03 MPa). Estes resultados demonstram a eficácia do processo de carbonatação acelerada e endurecimento de materiais livres de clínquer, contribuindo para a valorização de resíduos e a mitigação de emissões de CO_2.

Adicionalmente, as análises termoanalíticas (TGA/DSC) revelaram que todas as misturas à base de EAFS apresentaram perdas de massa residuais inferiores a 0,05%, com ausência de eventos térmicos significativos, o que confirma a sua estabilidade térmica. Em contraste, a mistura convencional com cimento Portland exibiu maiores perdas e picos de desidratação e descarbonatação, refletindo a presença de fases instáveis sob aquecimento.

Assim, a abordagem proposta mostra não apenas a viabilidade funcional, mas também o potencial ambiental das formulações estudadas, contribuindo para o desenvolvimento de materiais cimentícios sustentáveis com baixa pegada de carbono. Estes achados reforçam a pertinência da carbonatação acelerada como tecnologia promissora para a economia circular na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela União Europeia, no âmbito do Programa de Investigação e Inovação Horizonte Europa Marie Skłodowska-Curie Actions Staff Exchange, através do projeto “CSTO2NE - Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a climate-neutral economy” (Contrato n.º 101086302).

Este trabalho foi também financiado por fundos nacionais portugueses através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P. (a agência nacional de financiamento da ciência, investigação e tecnologia), com a referência 2024.05719.BDANA, no âmbito da unidade de investigação C-MADE: Centro de Materiais e Tecnologias Construtivas (Universidade da Beira Interior,

Covilhã-4082), bem como através dos projetos UIDB/04082/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDB/04082/2020) e UIDP/04082/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDP/04082/2020). Agradece-se ainda o apoio da Plataforma de Ciência Aberta do Município de Figueira de Castelo Rodrigo, no distrito da Guarda, Portugal.

REFERÊNCIAS

Abate, S. Y., Song, K. Il, Song, J. K., Lee, B. Y., & Kim, H. K. (2018). Internal curing effect of raw and carbonated recycled aggregate on the properties of high-strength slag-cement mortar. *Construction and Building Materials*, *165*, 64–71. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.035

Arribas, I., Santamaría, A., Ruiz, E., Ortega-López, V., & Manso, J. M. (2015). Electric arc furnace slag and its use in hydraulic concrete. *Construction and Building Materials*, *90*, 68–79. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2015.05.003

Chen, H., Liu, Y., Cui, H., Zhang, W., Hu, L., & Mao, L. (2022). Effects of electric arc furnace slag on promoting quality and environmental safety of fired bricks incorporating municipal solid waste incineration fly ash. *Construction and Building Materials*, *345*, 128327. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.128327

Grünhäuser Soares, E., & Castro-Gomes, J. (2022). The role of biomass bottom ash in Carbonated Reactive Magnesia Cement (CRMC) for CO2 mineralisation. *Journal of Cleaner Production*, *380*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135092

Grünhäuser Soares, E., Castro-Gomes, J., Sitarz, M., Zdeb, T., Hager, I., Hassan, K., & Saif Al-Kuwari, M. (2022). Feasibility for co-utilisation of Carbonated Reactive Magnesia Cement (CRMC) and industrial wastes in circular economy and CO2 mineralisation. *Construction and Building Materials*, *323*, 126488. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2022.126488

Humbert, P. S., & Castro-Gomes, J. (2019). CO2 activated steel slag-based materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, *208*, 448–457. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.10.058

Humbert, P. S., Castro-Gomes, J. P., & Savastano, H. (2019). Clinker-free CO 2 cured steel slag based binder: Optimal conditions and potential applications. *Construction and Building Materials*, *210*, 413–421. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.169

Kim, H., & Ann, K. Y. (2021). Applicability of ferrosilicon slag for a cementitious binder in concrete mix. *Construction and Building Materials*, *271*. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121873

Kishore, K., Sheikh, M. N., & Hadi, M. N. S. (2025). A critical analysis of electric arc furnace (EAF) slag for sustainable geopolymer concrete production. *Materials Today Sustainability*, *29*, 101064. https://doi.org/10.1016/J.MTSUST.2024.101064

Labaran, Y. H., Mathur, V. S., Muhammad, S. U., & Musa, A. A. (2022). Carbon footprint management: A review of construction industry. *Cleaner Engineering and Technology*, *9*, 100531. https://doi.org/10.1016/J.CLET.2022.100531

Li, N., Mo, L., & Unluer, C. (2022). Emerging CO2utilization technologies for construction materials: A review. In *Journal of CO2 Utilization* (Vol. 65). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2022.102237

Liu, Z., & Meng, W. (2021). Fundamental understanding of carbonation curing and durability of carbonation-cured cement-based composites: A review. In *Journal of CO2 Utilization* (Vol. 44). Elsevier Ltd. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101428

Oyejobi, D. O., Firoozi, A. A., Fernández, D. B., & Avudaiappan, S. (2024). Integrating circular economy principles into concrete technology: Enhancing sustainability through industrial waste utilization. *Results in Engineering*, *24*, 102846. https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2024.102846

Pereira-De-Oliveira, L. A., Castro-Gomes, J. P., & Santos, P. M. S. (2012). The potential pozzolanic activity of glass and red-clay ceramic waste as cement mortars components. *Construction and Building Materials*, *31*, 197–203. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2011.12.110

Pereira-De-Oliveira, L. A., Nepomuceno, M. C. S., Castro-Gomes, J. P., & Vila, M. F. C. (2014). Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, *51*, 113–120. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2013.10.061

Sedira, N., & Castro-Gomes, J. (2020). Alkali-Activated Binders Based on Tungsten Mining Waste and Electric-Arc-Furnace Slag: Compressive Strength and Microstructure Properties. *CivilEng*, *1*(2), 154–180. https://doi.org/10.3390/civileng1020010

Sedira, N., Castro-Gomes, J., & Magrinho, M. (2018). Red clay brick and tungsten mining waste-based alkali-activated binder: Microstructural and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, *190*, 1034–1048. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.09.153

Soares, E. G. (2024). *Development of waste-based magnesium cement for CO 2 capture and storage Engenharia Civil*. http://hdl.handle.net/10400.6/14430

Sucupira Cristino, L., & Castro Gomes, D. (2021). *Materiais produzidos com cimento reciclado e RCD por carbonatação acelerada Engenharia Civil (2.º Ciclo de estudos)*. http://hdl.handle.net/10400.6/11789

Tajuelo Rodriguez, E., Garbev, K., Merz, D., Black, L., & Richardson, I. G. (2017). Thermal stability of C-S-H phases and applicability of Richardson and Groves' and Richardson C-(A)-S-H(I) models to synthetic C-S-H. *Cement and Concrete Research*, *93*, 45–56. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2016.12.005

Ubolsook, P., Podong, C., Sedpho, S., & Jansanthea, P. (2024). Assessing the environmental impact of construction waste management in northern Thailand: An approach to estimate greenhouse gas emissions and cumulative energy demand. *Journal of Cleaner Production*, *467*, 142961. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.142961

Yi, Z., Wang, T., & Guo, R. (2020). Sustainable building material from CO2mineralization slag: Aggregate for concretes and effect of CO2curing. *Journal of CO2 Utilization*, *40*. https://doi.org/10.1016/j.jcou.2020.101196

Yildirim, I. Z. (2024). Long-term and accelerated swelling of steel slag-glass powder and steel slag-fly ash mixtures as sustainable geo-materials. *Journal of Cleaner Production*, *467*, 142768. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2024.142768

ARTIGO Nº22203

DESENVOLVIMENTO DE UMA ESTRATÉGIA PARA PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, PARA CONSUMO HUMANO, NA CIDADE DA BEIRA – MOÇAMBIQUE

Albertina Amélia Alberto Nhavoto[1(*)], António Guerner Dias[2], Daniel Agostinho[3]

[1]Universidade Licungo, Faculdade de Ciências e Tecnologia- Beira, Moçambique
[2]Universidade do Porto, Faculdade de Ciências - Porto, Portugal
[3]Universidade Pedagógica de Maputo, Faculdade de Ciências Naturais e Matemática – Maputo, Moçambique
(*) *Email:* anhavoto@unilicungo.ac.mz

RESUMO

O desenvolvimento da sociedade aliado a evolução da agricultura e da indústria, ao aumento da densidade populacional e da procura dos recursos hídricos, tem vindo a trazer consequências em relação as alterações dos recursos hídricos como a contaminação das águas subterrâneas. O presente trabalho teve como objectivo desenvolver uma estratégia para protecção das águas subterrâneas nos Bairros suburbanos da cidade Beira, utilizadas para consumo humano. A estratégia adoptada para a protecção das águas subterrâneas nos Bairros suburbanos da cidade da Beira é a definição dos perímetros de protecção dos poços. Para a definição do perímetro de protecção dos poços dos Bairros suburbanos da cidade da Beira foi aplicado o método do Raio Fixo Arbitrário, por este ser o mais simples e mais ponderado.

***Palavras-chave**:* vulnerabilidade, águas subterrâneas, protecção, perímetro de protecção.

INTRODUÇÃO

Os hidrogeologistas estão envolvidos na protecção das águas subterrâneas contra a contaminação, especialmente no que diz respeito à água potável, desde há muito tempo.

Para proteger os aquíferos contra a poluição, é necessário restringir as práticas actuais e futuras de uso da terra, a descarga de efluentes e a deposição de resíduos sem qualquer controlo (Foster et al., 2002). Uma planificação integrada do uso da terra, das águas subterrâneas, de protecção e remediação dos solos, só é possível após um inventário das captações de água existentes, bem como das potenciais fontes poluentes presentes em determinada área (Zaporozec, 2002).

A protecção dos aquíferos envolve o conceito de perigo de contaminação, que pode ser definido pela interacção e associação entre a vulnerabilidade natural do aquífero e a carga de contaminante aplicada no solo (Foster et al., 2002).

A contaminação das águas subterrâneas é, na maioria dos casos, persistente e a recuperação da sua qualidade é geralmente muito lenta e difícil, pelo que se deverá optar pela adopção de medidas preventivas, nomeadamente a protecção das captações.

Os programas de protecção das águas subterrâneas, mais comuns e adoptados em vários países, consistem em duas acções básicas: uma voltada para o sistema de captação, considerando o perímetro de protecção que pode estabelecer-se ao redor da mesma e outra voltada para o aquífero, que é mais abrangente.

Em qualquer programa de protecção da qualidade da água subterrânea, o conhecimento das fontes potenciais da contaminação é crítico, já que são elas que geram as emissões de contaminantes para o ambiente subterrâneo. A protecção das águas subterrâneas nas áreas

urbanas é mais difícil no caso de aquíferos não confinados. A instalação e manutenção de rede de esgotos e eliminação segura de resíduos perigosos são medidas preventivas (Zaporozec, 2002).

De acordo com Dias et al. (2004), o controle do uso e ocupação do solo, por meio da restrição e fiscalização das actividades antrópicas, é uma das estratégias de protecção da água subterrânea, podendo ter dois enfoques. O primeiro é a protecção geral de um aquífero importante, identificando áreas mais susceptíveis de forma a promover um controle regional do uso do solo em toda a sua extensão. O segundo enfoque é a protecção pontual, voltada para uma captação de água subterrânea, em especial aquelas destinadas ao abastecimento público.

As medidas de protecção das águas subterrâneas devem considerar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, em função das suas características hidrogeológicas e dos riscos de contaminação efectivos ou potenciais associados às actividades humanas.

PERÍMETROS DE PROTECÇÃO DE CAPTAÇÕES DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

O perímetro de protecção é a área contígua à captação na qual se interditam ou condicionam as instalações e as actividades susceptíveis de poluírem as águas subterrâneas (Navarrete & García, 2003; Laureano, 2012).

Na definição de um perímetro de protecção para uma qualquer captação, seja ela de água para consumo humano ou não, podem ser experimentados diferentes métodos de base hidrogeológica. A delimitação de um perímetro de protecção é realizada recorrendo aos referidos métodos, mas ajustada a critérios económico-sociais, visto que não é razoável a definição de um perímetro em que as áreas, ou restrições impostas, possam ser excessivas e colidam com demasiados interesses da comunidade local.

Os métodos mais usados habitualmente baseiam-se em critérios (Ferreira et al., 2009):

a) Hidrogeológicos – implicam um bom conhecimento hidrogeológico da área e, em particular, do aquífero onde se encontram instaladas as captações; este método é particularmente eficaz sempre que os limites hidrogeológicos ocorram, ou sejam inferidos, nas proximidades das captações;

b) Geométricos – faz parte deste critério geométrico o método designado como método do Raio Fixo Arbitrário, que é habitualmente usado para a definição da zona imediata; é um método muito simples, pois consiste na definição de uma área circular (regra geral com raio inferior a 10 m), com centro posicionado sobre o centro da captação;

c) Matemáticos – os métodos baseados em critérios matemáticos.

A opção por um ou outro método depende, em grande medida, dos dados existentes e dos critérios que venham a ser utilizados na definição na delimitação do perímetro. Obviamente que, em condições normais e perante a abundância e fiabilidade de dados, pode sempre ser utilizado mais do que um método.

Os perímetros de protecção das captações de águas subterrâneas destinadas ao abastecimento público visam:

• Prevenir, reduzir e controlar a poluição das águas subterrâneas por infiltração de águas pluviais lixiviantes e de águas excedentes da rega e de lavagem;

• Potenciar os processos naturais de diluição e de autodepuração das águas subterrâneas;

• Prevenir, reduzir e controlar as descargas acidentais de poluentes;

• Proporcionar a criação de sistemas de aviso e alerta para protecção dos sistemas de abastecimento de água com origem nas captações de água subterrânea em situações de poluição acidental.

Os perímetros de protecção estão divididos por zonas com limitações de vários níveis:

• Zona de protecção imediata: no seu interior é proibido toda a actividade ou instalações, exceptuando as necessárias para execução e manutenção da captação;

• Zona de protecção intermédia: esta tem como objectivo a protecção contra a poluição microbiológica;

• Zona de protecção alargada: protege a captação da poluição de grande persistência (metais pesados, hidrocarbonetos, nitratos, materiais radioativas, etc.).

De acordo com Ferreira et al. (2009); Rodrigues et al (2019), grande dificuldade na definição de um perímetro de protecção, está na dificuldade de encontrar um equilíbrio sensato entre o conjunto, mais ou menos alargado, das restrições que podem ser elencadas para cada caso em particular e que venham a ser impostas pela existência de um perímetro de protecção e todas as actividades (sociais, económicas, culturais, etc.) que se encontram já implantadas numa determinada área/região. Quer isto dizer que definir um perímetro de protecção pode ser mais ou menos fácil, mas, na realidade, verdadeiramente difícil é conseguir fazer cumprir as restrições de utilização da superfície do terreno que esse perímetro possa vir a impor.

Esta é a situação com que nos deparamos no caso em análise, não só porque não existe legislação que suporte qualquer decisão, mas também porque as comunidades locais estão, quase sempre, habituadas a considerar a superfície do terreno como sendo algo que está disponível para seu uso pessoal.

DETERMINAÇÃO DA VULNERABILIDADE À CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para avaliação do índice de vulnerabilidade à contaminação dos aquíferos, onde se instalaram os poços dos dois bairros em estudo da cidade da Beira, recorreu-se à utilização do índice DRASTIC (Aller et al, 1987), que avalia e pondera parâmetros intrínsecos, reflexo das condições naturais do meio. Este índice, DRASTIC, pondera os sete parâmetros já referidos anteriormente:
- Profundidade do topo do Aquífero (D);
- Recarga do Aquífero (R);
- Litologia do Aquífero (A);
- Tipo de solo (S);
- Topografia (T);
- Impacto da Zona Vadosa (I);
- Condutividade hidráulica (C).

Igualmente e como já referido, a este conjunto de parâmetros, a nossa proposta acrescenta um novo parâmetro relacionado com a ocupação do solo: L de Land use, que é por nós considerado um parâmetro muito relevante para a área em estudo. Assim, a designação deste índice passará a assumir a forma de DRASTIC-L.

Deste modo, o valor do índice de vulnerabilidade DRASTIC-L será obtido pelo somatório dos produtos dos índices atribuídos a cada parâmetro e pelo peso ponderado desse mesmo parâmetro:

$$DRASTIC\text{-}L = DpDi + RpRi + ApAi + SpSi + TpTi + IpIi + CpCi + LpLi$$

Em que:

p – peso atribuído a cada parâmetros;
i – índice específico de cada parâmetro;
D, R, A, S, T, I, C, L – parâmetros a considerar.

Com base neste índice foi determinada a vulnerabilidade, considerando duas situações, uma situação normal e outra situação extrema. Para estas duas situações, normal e extrema, os parâmetros que contribuem para ela são a recarga, a topografia e a condutividade hidráulica atribuindo-lhes um índice de valor mais baixo para a situação normal e um índice de valor mais alto para a situação extrema. Refira-se, ainda, que para os restantes parâmetros os valores do índice são semelhantes quer seja situação normal ou extrema.
Assim, o índice DRASTIC-L varia desde um valor mínimo de 26 unidades (28 na situação extrema) correspondente ao produto do peso dos oito parâmetros (26 ou 28) pelo índice mínimo (1) de cada um deles o que equivale a uma vulnerabilidade mais baixa, até ao outro extremo com um valor máximo de 260 unidades (280 na situação extrema), correspondente ao produto do peso dos oito parâmetros (26 ou 28) pelo índice máximo (10) de cada um deles o que equivale a uma vulnerabilidade mais alta.
Este parâmetro, Land use (L), foi desenvolvido para o caso específico da cidade da Beira e, por estar ainda em fase experimental, foram-lhe atribuídos dois pesos, 3 e 5, que são designados respectivamente de Land use Light (LL) com peso 3 e Land use Heavy (LH) com peso 5. Isto, permitiu-nos obter dois intervalos de valores para o Índice de Vulnerabilidade DRASTIC-L: o IVDL e o IVDH. Na tabela1 apresentam-se os sub-intervalos de valores considerados para os dois índices DRASTIC: o Light e o Heavy.

Tabela 1. Classificação de vulnerabilidade.

IVD_L	26 - 100	101 - 140	141 - 180	181 - 220	221 - 260
IVD_H	28 - 100	101 - 140	141 - 180	181 - 220	221 - 280
Vulnerabilidade	Insignificante	Baixa	Moderada	Alta	Extrema

Nas tabelas 2 e 3 estão apresentados os valores assumidos para os parâmetros do índice DRASTIC-L e os respectivos valores de vulnerabilidade.

Tabela 2. Índice de vulnerabilidade à contaminação dos poços de Nhangau.

Poço	D		R		A		S		T		I		C		L		IVD_L	IVD_H
1 a 4	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Materiais com argila e areia em equilíbrio	5	Solo franco siltoso	4	< 2%	10	Equilíbrio entre argila e areia	5	4,1 m/dia a 12,2 m/dia	4	Residencial de densidade moderada	5	175	185
5 e 6	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Predomínio de materiais arenosos	8	Predomínio de materiais arenosos	9	< 2%	10	Materiais arenosos	8	40,7 m/dia a 81,5 m/dia	8	Residencial de densidade moderada	5	221	231
7 a 9	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Materiais com argila e areia em equilíbrio	5	Solo franco siltoso	4	< 2%	10	Equilíbrio entre argila e areia	5	4,1 m/dia a 12,2 m/dia	4	Residencial de densidade moderada e agricultura de subsistência	6	178	190
10 a 13	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Materiais com argila e areia em equilíbrio	5	Solo franco siltoso	4	< 2%	10	Equilíbrio entre argila e areia	5	4,1 m/dia a 12,2 m/dia	4	Residencial dispersa e agricultura de subsistência	5	175	185
14	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Predomínio de argilas	4	Solo franco argiloso	3	< 2%	10	Predomínio de argila e silte	3	4,1 m/dia a 12,2 m/dia	3	Residencial de densidade moderada	5	157	167

Tabela 3. Índice de vulnerabilidade à contaminação dos poços de Inhamízua.

Poço	D		R		A		S		T		I		C		L		IVD_L	IVD_H
1	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Predomínio de argilas	4	Solo franco argiloso	3	< 2%	10	Predomínio de argila e silte	3	4,1 m/dia a 12,2 m/dia	4	Residencial densa	6	163	175
2 a 5	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Presença de material arcósico com níveis conglome-ráticos	6	Solo franco	5	< 2%	10	Materiais arenosos, siltosos e argilosos com níveis mais grosseiros	6	12,2 m/dia a 28,5 m/dia	6	Residencial moderada-mente densa	5	191	201
6	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Predomínio de materiais arenosos	8	Predomínio de materiais arenosos	9	< 2%	10	Materiais arenosos	8	40,7 m/dia a 81,5 m/dia	8	Residencial moderada-mente densa	5	221	231
7 e 8	< 5	10	280mm a 320mm por ano	10	Presença de material arcósico com níveis conglome-ráticos	6	Solo franco	5	< 2%	10	Materiais arenosos, siltosos e argilosos com níveis mais grosseiros	6	40,7 m/dia a 81,5 m/dia	8	Residencial moderada-mente densa	5	197	207

METODOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO DOS PERÍMETROS DE PROTECÇÃO

A pesquisa foi realizada nos Bairros de Inhamizua e Nhangau na cidade da Beira, província de Sofala. São dois Bairros suburbanos, com problemas sérios no abastecimento de água potável. As populações desses Bairros normalmente recorrem às águas dos poços para consumo e para outros fins. Dai a pertinência de definir os perímetros de protecção dos poços nesses Bairros.

Os perímetros de protecção dos poços são delimitados ao redor dos mesmos, nas quais se tenta controlar o uso e a ocupação do solo relativamente às actividades que podem ser potencialmente contaminantes das águas.

Para a definição física do perímetro de protecção deve ter -se em conta as características geológicas e hidrogeológicas do aquífero. Na delimitação dos perímetros de protecção recorre-se, basicamente, aos critérios distância à captação, ao rebaixamento do nível hidrostático provocado pela extracção da água, ao tempo de deslocamento/propagação de um eventual contaminante e às características hidrogeológicas (Laureano, 2012). Contudo e como já referido, estes critérios devem ser ajustados a critérios económico-sociais, visto que não é razoável a definição de um perímetro de protecção, com o intuito de proibir determinadas actividades na área respectiva, que venham a ser excessivas e possam colidir com os interesses da comunidade local (Rodrigues et al, 2019).

Para definição do perímetro de protecção dos poços para a área de estudo, antes foi determinadoo índice de vulnerabilidade à contaminação e a contaminação da água dos poços (físico-química e microbiológica) , de modo a avaliar se os poços com índice de vulnerabilidade mais alto também apresentavam um nível mais elevado de contaminação.

Deste modo, para a definição do perímetro de protecção dos poços dos bairros de Nhangau e de Inhamízua, para lá dos critérios definidos anteriormente, considera-se que devemos ter em consideração, de forma decrescente de prioridade, ainda os seguintes:

i. definir o perímetro de protecção para as captações que apresentem um índice de vulnerabilidade (IVDL ou IVDH) alto ou extremo;

ii. definir o perímetro de protecção para as captações que apresentaram, nas diferentes campanhas realizadas, contaminação bacteriológica mais acentuada;

iii. definir o perímetro de protecção para as captações que apresentaram, nas diferentes campanhas realizadas, contaminação de origem físico-química mais acentuada;

iv. definir o perímetro de protecção para as restantes captações.

Sendo a área de estudo uma zona predominantemente residencial, com uma densidade de ocupação moderadamente densa a densa, tendo em conta tudo o que foi dito até agora, leva-nos a propor apenas a delimitação da zona de protecção imediata, ficando a zona de protecção intermédia e a zona de protecção alargada sem aplicação. Deste modo, tendo em conta os diferentes métodos, possíveis de aplicar para a definição dos perímetros de protecção, o método do Raio Fixo Arbitrário. De todos os métodos para delimitação de um perímetro de protecção este é o mais simples e, ao mesmo tempo, o mais ponderado, sendo ainda um método económico, rápido e que não necessita de muita informação nem exige grande experiência.

O método do raio fixo consiste na definição de uma área circular, centrada na captação, onde o raio é escolhido arbitrariamente (normalmente inferior a 10 metros). Segundo alguns autores, o método é muito utilizado para a definição da zona imediata e por vezes usado para definir uma área de protecção provisória durante uma fase preliminar. Como não considera as condições hidrogeológicas locais pode gerar "alguns" erros (Rodrigues et al 2019). Os erros, entre outros motivos, devem-se principalmente ao facto de o raio ser escolhido arbitrariamente e, assim, o perímetro poder não ser o ideal para a zona a proteger. Para a delimitação do perímetro podem ser realizados vários estudos, mas, contudo, este método nem sempre toma em consideração os dados e os resultados provenientes desses estudos (Laureano, 2012).

O método do raio fixo recorre à seguinte expressão matemática:

$R= \sqrt{((Q.t) / (\pi.n.H))}$

Em que:

R – raio do perímetro de protecção (metros);

Q – caudal de bombagem/exploração (m3/dia);

t – tempo necessário para um poluente atingir a captação (dias);

n – porosidade eficaz (%);

H – espessura saturada na captação (metros).

Apesar dos valores do índice de vulnerabilidade, obtidos para os diferentes poços, ser variável desde vulnerabilidade moderada a extrema, também, pelo facto de a água ter sido intersectada a reduzida profundidade (< 5,0 m), consideramos que o perigo de contaminação, nas proximidades dos poços, é elevado. Assim, é necessário definir as zonas de protecção imediata para cada um dos poços considerados neste estudo.

Antes de apresentar os resultados para o raio/dimensão da zona de protecção imediata, é necessário considerar algumas premissas (que seriam válidas para o cálculo de qualquer uma das zonas de protecção), entre as quais:

i) Q – caudal de extracção: em vez de um caudal de bombagem, uma vez que na maior parte dos poços a extracção de água é efectuada de modo manual sem recurso a bomba, em vez de um caudal de bombagem consideraremos um caudal de bombagem, que deve corresponder, grosso modo, ao somatório das necessidades em água de cada habitante que pode utilizar o conjunto de poços existentes em cada bairro; a) no caso do Bairro de Nhangau esse valor

corresponderá ao consumo dos 4.890 habitantes caso estes usam-se apenas os 14 poços considerados no estudo; assim, se admitirmos que cada habitante para conseguir condições de vida minimamente dignas precisa de 100 L/dia, em Nhangau serão precisos 489.000 L/dia o que, considerando os 14 poços, cada poço poderá ser solicitado em cerca de 34.929 L/dia o que corresponde a, sensivelmente, 0,4 L/s, valor perfeitamente suportável por qualquer poço executado em formações geológicas semelhantes às encontradas em Nhangau; contudo, considerando a existência de outros poços em Nhangau, o triplo dos poços, vamos admitir que a sua solicitação seja de apenas 33% daquele valor, o que dá, 5.821 L/dia; b) no caso do Bairro de Inhamízua, as condições serão um pouco diferentes; por um lado o número de habitantes é manifestamente superior (31.995 habitantes) mas, por outro lado, um pouco menos de metade ainda não tem acesso à água (48%, o que corresponde a 15.358 habitantes); este número de habitantes, usando os oito poços considerados neste estudo, admitindo um consumo diário necessário para que cada habitante consiga condições de vida minimamente dignas, correspondente aos mesmos 100 L/dia, quer dizer que em Inhamízua serão necessários 1.535.800 L/dia o que, considerando os 8 poços, cada poço poderá ser solicitado em cerca de 191.975 L/dia o que corresponde a, sensivelmente, 2,2 L/s, valor relativamente elevado e que pode ser difícil de suportar pelos poços pouco profundos e executados nas formações geológicas de Inhamízua;

ii) t – tempo: o tempo será uma unidade fixa e que é função da zona de protecção que estejamos a calcular, neste caso a zona de protecção imediata; normalmente, para este parâmetro e para a zona de protecção imediata, considera-se que um hipotético poluente poderá demorar, em média, cerca de um dia a atingir a captação, desde que o mesmo seja "colocado" no limite da zona de protecção em causa;

iii) n – porosidade eficaz: é a percentagem do volume total de uma formação geológica que é ocupada por poros com ligação entre si e através dos quais se pode estabelecer um fluxo de água; o valor da porosidade eficaz, uma vez que não se colheram amostras nem se realizaram ensaios de laboratório para a sua determinação, foi estimado com base em elementos constantes na bibliografia da especialidade; o Decreto-Lei nº 382/99 da República Portuguesa, recomenda, para aquíferos com características diversas, valores variando num intervalo entre 0,05% até valores da ordem dos 0,25%; este intervalo de valores é aceitável para as áreas imediatas junto às captações, considerando o limite de 0,05% para os terrenos de forte componente argilosa e o valor de 0,25% para os terrenos onde predomina uma maior componente arenosa;

iv) H – espessura saturada na captação: a espessura saturada na captação, considerando que a água, nestes dois bairros, é intersectada a uma profundidade muito baixa, ou seja, o nível freático ocorre a uma profundidade muito próxima da superfície, vamos considerar que os poços se encontram saturados em, no mínimo 80% da sua profundidade e, assim, a espessura saturada, considerando uma profundidade média de cerca de 5,0 m para o poço, poderá ser da ordem dos 4,0 m, valor que, pelo menos na época de águas altas, será muito próximo da realidade.

Deste modo, usando a expressão que permite determinar o raio do perímetro de protecção e tendo em conta os valores dos parâmetros atrás definidos, o raio da zona de protecção imediata será de acordo com o que se apresenta na tabela 4 e na tabela 5, respectivamente para o Bairro de Nhangau e para o Bairro de Inhamízua.

Tabela 4. Determinação do raio e da área da Zona de Protecção Imediata para os poços do Bairro de Nhangau.

Poço	Q (m^3/dia)	t (dia)	n (%)		H (m)	R (m)	A (m^2)
1 a 4	34,9	1	Equilíbrio entre argila e areia	0,15	~4,0	4,30	58,1
5 e 6	34,9	1	Materiais arenosos	0,25	~4,0	3,33	34,8
7 a 9	34,9	1	Equilíbrio entre argila e areia	0,15	~4,0	4,30	58,1
10 a 13	34,9	1	Equilíbrio entre argila e areia	0,15	~4,0	4,30	58,1
14	34,9	1	Predomínio de argila e silte	0,10	~4,0	5,27	87,2

Tabela 5. Determinação do raio e da área da Zona de Protecção Imediata para os poços do Bairro de Inhamízua.

Poço	Q (L/dia)	t (dia)	n (%)		H (m)	R (m)	A (m^2)
1	192,0	1	Predomínio de argila e silte	0,10	~4,0	12,36	479,7
2 a 5	192,0	1	Materiais arenosos, siltosos e argilosos com níveis mais grosseiros	0,20	~4,0	8,74	239,9
6	192,0	1	Materiais arenosos	0,25	~4,0	7,82	192,0
7 e 8	192,0	1	Materiais arenosos, siltosos e argilosos com níveis mais grosseiros	0,20	~4,0	8,74	239,9

Os valores obtidos para o raio da zona de protecção imediata, para cada uma das captações, parece-nos perfeitamente implantável no terreno pelo que, deste modo, iremos relacioná-lo com a vulnerabilidade e com o estado de contaminação de cada uma das captações, de modo a ajustá-lo à realidade local. Nas duas tabelas anteriores, os poços encontram-se agrupados de acordo com a sua vulnerabilidade DRASTIC-L que resulta, em particular, das características geológicas e hidrogeológicas da área conjugadas com a ocupação da superfície. Na análise

conjugada do raio do perímetro de protecção, com a vulnerabilidade e o estado de contaminação, analisaremos cada poço de modo individualizado, atribuindo-lhe um estado de contaminação meramente qualitativo de acordo com os resultados analíticos obtidos. Deste modo, propõe-se alterar o valor do raio do perímetro de protecção calculado, passando a um raio do perímetro de protecção proposto, de acordo com os seguintes critérios:

i) Sempre que o poço apresente uma vulnerabilidade extrema, qualquer que seja o seu estado de contaminação, o raio calculado é aumentado em 50%;
ii) Sempre que o poço apresente uma vulnerabilidade alta com um estado de contaminação grave, o raio calculado é aumentado em 50%;
iii) Sempre que o poço apresente uma vulnerabilidade moderada com um estado de contaminação grave, o raio calculado é aumentado em 50%.

Assim, para os poços de Nhangau, os resultados são os que se apresentam na tabela 6.

Tabela 6. Determinação do raio proposto para a área da Zona de Protecção Imediata para os poços do Bairro de Nhangau.

Poço	Vulnerabilidade DRASTIC-L (*)	Estado de contaminação	Raio calculado (m)	Raio proposto (m)
1	Alta	Admissível	4,30	4,30
2	Alta	Admissível	4,30	4,30
3	Alta	Grave	4,30	6,45
4	Alta	Grave	4,30	6,45
5	Extrema	Admissível	3,33	4,99
6	Extrema	Admissível	3,33	4,99
7	Alta	Admissível	4,30	4,30
8	Alta	Admissível	4,30	4,30
9	Alta	Admissível	4,30	4,30
10	Alta	Admissível	4,30	4,30
11	Alta	Admissível	4,30	4,30
12	Alta	Admissível	4,30	4,30
13	Alta	Admissível	4,30	4,30
14	Moderada	Grave	5,27	7,91

(*) – índice de vulnerabilidade considerando a situação extrema e calculado para o IVD_H.

No caso dos poços de Inhamízua, tal como se pode verificar pelos resultados que se apresentam na tabela 7, a situação é um pouco diferente, em particular no que diz respeito ao poço 6, uma vez que aqui se conjuga uma vulnerabilidade extrema com um grau de contaminação grave. Deste modo, propõe-se alterar o valor do raio do perímetro de protecção calculado, passando a um raio do perímetro de protecção proposto, de acordo com os mesmos critérios que foram definidos para Nhangau, acrescentando apenas um outro que pretende responder ao que se passa com o poço 6. Assim:

iv) Sempre que o poço apresente uma vulnerabilidade extrema, com um estado de contaminação grave, o raio calculado deve ser aumentado em 100%.

Por sua vez, para os poços de Inhamízua, os resultados são os que se apresentam na tabela 7.

Tabela 7. Determinação do raio proposto para a área da Zona de Protecção Imediata para os poços do Bairro de Inhamízua.

Poço	Vulnerabilidade DRASTIC-L (*)	Estado de contaminação	Raio calculado (m)	Raio proposto (m)
1	Moderada	Admissível	12,36	12,36
2	Alta	Admissível	8,74	8,74
3	Alta	Admissível	8,74	8,74
4	Alta	Grave	8,74	13,11
5	Alta	Admissível	8,74	8,74
6	Extrema	Grave	7,82	15,64
7	Alta	Grave	8,74	13,11
8	Alta	Admissível	8,74	8,74

Conforme foi atrás referido, os poços situam-se na maior parte das situações em áreas em que a vulnerabilidade é alta, ocorrendo duas situações em que a vulnerabilidade é moderada e três em que a mesma é extrema. Estes dados constituem uma grande preocupação com a qualidade das águas extraídas nesses poços, porque facilmente os contaminantes presentes na superfície do terreno podem ser infiltrados. Assim, a definição do perímetro de protecção, mesmo que apenas o correspondente à zona imediata, constitui uma medida que, seguramente, permitirá minimizar qualquer problema que venha a ocorrer à superfície. Deste modo, considera-se a possibilidade de definir um perímetro de protecção para todos os poços. Contudo, pode ser equacionada esta possibilidade em relação a:

a) Poços 3 e 4 de Nhangau – esta é uma situação delicada, uma vez que conjuga um índice de vulnerabilidade alto com uma contaminação grave; assim, após a implementação do perímetro de protecção, a monitorização do estado físico-químico e bacteriológico das águas subterrâneas deve continuar, até se obter um estado de contaminação que permita a utilização das águas sem qualquer limitação e, mesmo após esta situação, considerando o índice de vulnerabilidade a monitorização deve ser regular e periódica;

b) Poços 5 e 6 de Nhangau – esta é uma situação também delicada, uma vez que conjuga um índice de vulnerabilidade extremo com uma contaminação admissível; à semelhança dos poços 3 e 4, após a implementação do perímetro de protecção, a monitorização do estado físico-químico e bacteriológico das águas subterrâneas deve continuar, até se obter um estado de contaminação que permita a utilização das águas sem qualquer limitação e, mesmo após esta situação, considerando o índice de vulnerabilidade a monitorização deve ser regular e periódica;

c) Poços 14 de Nhangau – esta é uma situação também delicada, mesmo tendo em conta que o índice de vulnerabilidade é moderado, mas a contaminação é grave; à semelhança dos restantes poços de Nhangau, após a implementação do perímetro de protecção, a monitorização do estado físico-químico e bacteriológico das águas subterrâneas deve continuar, até se obter um estado de contaminação que permita a utilização das águas sem qualquer limitação;

d) Poço 6 de Inhamízua – esta é a situação mais grave de todas, uma vez que conjuga um índice de vulnerabilidade extremo com uma contaminação grave; considerando que o raio do perímetro de proteção proposto é de 14,28 m, raio este relativamente grande, tal pode ser

incompatível com as actividades que se desenrolam à superfície e, assim, a solução poderá passar pelo encerramento do poço;

e) Poços 4 e 6 de Inhamízua – esta é uma situação delicada, uma vez que conjuga um índice de vulnerabilidade alto com uma contaminação grave; assim, após a implementação do perímetro de protecção, a monitorização do estado físico-químico e bacteriológico das águas subterrâneas deve continuar, até se obter um estado de contaminação que permita a utilização das águas sem qualquer limitação e, mesmo após esta situação, considerando o índice de vulnerabilidade a monitorização deve ser regular e periódica.

Finalmente, após estas considerações, apenas reforçar a necessidade da implantação física do perímetro de protecção, leia-se zona imediata de protecção, sobre o terreno. Tratando-se de uma zona imediata, a mesma deverá ser vedada com uma rede e, no interior do perímetro, todas as actividades que não sejam a extração de água, deverão ser liminarmente impedidas.

CONCLUSÕES

A utilização, cada vez mais frequente, das águas subterrâneas nos bairros suburbanos da cidade da Beira como recurso ao abastecimento de água para consumo humano, extraída em poços vulneráveis à contaminação é uma alternativa insegura para tentar suprir o défice de provimento de água tratada proveniente do abastecimento público. Este facto leva a que seja de todo desejável o investimento na protecção das captações de água subterrânea que permita uma utilização duradoura, de longo prazo e que garanta a não contaminação desta. Esta protecção poderá ser assegurada implementando-se perímetros de protecção dos poços o que, sendo uma zona residencial de densidade relativamente elevada, implica que se delimite apenas a zona de protecção imediata, pois a definição da zona de protecção intermédia e a zona de protecção alargada iria colidir, fortemente, com as actividades que, à superfície, aqui se desenvolvem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Porto por acolhimento durante a realização do estágio avançado do doutoramento e a Universidade Licungo por suporte financeiro concedido para a efetivação do mesmo.

REFERÊNCIAS

Aller, L., Lehr, J. H., Petty, R., & Bennett, T. (1987). DRASTIC: A STANDARDIZED SYSTEM TO EVALUATE GROUND WATER POLLUITION POTENTIAL USING HYDROGEOLOGIC SETTINGS. EUA.

Dias, C. L., Iritani, M., Guillaumon, J. R., Casarini, D. C. P., Okano, O., Ferreira, L. M. R., … Schuler, G. (2004). Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aqüíferos: conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo. 13 Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 1–19.

Ferreira, J. P.., Leitão, T. e., Oliveira, M. M., Rocha, J. S., & Barbosa, A. E. (2009). Protecção Das Origens Superficiais E Subterrâneas Nos Sistemas De Abastecimento De Água.

Foster, S., Hirata, R., Gomes, D., Paris, D. E. M., Gomes, D., Elia, M. D., & Paris, M. (2002). Protección de la Calidad del Água Subterránea Protección de la Calidad del Água Subterránea.

Laureano, Z. M. (2012). Metodologia Para Delimitar Perímetros De Protecção De Captações De Água Subterrânea - Aplicação Ao Aquífero Mio-Pliocénico Do Tejo. 183

Navarrete, C. M., & García, Á. G. (2003). Perímetros de protección para captaciones de água subterránea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio. Madrid.

Rodrigues, B.; Silva, S., Palma, I.; Ferreira, S. A. (2019). Estudo Geológico, Estrutural e Hidrogeológico para a definição do perímetro de proteção das Caldas das Murtas.

Zaporozec, A. (2002). Groundwater Contamination Inventory: A Methodological Guide. IHP-IV Series on Groundwater No.2. Unesco Ihp-Vi, Series on Groundwater, 2, 161. Retrieved from http://www.sepa.org.uk/land/land_publications.aspx

ARTIGO Nº22210

DIMENSIONAMENTO DE FILTRO DESCENDENTE PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS

Lulu Lino Dingane[1]; Salvador Carlo Grande [2]

[1] Discente da Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT-Campus de Matacuane, 607. Beira, Moçambique.
[2]Docente de Engenharia de Processos Industriais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Zambeze, Campus de Matacuane, 607.Beira -Moçambique
(*) salvador.graande@uzambeze.ac.mz

RESUMO

A filtração é uma tecnologia de custo compatível com a realidade rural, que se adapta a alterações na qualidade da água e não necessita de operação e manutenção muito especializada. Actualmente, apesar dos enormes avanços nas tecnologias de tratamento de água, que se desenvolvem, ainda há muito o que se fazer na busca de água potável para a população da zona rural. A filtração lenta é uma tecnologia para a potabilização de água utilizada há séculos e ainda considerada eficiente. E os resultados mostraram que o filtro dimensionado com volume util de 1500 mL, tempo hidráulico de 57min, taxa otima de filtraçao de $4.25\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^2*\mathrm{dia}}$, mostrou-se optimo para as necessidades da população rural.

***Palavras-chave**:* incertezas, problema inverso, redes neuronais, delineamento uniforme.

INTRODUÇÃO

Pela simplicidade, Segundo Rodrigues (2022), a filtração lenta tem potencial para ser amplamente utilizada como tratamento de água na zona rural, foi neste ambito que foi realizado um estudo de dimensionamento do filtro descendente devido a sua importância no tratamento de água, para uma comunidade rural, e no caso especifico a Localidade de Bêbedo no Distrito de Nhamatanda na Província de Sofala. Para Amui, (2016) e Piancó, (2023) os filtros lentos (FL) recebem esse nome devido a sua baixa taxa de filtração, que permite a remoção de material suspenso na superfície e de patógenos através do seu mecanismo físico. O presente estudo visa realizar o dimensionamento de filtro descendente para tratamento de água para uso domiciliar utilizando o método de filtração lenta.

Segundo Freitas (2021), As tecnologias de tratamento de água (Point-of-Use – POU) surgem como abordagens para melhorar a qualidade e a segurança da água de consumo a populações isoladas. As opções de tratamento de água em função de critérios de sustentabilidade como qualidade e quantidade de água tratada, facilidade de uso, custo e cadeia de suprimentos, podem ser cloração, combinação de processos de coagulação, desinfecção solar (SODIS), filtro de cerâmica e Filtro Lento Domiciliar (FLD). Dentre estas, o FLD foi considerada como a tecnologia mais sustentável por exigir investimento apenas para sua compra/construção e produzir água de qualidade em quantidade suficiente, de forma simples e em pouco tempo.

Segundo Piancó (2019), existem uma gama de tecnologias POU que podem se implementadas nas comunidades-alvo. As principais incluem técnicas de desinfecção (por cloro, e solar) e filtração (em cerâmica, em areia, impregnada com prata e por membranas em gravidade), além de combinações entre os processos de coagulação e desinfecção. No entanto, a tecnologia mais

apropriada para cada população dependerá da qualidade da água bruta, da disponibilidade dos materiais e equipamentos necessários, do tempo em que será operado, das características sociais (costumes, preferências e escolaridade) e da disponibilidade de pessoal para fornecer treinamento e monitoramento para que a tecnologia seja implementada com sucesso, e no geral a tecnologia envolvida nos processos de funcionamento de filtros descendentes é a filtração lenta.

FILTRAÇÃO LENTA

Segundo Amui (2016) a filtração lenta é um tratamento simplificado no qual a água passa por um meio filtrante de granulometria fina, onde a purificação é feita através de mecanismos biológicos, físicos e químicos. A filtração lenta, também conhecida como filtração biológica, é uma técnica de tratamento de água que visa a remoção de impurezas a partir de um conjunto de mecanismos biológicos, físicos e químicos. Nesse processo, são empregados meios granulares, geralmente de granulometria fina, por onde a água escoa em baixa velocidade (Piancó 2023).

Actualmente a técnica da filtração lenta é utilizada, principalmente, para a potabilização de água em comunidades rurais com escassez de recursos para a instalação de um sistema público de abastecimento, onde a instalação e operação desse tipo de tecnologia é algo inviável do ponto de vista económico. Recentemente, a filtração lenta vem sendo reconhecida por sua capacidade de remover contaminantes emergentes (FUNASA, 2019; Summers, 2014).

A estrutura dos filtros lentos é basicamente constituída por uma entrada de água bruta, um meio filtrante geralmente de areia, uma camada sobrenadante que garante que a camada biológica permaneça afogada, uma camada drenante, um sistema de drenagem com saída localizada acima do nível da areia, garantindo a lâmina de água sobrenadante. Juntamente ao filtro, é necessário um reservatório de água limpa, que pode ou não estar acoplado a estrutura dele. Geralmente o fluxo da água é descendente, feito por gravidade. Os filtros podem ter taxas fixas ou variáveis, assim como o nível de água afluente também pode variar ou não. A Figura 1 ilustra os elementos básicos de um filtro lento, constitudos basicamente de camada drenante, meio filtrante e agua sobrenadante, cuja entrada e saida estão na parte superior e inferior respectivamente.

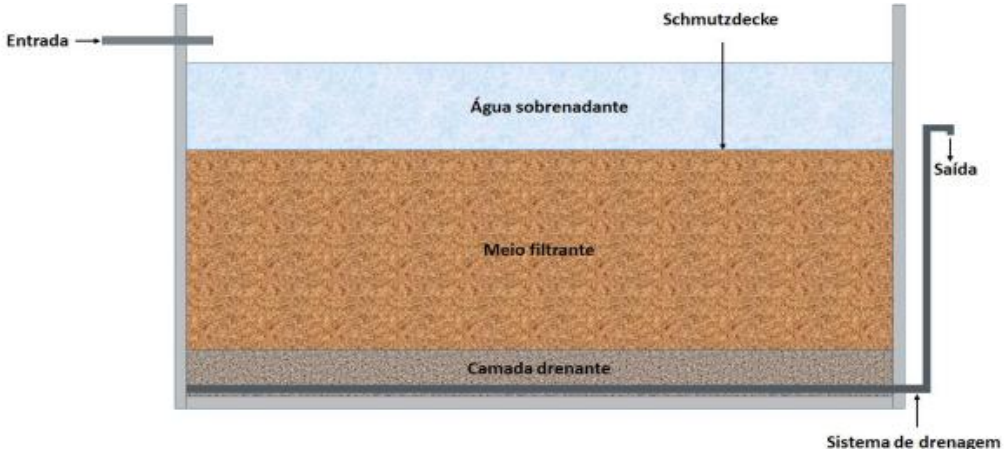


Figura 1: Elementos básicos de um filtro lento de areia.Fonte: Amui 2016.

Segundo Haarboff (1991) a principal característica de funcionamento da filtração lenta é a baixa taxa de filtração, que gera um elevado tempo de detenção. O tempo de contacto entre a camada

filtrante e a água bruta permite o desenvolvimento de organismos de diferentes espécies dentro do filtro. A camada biológica que se cria na superfície do meio filtrante é denominada schmutzdecke e é a principal responsável pela remoção de partículas e microrganismos contidos na água bruta.

A operação dos filtros de areia exige um período de amadurecimento da schmutzdecke e limpeza periódica. O tempo de amadurecimento é importante para que os mecanismos de remoção dependentes da camada biológica funcionem adequadamente. Esse período pode variar de alguns dias a dois meses, dependendo das características do filtro, da água bruta e do clima. Para Medeiros *et al*. (2020) associaram o conceito de filtros contínuos com manta não-tecida com a redução de leito com redução de vinte e cinco centímetros (25 cm) e manta não-tecida no topo. Os autores demonstraram a eficiência dessa configuração compacta para remoção de partículas e microrganismos (i.e., bactérias e protozoários).

MECANISMOS DE FILTRAÇÃO

É através da filtração da água, no qual a mesma passa por uma região porosa, normalmente composta de areia, todavia, pode ser utilizada outro material como meio filtrante. Há também a possibilidade de empregar mais de uma camada, sendo da mesma substância em granulometria diferente ou de diferentes materiais, O objectivo é reter ou remover algumas das impurezas contidas na água (Cesar, 2019; Schorr, 2022).

O método de remoção das partículas presentes na água é de duas maneiras principais, sendo mecanismos de transporte (coagem, sedimentação, interceptação, difusão, forças hidromecânicas e impacto inercial) e aderência (forças de van der Waals, forças eletroestáticas e pontes químicas), mas é importante frisar, que filtração por si só não é suficiente para remover todas as impurezas contidas na água. Há também um mecanismo biológico que está atrelado ao mecanismo de transporte, situado no topo do meio filtrante. Sendo considerado por alguns autores como a principal etapa de tratamento da água durante a filtração lenta, em razão da capacidade de remover eventuais patógenos causadores de doenças (Lima, 2020).

Segundo Lima (2020), a água escoa por uma cavidade porosa no qual as partículas presentes no fluido se sedimentam durante o percurso no leito filtrante, enquanto outras partículas maiores ficam retidas na parte superior do filtro. Além disso, outros factores influenciam nos demais mecanismos, como a temperatura da água e velocidade de escoamento. Os mecanismos citados são constituidos por seguintes elementos:

Coagem : É um efeito de carácter físico, no qual as partículas maiores presentes na água são retidas na camada superior do leito filtrante;

Interceptação : Conforme a água passa pelo sistema de filtração, o fluido ganha velocidade, logo a energia cinética também aumenta, fazendo com que as partículas menores se juntem, formando então partículas maiores que não são capazes de passar por meio dos poros do leito filtrante;

Difusão: O movimento browniano cujo as partículas menores seguem um caminho aleatório, devido ao aumento da energia térmica, são transportadas para a superfície dos grãos de areia ou de qualquer meio filtrante alternativo;

Impacto inercial: Ocorre quando a partícula presente na água possui alta densidade e diâmetro grande, fazendo com que permaneça em seu trajecto independente das curvas que o fluido faz,

ou seja, fica em inércia, logo acontece um impacto da partícula com o grão do meio filtrante que consiste em sua retenção;

Forças hidrodinâmicas: As partículas maiores não esféricas, começam a rotacionar em torno de si mesmas, fazendo uma vibração aleatória similar ao movimento browniano, podendo estimular a colisão com a superfície dos grãos.

Conforme a água se desloca através do sistema de tratamento, ocorrem fenómenos físico-químico entre as partículas presentes no afluente com os grãos do meio filtrante. Portanto, os mecanismos de aderência permitem que as partículas interajam entre si, através de ligações químicas, podendo citar as forças de van der Waals, forças de origem electrostática, pontes de hidrogénio, que e maneira geral, a sua atuação contribuem para eficiência do filtro no processo de remoção de impurezas presentes na água (Lima 2020).

PARÂMETROS DE DIMENSIONAMENTO DO FILTRO

Segundo o Lamonier (2019) o dimensionamento dos filtros segue critérios de cálculos básicos da dinâmica do filtro.

Equação 1 para a concepção da área:

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} \qquad (1)$$

Onde:

A- Representa a área da secção do escoamento (m^2);
D- Representa o diâmetro da seção de escoamento (m).

Equação 2 e 2.1 é empregada para concepção do volume

$$V_{Cilindro} = \pi * r^2 * h \qquad (2)$$

h −Rrepresenta altura.

E para concepção da velocidade de filtração:

$$v = \frac{\Delta h}{\Delta t} \qquad (3)$$

Onde:

v-representa velocidade de filtração $(\frac{m}{s})$

Δh-Representa variação de espaço m;

Δt-Representa a variação de tempo (min).

Equação 4 para concepção da vazão operacional

$$Q = v * A \qquad (4)$$

Onde:

Q-Vazão $(\frac{m^3}{min})$;

v-Representa velocidade de filtração $(\frac{m}{s})$

A- Representa a área da secção do escoamento (m^2).

Para concepção da taxa de filtração:

$$T_f = \frac{Q}{A} \qquad (5)$$

MATERIAIS E METODOS

O quadro seguinte, motra os materiais e equipamentos utilizados no dimensionamento de filtro Proposto no presente estudo, segundo Lamonier, (2019);

Quadro 1: Materiais e equipamentos

Materiais e Equipamentos	Especificação
Chapa galvanizada	0.4 mm de espessura
Válvula de retenção	2.3 cm de diâmetro
Brita	12 457.5 g
Carvão vegetal	3 329.0 g
Areia	18 965.5 g
Manta sintética	10.0 cm de espessura
Água do Rio	7.5 l
Água do poço	12 l
Colher	1 un
Bandejas	4 un
Estufa	1 un
Balanças	2 un
Peneiros	15 un
Compactador	1 un
Turbidimetro	1 un
pH-metro	1 un
Condutivimetro	1 un
Água destilada	1.5 l
Recipientes plásticos	4 un

Fonte: Autor (2024)

DIMENSIONAMENTO DO FILTRO

Para a efectivação do processo de dimensionamento do protótipo de filtro descendente seguiu-se seguintes passos:

1. **Determinação da área da secção transversal do filtro:** De modo a determinar a área da secção transversal do filtro para o escoamento da água durante o processo da filtração lenta, aplicou-se a equação numero 1.
2. **Escolha dos materiais filtrantes:** As camadas filtrantes foram compostas por brita, carvão activado, areia e manta sintética, sendo que cada camada filtrante teve a seguinte função:
3. **Brita**: A escolha da brita como uma das camadas filtrantes se deu devido a sua capacidade de remoção de sólidos suspensos presentes na água;
4. **Carvão activado:** A escolha da implementação do carvão activado foi feito devido a sua capacidade de adsorção de substâncias orgânicas que são responsáveis pelo sabor e odor da água;
5. **Areia:** A areia foi escolhida devido a sua função de remoção da cor aparente, turbidez e partículas suspensas na água.
6. **Manta sintética:** E por fim a manta sintética foi escolhida para finalização o processo da filtração lenta, dando uma correcção final da água filtrada.
7. **Determinação do volume do filtro:** As equações 2 e 2.1 foram utilizadas para o calculo do volume total do filtro, sendo que a equação 2 aplicou-se para a determinação do volume da parte cilíndrica do filtro e a equação 2.1 foi utilizada para a determinação do volume da parte cónica do filtro, para a determinação do volume ocupado pelas camadas filtrantes também aplicou-se as mesmas equações.
8. **Determinação da velocidade, vazão e taxa de filtração:** De modo a se achar os dados operacionais da velocidade, vazão, e taxa de filtração nas quais o filtro opera, utilizou-se as equações 3, 4 e 5 respectivamente.

Etapas Construtivas:
Para a construção do filtro utilizou-se uma chapa metálica galvanizada de 70 cm de comprimento e 66 cm de largura, a pois a medição, efectuou-se a dobra da chapa metálica galvanizada para o formato de um cilindro com o diâmetro de 21 cm. Posteriormente fez-se um corte de uma outra chapa metálica galvanizada de 18 cm de comprimento e 68 cm de largura para a formação do cone com diâmetro de 22 cm, que possui um orifício de 2.5 cm na parte inferior do cone para poder facilitar o escoamento da água durante o processo de filtração, o cone feito foi acoplado na parte inferior do filtro.

Após a acoplagem do cone fez-se a construção do reservatório da água filtrada, onde fez-se corte de chapa metálica galvanizada de 21 cm de comprimento e 68 cm de largura, formando-se um tanque reservatório com diâmetro igual a 23 cm, colocou-se uma válvula de retenção a 1.5 cm da base do reservatório para o controlo do fluxo da água. Seguiu-se a construção do tanque reservatório fez-se a construção da baze do filtro com 50 cm de comprimento dos pés e 25 cm de diâmetro para poder-se afixar o filtro durante o seu processo de operação. A figura 3 ilustra o protótipo da construção externa do filtro que possui 3 352.5 g de massa.



Figura 3 : Construção externa do filtro. **Fonte:** Autor (2024)

Montagem das camadas filtrantes

Para a montagem das camadas filtrantes, primeiramente fez-se a lavagem da manta sintética, a lavagem da areia, e a lavagem da brita. Após a lavagem das camadas passou-se para a montagem das camadas filtrantes no interior do filtro, seguindo-se as seguintes etapas:

- Primeiramente colocou-se a manta tecida com espessura de 8 cm para o fundo cónico e 10 cm na parte cilíndrica, com massa total de 158.4 g como a primeira camada filtrante;
- De seguida colocou-se a areia com espessura de 20 cm com massa equivalente a 5 262.5 g como a segunda camada filtrante;
- Acima de areia colocou-se o carvão activado com espessura de 8 cm com massa equivalente a 1 665.0 g como a terceira camada filtrante, tendo se finlizado com montagem da brita com espessura de 5 cm massa equivalente a 2 968.5 g como a ultima camada filtrante.

Avaliação da eficiência do filtro descendente

Para a avaliação da eficiência do filtro fez-se as análises dos parâmetros físicos e organolepticos da água antes e depois do processo de filtração lenta para posterior comparação dos resultados obtidos com os resultados tabelados pela Legislação Moçambicana.

RESULTADOS DO DIMENSIONAMENTO DO FILTRO DESCENDENTE

A tabela 4 mostra os resultados de forma resumida do dimensionamento do filtro descendente, ou seja o filtro lento.

Tabela 1: Resultados do dimensionamento do filtro descendente

Material	Espessura (cm)	Raio (cm)	Área (cm^2)	Volume (cm^3)
Água sobrenandante	29	10.5	346.36	10 044.46
Brita	5	10.5	346.36	1 731.8
Carvão activado	8	10.5	346.36	2 770.88
Areia	20	10.5	346.36	6 927.21
Manta sintética	18	10.5	346.36	4 477.3
Total do filtro	80	-	-	25 951.65
Reservatório de água	21	11.5	346.36	8 724.99
Total	101	-	-	34 676.64

Font: Autor (2024)

Após obter o filtro submeteu-se aos ensaios de filtração Os cálculos efectuados no dimensionamento do filtro encontram-se em apêndice Q.

A tabela 5, ilustra os resultados de ensaio hidrodinâmico do filtro lento, de agua de 3 comunidades, mostrando que a taxa filtrante é igual estatisticamente.

Tabela 2: Resultados de ensaio hidrodinâmico do filtro

Ensaios	Material da Cidade da Beira		Material de Bêbedo-Metuchira		Material de Bêbedo	
	Água em estudo		Água em estudo		Água em estudo	
	Água do poço	Água do rio	Água do poço	Água do rio	Água do poço	Água do rio
$\mathbf{V_1(ml)}$	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$\mathbf{V_{2M}(ml)}$	1001	1003	1004	1006	1006	1005
$\mathbf{T_{DHM(min)}}$	58.67		57.24		57.90	
$\mathbf{Q\left(\frac{ml}{min}\right)}$	$6 * 10\text{^}6$					
$\mathbf{T_f(\frac{m^3}{m^2 * dia})}$	4.25					

Fonte: Autor (2024)

O filtro dimensionado possui a taxa de filtração $4.25\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^2*\mathrm{dia}}$, portanto verificou-se que a taxa de filtração esta dentro dos parâmetros estabelecidos normas internacionais para filtração lentos, que impõe o limite máximo da taxa de filtração de $6\,\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{m}^2*\mathrm{dia}}$.

CONCLUSÃO

Durante o processo de caracterização dos materiais filtrantes concluiu-se que todas as camadas colocadas como meio filtrante desempenharam a sua função esperada na correcção da água bruta, as camadas filtrantes como o esperado removeram a cor aparente, turbidez, partículas sólidas suspensas, odor e sabor da água. Observou-se uma característica inadequada da areia proveniente da praia para a aplicação como material filtrante devido às suas propriedades que resultaram no aumento do pH, TDS, e condutividade eléctrica, depois de se fazer comparação com outra areia obtida na Localidade de Bêbedo e fronteira entre posto Administrativo de Metuchira e Localidade de Bêbedo concluiu-se que a melhor areia para aplicação no processo de filtração deve ser areia que não se encontra no meio salino. Após os ensaios hidrodinâmicos para aferir a taxa de filtração concluiu-se que o filtro dimensionado apresentou a taxa de filtração dentro do limite estabelecido pela Legislação para protótipos de filtração lenta. O filtro mostrou-se eficiente pois fez-se análises físicas e organolepticos da água antes e pós tratamento comparando com a Legislação Moçambicana para a qualidade da água e os resultados obtidos foram satisfatórios pois encontravam-se dentro dos limites recomendados, a água após a filtração apresentou-se insípida, inodora e incolor.

REFERÊNCIAS

Amui, C. R. Desenvolvimento e avaliação de protótipos de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais, 2023.

Cesar, C. Água potavél e saneamento. São Paulo. 2019.

Funasa. Projecto e operação de filtros lentos retrolaváveis para o tratamento de água. Brazilia. 2019.

Haarhoff, J.; Cleasby, J.L. Biological and physical mechanisms in slow sand filtration. New York. 1991.

Lamonier, P. Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade de uma estação de tratamento de água de ciclo completo. Uberlândia. 2019.

Lima, A. Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais. Universidade Federal de Sergipe, 2020.

Maia, K. C. A água como factor importante para concepção de uma educação ambiental, Belem. 2017.

Piancó, P. Avaliação de um filtro lento com meio filtrante alternativo no tratamento de água de rio. Pombal. 2023.

Rodrigues, M. Tratamento de água com filtração lenta domiciliar intermitente. Universidade Federal da Fronteira Sul. 2022.

Schorr, S. Tratamento de águas e efluentes. Rio de Janeiro. 2022.

Stupp, A. Avaliação do funcionamento de um filtro lento com retrolavagem. 2016.

Summers, R S; Shimabuku, K; Zearley, T. A review of biologically-based drinking water treatment processes for organic micropollutant removal. London, 2014.

ARTIGO Nº22212

AVALIAÇÃO DA IMPORTÂNCIA DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E POROSIDADE EM FILTROS DESCENDENTES PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES RURAIS

Lulu Lino Dingane[1]; Salvador Carlo Grande [2]

[1] Discente da Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologia , FCT-Campus de Matacuane, 607. Beira, Moçambique.

[2]Docente de Engenharia de Processos Industriais, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Zambeze, Campus de Matacuane, 607.Beira -Moçambique

(*) *Email:* salvador.graande@uzambeze.ac.mzt

RESUMO

O estudo visa realizar avaliação do tempo de residência e porosidade do meio filtrante em filtros descendentes para tratamento de água em comunidades rurais. Percebeu-se que aplicação de filtros nas zonas rurais torna-se relevante pela dificuldade crescente de abastecimento de água de boa qualidade e em quantidade suficiente, devido a sua eficiência e simplicidade operacional. O tempo de residência constitui uma componente chave para eficiência da filtração lenta, quanto mais tempo de residência o processo de filtração lenta necessitar melhor é a qualidade de água filtrada e assim passa uma segurança para aplicação na realização das actividades quotidianas.

***Palavras-chave**:* porosidade, tempo de residencia, granulometria, água

INTRODUÇÃO

O componente que influencia directamente no tempo de residência é a porosidade das camadas filtrantes, que possui uma dependência directa da granulometria dos materiais filtrantes pois quanto menor for o tamanho das partículas menor é a porosidade das camadas e menor é o tempo de residência no processo de filtração que resulta na boa qualidade de água filtrada. O presente estudo foi realizado para analisar a relação entre o tempo de residência e a porosidade dos meios ou camadas filtrantes em filtros lentos. Os resultados mostram que o tamanho das partículas das camadas filtrantes desempenhou um papel muito importante, pois a granulometria contribuiu no índice da porosidade das camadas filtrantes, que esteve dentro dos padrões recomendada, bem como o tempo de residência foi satisfatório e a taxa de filtração esteve dentro do limite estabelecido para protótipos de filtração lenta (Amui, 2023; Lima, 2020)

A aplicação de filtros nas zonas rurais torna-se relevante pela dificuldade crescente de abastecimento de água de boa qualidade e em quantidade suficiente. A água pode transportar grandes variedades de substâncias químicas prejudiciais, além de microrganismos patogénicos, responsáveis por diferentes tipos de doenças. A água consumida pelo ser humano deve obedecer a critérios de qualidade definidos por normas nacionais ou internacionais. A sua qualidade almejada determina a selecção da tecnologia de tratamento a ser adoptada para atingir os critérios de qualidade definidos.

O tempo de residência constitui uma componente chave para eficiência da filtração lenta, quanto mais tempo de residência o processo de filtração lenta necessitar melhor é a qualidade de água filtrada e assim passa uma segurança para aplicação na realização das actividades

quotidianas. O componente que influencia directamente no tempo de residência é a porosidade que possui uma dependência directa da granulometria dos materiais filtrantes pois quanto menor for o tamanho das partículas menor é a porosidade das camadas e menor é o tempo de residência no processo de filtração que resulta na boa qualidade de água filtrada.

Devido a sua eficiência e simplicidade operacional, os filtros lentos poderiam ser utilizados como opção de tratamento de água em diversas escalas, desde tratamento para cidades até domiciliares. O tratamento domiciliar possibilita que a população que não está conectada à rede de abastecimento tenha acesso a água segura, visando a ampliação do acesso ao tratamento de água. A partir da proposição de protótipo de filtração lenta eficiente, espera-se contribuir para o acesso a água potável e segura, mesmo em comunidades ou residências isoladas.

Segundo Lima (2020), a água escoa por uma cavidade porosa no qual as partículas presentes no fluido se sedimentam durante o percurso no leito filtrante, enquanto outras partículas maiores ficam retidas na parte superior do filtro. Além disso, outros factores influenciam nos demais mecanismos, como a temperatura da água e velocidade de escoamento. Os mecanismos citados, podem ser melhor entendidos na Figura 1, apresenta o comportamento das partículas de impurezas contidas na água durante o processo de filtração lenta.

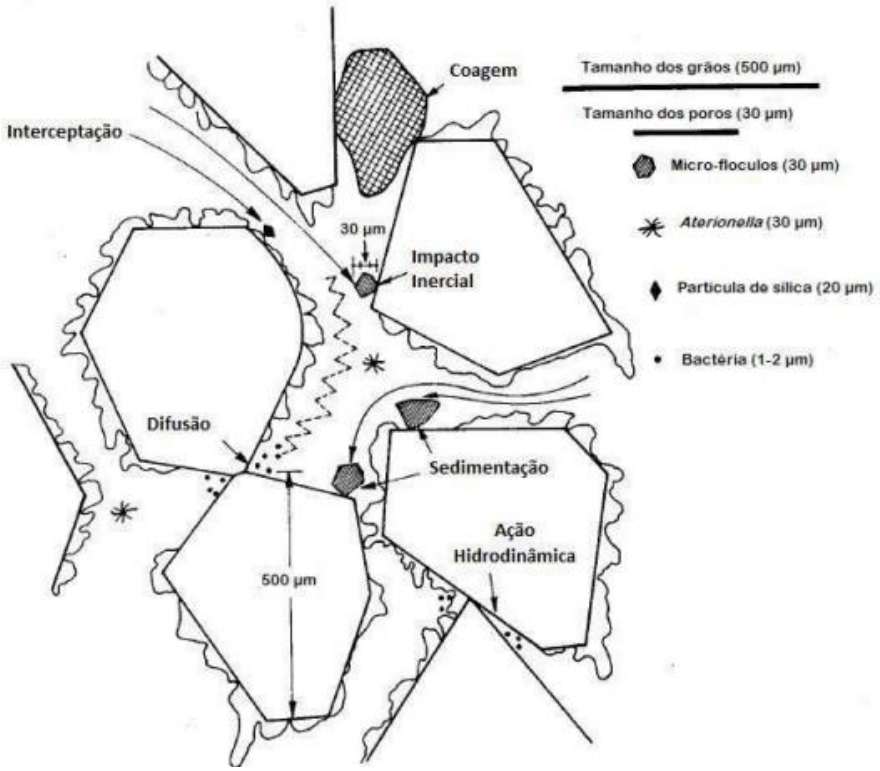


Figura 1: Esquema representativo dos mecanismos de transportes. **Fonte:** Lima (2020).

O processo de filtração decorre com base em seguintes processos que caracterizam os mecanismos de transporte de água de diferentes pontos de contacto do filtro:

- Coagem: É um efeito de carácter físico, no qual as partículas maiores presentes na água são retidas na camada superior do leito filtrante;
- Interceptação: Conforme a água passa pelo sistema de filtração, o fluido ganha velocidade, logo a energia cinética também aumenta, fazendo com que as partículas menores se juntem, formando então partículas maiores que não são capazes de passar por meio dos poros do leito filtrante;

- Difusão: O movimento browniano cujo as partículas menores seguem um caminho aleatório, devido ao aumento da energia térmica, são transportadas para a superfície dos grãos de areia ou de qualquer meio filtrante alternativo;
- Impacto inercia: Ocorre quando a partícula presente na água possui alta densidade e diâmetro grande, fazendo com que permaneça em seu trajecto independente das curvas que o fluido faz, ou seja, fica em inércia, logo acontece um impacto da partícula com o grão do meio filtrante que consiste em sua retenção;
- Forças hidrodinâmicas: As partículas maiores não esféricas, começam a rotacionar em torno de si mesmas, fazendo uma vibração aleatória similar ao movimento browniano, podendo estimular a colisão com a superfície dos grãos.

Segundo Flogler (2004), o fluido em um reactor (na forma do filtro) pode percorrer diferentes caminhos, o que pode ocasionar tempos distintos de saída. Essa distribuição de tempo de saída do reactor, de cada elemento do fluido, é chamada de distribuição de tempo de residência (DTR). Determinadas, o volume do filtro, a velocidade, vazão e taxa de filtração, a Equação para o cálculo da porosidade do meio filtrante é dado por:

$$\frac{150*\mu*v*(1-\varepsilon)}{D^2{}_p*\varepsilon^3}+\frac{1.75*\rho_{H2O}*v^2}{\varepsilon^3*D_p}=\left(\rho_p-\rho_{H2O}\right)*g \qquad (1)$$

Onde:

ε- Porosidade

μ – Viscosidade dinâmica da água ($\frac{N}{S}*m^2$);

v-Representa velocidade de filtração ($\frac{m}{s}$);

D_p-representa diâmetro das partículas;

ρ_{H2O} – Massa específica da água (Kg/m^3);

ρ_p – Massa específica da particula (Kg/m^3).

Para Amui (2023)**,** parte significativa dos custos operacionais do tratamento de água por meio dos filtros lentos está associada à limpeza e reposição do meio filtrante. Com o intuito de reduzir esses custos e facilitar o processo de limpeza dos filtros lentos, uma alternativa tecnológica adoptada tem sido o uso de mantas sintéticas não tecidas sobre o meio filtrante. É através da filtração da água, no qual a mesma passa por uma região porosa, normalmente composta de areia, todavia, pode ser utilizada outro material como meio filtrante. Há também a possibilidade de empregar mais de uma camada, sendo da mesma substância em granulometria diferente ou de diferentes materiais, O objectivo é reter ou remover algumas das impurezas contidas na água (Schorr, 2022).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo realizou-se na Localidade de Bêbedo, posto Administrativo de Metuchira, Distrito de Nhamatanda, Província de Sofala. A Localidade de Bêbedo esta localizada a 25 Km da vila de Nhamatanda. Para o dimensionamento do filtro utilizou-se chapa galvanizada de 0.4 mm, válvula de retenção, brita, carvão activado, areia, manta sintética, balança analítica, equipamentos laboratoriais para análises físicas e organolepticas da água antes e depois de tratamento. Os materiais utilizados como camadas filtrantes foram adquiridos em três pontos distintos nomeadamente Cidade da Beira, fronteira entre posto Administrativo de Metuchira e Localidade de Bêbedo e Localidade de Bêbedo.

Dimensionamento do filtro

Para a efectivação do processo de dimensionamento do protótipo de filtro descendente seguiu-se seguintes passos, conforme Cameiro, (2017), e Camilo (2014).

- Determinação da área da secção transversal do filtro.
- Determinou-se a área da secção transversal do filtro para o escoamento da água durante a filtração.
- Escolha dos materiais filtrantes.
- As camadas filtrantes foram compostas por brita, carvão activado, areia e manta sintética, sendo que cada camada filtrante teve a seguinte função:
- Brita – A escolha da brita como uma das camadas filtrantes se deu devido a sua capacidade de remoção de sólidos suspensos presentes na água;
- Carvão activado – A escolha da implementação do carvão activado foi feito devido a sua capacidade de adsorção de substâncias orgânicas que são responsáveis pelo sabor e odor da água;
- Areia – A areia foi escolhida devido a sua função de remoção da cor aparente, turbidez e partículas suspensas na água.
- Manta sintética – E por fim a manta sintética foi escolhida para finalização o processo da filtração lenta, dando uma correcção final da água filtrada.
- Determinação do volume do filtro
- Foi utilizada equação da determinação do volume do cilindro e cone para a determinação do volume da parte cilíndrica ecónica do filtro, para a determinação do volume ocupado pelas camadas filtrantes também se aplicou as mesmas equações.

Para o processo de montagem das camadas filtrantes, primeiramente fez-se a lavagem da manta sintética, a lavagem da areia, e a lavagem da brita. Após a lavagem das camadas passou-se para a montagem das camadas filtrantes no interior do filtro, seguindo-se as seguintes etapas:

- Primeiramente colocou-se a manta tecida com espessura de 8 cm para o fundo cónico e 10 cm na parte cilíndrica, com massa total de 158.4 g como a primeira camada filtrante;

- De seguida colocou-se a areia com espessura de 20 cm com massa equivalente a 5 262.5 g como a segunda camada filtrante;

- Acima de areia colocou-se o carvão activado com espessura de 8 cm com massa equivalente a 1 665.0 g como a terceira camada filtrante;

- Finalizou-se o processo de montagem das camadas filtrantes pela montagem da brita com espessura de 5 cm massa equivalente a 2 968.5 g como a última camada filtrante.

Foi usado, a Equação (1), para o cálculo da porosidade para diferentes materiais de diferentes locais, de modo a comparar com os valores da literatura e os recomendados.

RESULTADOS

Resultados do dimensionamento do filtro descendente

Tabela1: Resultados do dimensionamento do filtro descendente

Material	Espessura (cm)	Raio (cm)	Área (cm^2)	Volume (cm^3)
Água sobrenandante	29	10.5	346.36	10 044.46
Brita	5	10.5	346.36	1 731.8
Carvão activado	8	10.5	346.36	2 770.88
Areia	20	10.5	346.36	6 927.21
Manta sintética	18	10.5	346.36	4 477.3
Total do filtro	80	-	-	25 951.65
Reservatório de água	21	11.5	346.36	8 724.99
Total	101	-	-	34 676.64

Font: Autor (2024)

Resultados de ensaio hidrodinâmico e determinação da porosidade

A tabela 2, ilustra os resultados de ensaio hidrodinâmico do filtro para implementação no tratamento de água na Localidade de Bêbedo.

Tabela 2: Resultados de ensaio hidrodinâmico do filtro

Ensaios	Material da Cidade da Beira		Material de Bêbedo-Metuchira		Material de Bêbedo	
	Água em estudo		Água em estudo		Água em estudo	
	Água do poço	Água do rio	Água do poço	Água do rio	Água do poço	Água do rio
$\mathbf{V_1(ml)}$	1500	1500	1500	1500	1500	1500
$\mathbf{V_{2M}(ml)}$	1001	1003	1004	1006	1006	1005
$\mathbf{T_{DHM(min)}}$	58.67		57.24		57.90	
$\mathbf{Q\left(\frac{ml}{min}\right)}$	$6 * 10\text{^}6$					
$\mathbf{T_f(\frac{m^3}{m^2 * dia})}$	4.25					

Fonte: Autor (2024)

O filtro dimensionado possui a taxa de filtração $4.25\,\frac{m^3}{m^2*dia}$, portanto verificou-se que a taxa de filtração esta dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT NBR 12216:1992 para filtração lentos, que impõe o limite máximo da taxa de filtração de $6\,\frac{m^3}{m^2*dia}$.

Tabela 3: Resultados da avaliação da porosidade das camadas filtrantes

Camadas		Cidade da Beira		Bêbedo-Metuchira		Bêbedo	
Material filtrante	$\mathbf{l_e}$ $(\mathbf{cm})$	$\mathbf{D_{MP}}$ $(\mathbf{mm})$	$\boldsymbol{\varepsilon}$ (%)	$\mathbf{D_{Mp}}$ $(\mathbf{mm})$	$\boldsymbol{\varepsilon}$ (%)	$\mathbf{D_{Mp}}$ $(\mathbf{mm})$	$\boldsymbol{\varepsilon}$ (%)
Areia	20	0.425	27	0.25	24	0.85	28
Carvão	8	2	10	2	10	2	10
Brita	5	12.5	27.9	9.5	28.3	12.5	28.9

Fonte: Autor (2024)

Na base da tabela notou-se que a porosidade das camadas filtrantes tanto do primeiro material filtrante, segundo material filtrante e terceiro material filtrante esta dentro do limite máximo estabelecido pela norma NBR12216/1992, que estabelece 30 % da porosidade máxima das camadas filtrantes. Os cálculos da determinação da porosidade das camadas filtrantes mostram que para materiais de diferentes locais, mostram os mesmos valor, devido ao processo similar de tratamento que ocorreu com a parte construtiva do filtro lento, segundo Piancó, (2023), Cesar, (2019), Maia, (2017).

CONCLUSÕES

Na base dos estudos efectuados constatou-se que o tamanho das partículas das camadas filtrantes desempenhou um papel muito importante no resultado final do filtro, pois a sua granulometria contribuiu no índice da porosidade das camadas filtrantes, que esteve dentro dos padrões recomendada pela Legislação, o tempo de residência foi satisfatório e a taxa de filtração esteve dentro do limite estabelecido pela Legislação para protótipos de filtração lenta. O filtro mostrou-se eficiente pois fez-se análises físicas e organolepticas da água antes e pós tratamento comparando com a Legislação Moçambicana para a qualidade da água e os resultados obtidos foram satisfatórios pois encontravam-se dentro dos limites recomendados, a água após a filtração apresentou-se insípida e inodora.

REFERÊNCIAS

Amui, C. R. Desenvolvimento e avaliação de protótipos de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais. 2023.

Cameiro, C. Desenvolvimento e desempenho de sistemas alternativos de tratamento de água em localidades rurais. Santa catarina. 2017

Camilo, N. M.. Estudo das potencialidades do uso dos coagulantes naturais no tratamento das águas do rio infulene. P. 4 e 5. 2014.

Cesar, Caio. Água potavél e saneamento. São Paulo. 2019.

Lima, A. Análise comparativa da eficiência de filtros lentos com meios filtrantes convencional e não convencionais. Universidade Federal de Sergipe. 2020.

Maia, K. C. A água como factor importante para concepção de uma educação ambiental, Belem. 2017.

Metcalf, L.; Eddy, H. P. . Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. Mcgraw-hill. (2016).

Piancó, P. Avaliação de um filtro lento com meio filtrante alternativo no tratamento de água de rio. Pombal. 2023.

Schorr, S. Tratamento de águas e efluentes. Rio de Janeiro.2022.

ARTIGO Nº22482

POTENCIAL DE COLAPSO DAS "AREIAS VERMELHAS DE LUANDA", ANGOLA

Francisco M. António[1(*)], Fernando A. B. Bonito[2], Ângela G. Filipe[2], Agostinho A. R. C. A. Benta[1]

[1]Universidade de Aveiro, RISCO - Research Centre for Risks and Sustainability in Construction, Aveiro, Portugal
[2]Laboratório de Engenharia de Angola (LEA), Angola
(*) *Email:* francisco.m.antonio@ua.pt

RESUMO

As areias vermelhas de Luanda têm caraterísticas colapsáveis que têm causado muitos danos nas fundações de edifícios, estradas, aeródromos e áreas agrícolas, com consequências socioeconómicas significativas para a população. Apesar do perigo que representa a colapsibilidade destes solos, poucos estudos sobre o seu comportamento face à presença da água foram realizados localmente até à data. No sentido de contribuir para colmatar esta lacuna, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão da literatura sobre as caraterísticas dos solos colapsáveis, bem como apresentar os primeiros resultados de ensaios de colapso sob ação do peso próprio realizados de acordo com a norma ASTM D4546-21.

Palavras-chave: Areias vermelhas, potencial de colapso, *solo muceque*, solos colapsáveis, Luanda - Angola.

INTRODUÇÃO

As areias vermelhas de Luanda, também conhecidas como solos "muceque" ou solos "lateríticos", dominam a parte alta de Luanda e constituem a maioria dos terrenos das fundações da região. Este solo tem caraterísticas colapsáveis e uma estrutura metaestável que tem causado muitos danos nas fundações de várias estruturas de engenharia civil e áreas agrícolas (Ferreira & Silva, 1957).

Os solos colapsáveis são "solos não saturados" que sofrem um rearranjo de partículas e uma redução de volume após humedecimento, com ou sem uma carga adicional". Estes solos são designados por verdadeiramente colapsáveis quando a redução de volume devido à molhagem ocorre sob o seu próprio peso e condicionalmente colapsáveis quando a redução de volume ocorre sob a ação de uma sobrecarga adicional (Vilar & Ferreira, 2019).

Durante a fase de investigação de campo nas áreas adjacentes à Centralidade KK 8800, no Zango 5, no Município de Viana, província de Luanda na República de Angola, foram identificados alguns sinais graves de degradação do solo, tais como evidências de colapsos do solo e várias formas de erosão do solo na área de estudo, como pode ser visto na Figura 1. A observação visual no terreno deu uma indicação aproximada de que o solo na região poderia ser colapsável. Estas constatações foram a razão pela qual a investigação se centrou na exploração do depósito natural de solo "muceque" do ponto de vista da colapsibilidade.

Não obstante a existência de alguns estudos sobre o comportamento colapsável das areias vermelhas de Luanda (Ferreira & Silva, 1957; Silva, 1965; Silva, 1970; Silva & Teixeira, 1973; Yuyun Xia *et al.*, 2024), não encontramos nenhum estudo sobre potencial de colapso das areias vermelhas que ocorrem na área de estudo, arredores da Centralidade KK 8800, no Zango 5, no Município de viana, província de Luanda na República de Angola.

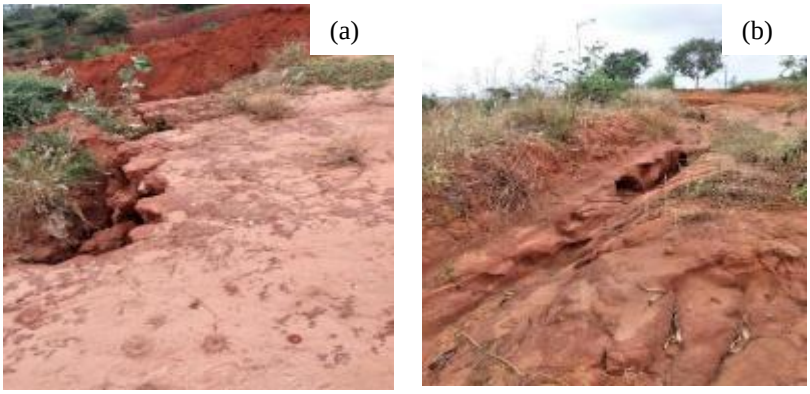


Figura 1. Arredores da Centralidade KK8800, Zango 5: a) colapso do solo, b) erosão do solo.

No entanto, a raridade de estudos sobre o potencial de colapso das areias vermelhas de Luanda na literatura constitui uma lacuna no conhecimento deste solo. No sentido de contribuir para colmatar esta lacuna, o presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão da literatura sobre os processos de compressibilidade hídrica (colapso) deste tipo de solos, bem como apresentar os primeiros resultados de ensaios de colapso, devidos ao peso próprio, realizados de acordo com a norma ASTM D4546 (2021).

Embora a literatura local sobre solos colapsáveis seja escassa, este trabalho pode ser valioso para incentivar novas investigações, uma vez que este solo tem criado muitos problemas geotécnicos e de erosão na parte alta de Luanda.

METODOLOGIA

A estratégia de investigação está resumida no fluxograma (Figura 2) para a análise do tema proposto. O fluxograma descreve as etapas de desenvolvimento do estudo, desde o estado da arte (revisão da literatura), passando pela análise e discussão dos resultados do ensaio edométrico realizado com a norma ASTM D4546 (2021) até a Conclusão Geral.

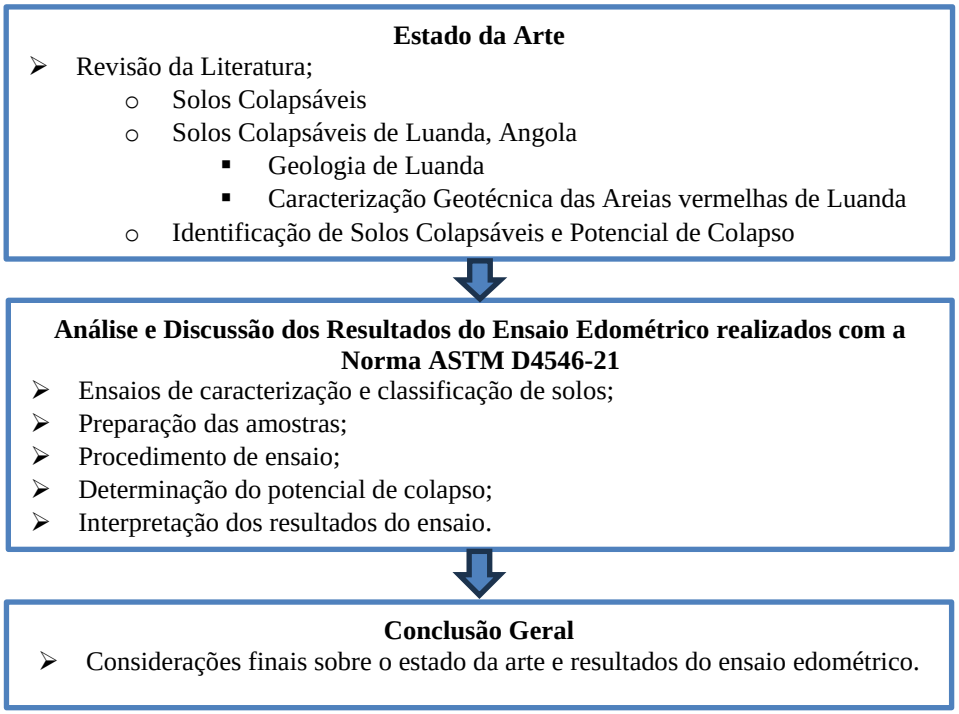


Figura 2. Fluxograma da abordagem para analisar o tema proposto.

O objetivo da revisão da literatura é, por um lado, reforçar a relevância do tema, por outro, servir de base teórica para o tema em estudo e clarificar conceitos. A segunda parte da estratégia de investigação inclui ensaios de caraterização e classificação do solo, preparação da amostra, procedimento de ensaio e interpretação dos resultados dos ensaios. A terceira e última parte são as conclusões gerais que consiste nas considerações finais sobre os temas abordados.

SOLOS COLAPSÁVEIS

Os solos não saturados encontram-se geralmente na zona entre a superfície do solo e o lençol freático (Figura 3). A zona sujeita a pressões negativas da água dos poros é comummente referida como zona não saturada em engenharia geotécnica. A zona não saturada torna-se a transição entre a água da atmosfera e a água subterrânea. O solo não saturado é considerado como uma mistura de quatro fases (solida, ar, água e interface ar-água), sendo a quarta fase independente e designada por pele/membrana contrátil ou a interface ar-água. A pele contrátil atua como uma membrana fina entrelaçada através dos vazios no solo, atuando como uma divisória entre as fases ar e água (Fredlund, 2006).

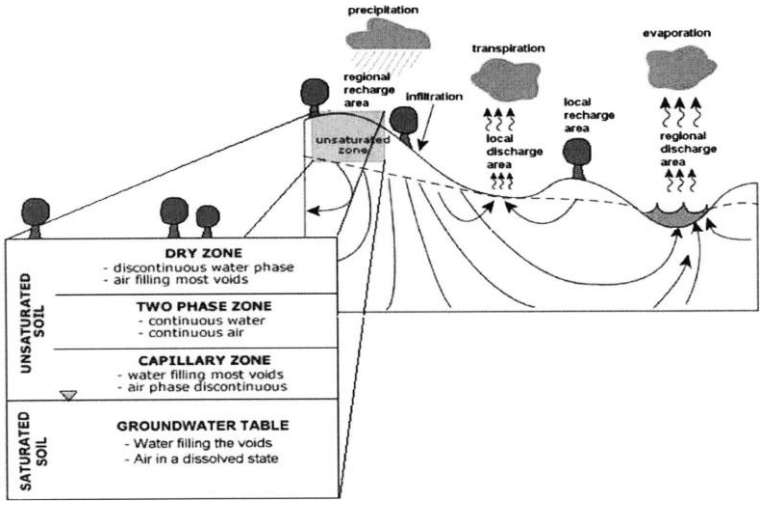


Figura 3. Representação da zona de solos não saturados (Fredlund, 2006).

A interação da pele contrátil com a estrutura do solo provoca uma alteração no volume e na resistência ao corte de um solo não saturado. As alterações nas pressões negativas da água nos poros podem resultar em alterações adversas na resistência ao corte e alteração de volume (Fredlund, 2006).

Uma característica peculiar dos solos não saturados é a tendência para sofrer alterações de volume quando o teor de humidade varia sob tensões praticamente constantes. Por conseguinte, o aumento do teor de humidade pode causar redução ou aumento de volume de acordo com a composição do solo. Assim, os solos não saturados podem ser *solos colapsáveis*, quando há uma redução no volume, ou *solos expansivos*, quando há um aumento no volume (Vilar & Ferreira, 2019). A Tabela 1 mostra as principais características destes dois solos não saturados.

Neste trabalho, o foco do estudo são os solos colapsáveis. Os *solos colapsáveis* ou *solos colapsíveis* são solos de baixa "massa volúmica seca" em que o aumento da humidade provoca uma diminuição da resistência nos contatos entre partículas, reduzindo geralmente a sucção, um rearranjo estrutural e uma nova condição de equilíbrio sob a carga atuante e o novo teor de humidade ou nova sucção (Vilar & Ferreira, 2019).

Tabela 3. Características dos solos colapsáveis e solos expansivos (adptado de Vilar & Ferreira, 2019).

Solos Colapsáveis	Solos Expansivos
• Solos não saturados.	• Solos não saturados.
• Solos com estrutura porosa ou instável, com partículas interligadas por argila, óxido de ferro, alumínio ou carbonatos.	• Solos com minerais argílicos, montmorilonite ou vermiculite.
• Solos de origem recente e de fácil drenagem, de regiões tropicais húmidas com lixiviação dos horizontes superficiais.	• Contrações e expansões com aparecimento de superfícies de fricção.
• Solos em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões de alternância de estações secas e chuvas intensas e concentradas.	• Solos com drenagem baixa e atividade alta, derivados de rochas ígneas, basicamente, basalto, diabásios e gabros e de rochas sedimentares basicamente: folhelhos, margas e calcários.
	• Solos em regiões onde a evapotranspiração excede a precipitação, regiões semiáridas de clima tropical e temperado.

Por outro lado, os solos colapsáveis são também designados como *verdadeiramente colapsáveis* quando o fenómeno de redução de volume ocorre por humedecimento sob a ação do seu peso próprio e *condicionalmente colapsáveis* quando a redução de volume ocorre devido a uma sobrecarga adicional (Vilar & Ferreira, 2019).

Os solos colapsáveis ocorrem em vários países do mundo e abrangem uma vasta gama de materiais geológicos (Lutenegger & Saber, 1988). De entre estes, encontram-se depósitos de solos aluviais (transportados pela água); solos coluvionares (transportados pela gravidade); solos eólicos (transportados pelo vento; e solos residuais que são formados por extensas intempéries dos materiais de origem (Lutenegger & Saber, 1988; Mansour *et al.*, 2008; Zamani & Badv, 2019). Estes depósitos de solos são criados pela sedimentação natural sob certas condições ambientais mas são também criados em aterros artificiais que são compactados no local à humidade ótima seca (Zamani & Badv, 2019).

Os solos colapsáveis são geralmente caracterizados por uma grande e súbita redução do volume sob tensão constante quando saturado (Vilar & Ferreira, 2019). Este comportamento descreve a natureza metaestável da estrutura do solo no seu estado natural e é geralmente o resultado de uma "fabric" ou arranjo das partículas aberto (Lutenegger & Saber, 1988; Maranha das Neves, 2016). "Fabric" ou "arranjo das partículas", segundo Maranha das Neves (2016), é a disposição relativa das partículas que resulta do posicionamento das partículas minerais de um solo (arranjos espaciais) quando da sua deposição.

Por outro lado, designa-se *estrutura do solo* ao conjunto "fabric" (arranjo das partículas) e as eventuais ligações entre partículas (Lambe & Whitman, 1968 citado por Maranha das Neves, 2016). O ambiente de deposição tem grande influência na estrutura do solo. As ligações entre partículas podem ser de naturezas várias. De acordo com Mitchell (1993), para qualquer solo de grão fino no qual partículas e grupos de partículas floculam, a "fábric" inicial após sedimentação será aberta e envolverá alguma quantidade de associação borda-a-borda e borda-a-face no arranjo das partículas.

Portanto, o fenómeno de colapso está associado à estrutura aberta do solo, a estrutura permanece inalterada, mas quando o solo carregado é exposto à água, e um dado teor de humidade crítico é excedido, os sedimentos que servem de ligação para as partículas de areia são silte ou argila

que fornecem o ligante, quando amolecem, enfraquecem e/ou dissolvem-se em certa medida. Eventualmente, os aglutinantes atingem uma fase em que já não resistem às forças de deformação e a estrutura colapsa (AL-Rawas, 2000).

SOLOS COLAPSÁVEIS DE LUANDA, ANGOLA

Em Angola, os primeiros trabalhos de investigação sobre solos colapsáveis documentados na literatura remontam à década de 1950, quando engenheiros do Laboratório de Engenharia da Direção dos Serviços de Obras Públicas e Transportes de Angola se depararam com problemas de fendilhação e assentamento em edifícios, pavimentos rodoviários e no aeródromo de Luanda, que estavam fundados sobre este solo (Ferreira & Silva, 1957).

A parte alta de Luanda é constituída principalmente por areias vermelhas que localmente são conhecidas como "solo muceque" (Silva, 1965). As principais características geológicas e geotécnicas dos solos de Luanda, foram estudadas por Silva (1970), Silva & Teixeira (1973) e Departamento de Geologia da UAN-FC (2018) e são resumidas nos itens seguintes.

GEOLOGIA DE LUANDA

De acordo com o Departamento de Geologia da UAN-FC (2018), na faixa costeira de Angola predominam três tipos de rochas: cristalinas, metamórficas, e sedimentares, com idades que variam desde o Pré-câmbrico ao Quaternário.

A sequência estratigráfica utilizada para a Bacia do Kwanza é a mesma utilizada para Luanda e Bengo, e os seus depósitos são compostos por diferentes sequências sedimentares, tais como Infra Salífera, Salífera e Pós-Salífera (Figura 4). Para este estudo o foco é a Sequência Pós-Salífera (Cenomaniano – Pleistocénico).

Os depósitos sedimentares da Sequência Pós-Salífera (Cenomaniano – Pleistocénico) estão associados a uma fase transgressiva motivada pelo tectonismo *syn*-sedimentar como resultado da movimentação do sal durante o basculamento regional, influência gravitacional relacionadas com o tectonismo extensional e flexura da Orla sedimentar Costeira.

Esta sequência demonstra que condições marinhas cada vez mais profundas dominaram a bacia. Litologicamente é constituída por depósitos arenosos, continentais ou litorais (na orla oriental da bacia) e na parte da bacia é constituída por calcários margosos e margas pelágicas.

A geologia de Luanda e Bengo, como mostra a coluna litoestratigrafica (Figura 4), está representada pelas seguintes formações que datam desde o Cretácico ao Quaternário: Formação Cabo Ledo (**CL**), Formação Itombe (**ITB**), Formação N´golome (**NGL**), Formação Teba (**TB**), Formação Rio Dande (**RD**), Formação Gratidão (**GT**) - Cunga (**CG**), Formação Quifangondo (**QF**), Formação Cacuaco (**CC**), Formação Luanda (**LD**), Formação Areias Cinzentas (**AC**) e Formação Quelo (**QL**).

A Formação Baixo Cuvo (**LC**), Formação Alto Cuvo (**UC**), Formação Chela (**SL**), Formação Salgado Maciço (**MS**), Formação Dombe Grande (**DGG**), Formação Tuenza (**TZ**), Formação Catumbela (**CT**), Formação Quissonde (**QS**) fazem parte da coluna litoestratigráfica da bacia sedimentar do Kwanza (Figura 4) mas não são objeto do presente estudo.

Por outro lado, segundo Silva (1970) e Silva & Teixeira (1973), as formações geológicas da região de Luanda estão organizadas em dois grupos crono-estratigráficos (Figura 5), o Quaternário e o Terciário. O Quaternário é composto por ilhas, praias e leques aluviais; cordões litorais; Formação Cazenga e Formação Muceque ou Quelo; enquanto o Terciário é formado pelas Formação Luanda; Formação Cacuaco e Formação Quifangondo.

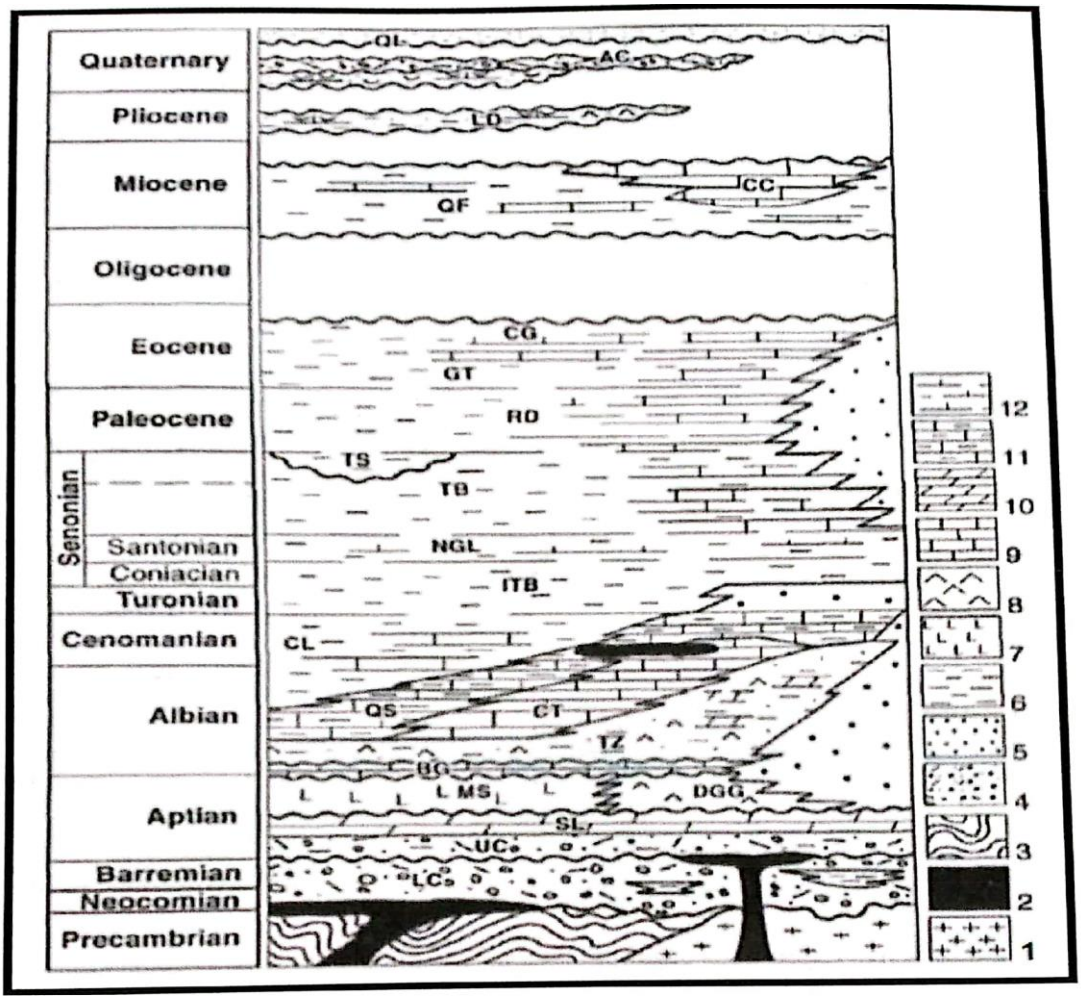


Figura 4. Coluna litoestratigrafica da Bacia sedimentar do Kwanza. Legenda: 1) Rochas intrusivas, granito, 2) rochas efusivas, basalto, 3) rochas metamórficas, 4) conglomerados, 5) areias, 6) shales, 7) evaporitos, 8) gesso, 9) carbonatos, 10) carbonatos e dolomites silicificados, 11) Calcilutitos, 12) marls (Sonangol & Total, 1992, citado pelo Departamento de Geologia da UAN-FC, 2018).

Formações do Quaternário

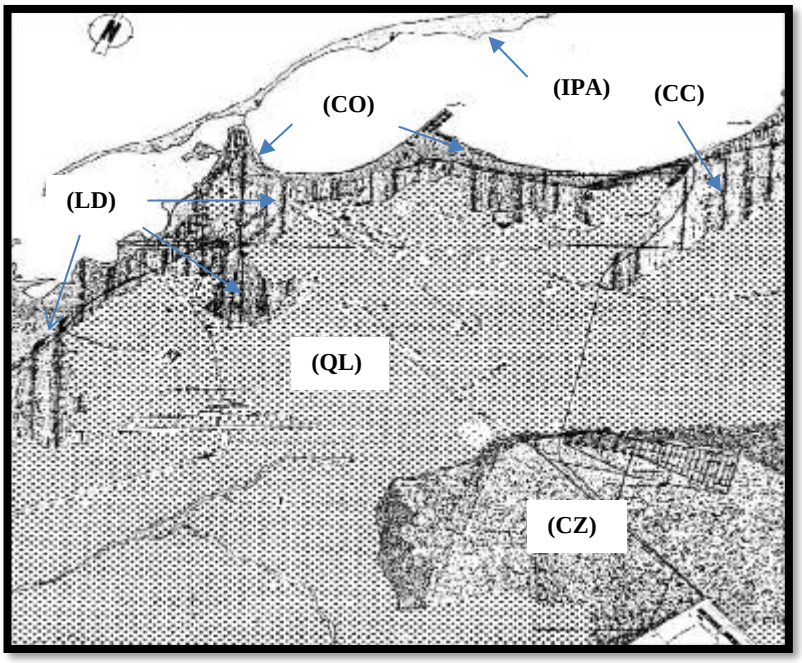
Ilhas, Praias e Aluviões (Atual)

As ilhas e praias de Luanda são constituídas por areias médias a finas, geralmente sem material argiloso e, mais raramente, por lama com conchas de moluscos. As formações aluvionares são pouco representativas, dado que as linhas de água na zona de lazer de Luanda são mais ou menos incipientes. Os depósitos aluvionares são algo heterogéneos, com níveis arenosos finos, por vezes lodosos, alternando com depósitos grosseiros (seixos e cascalhos) caraterísticos do regime torrencial vivido durante as chuvas de Março e Abril.

Cordões Litorais (Atual)

São constituídos por areias grossas e médias, por vezes lodosas, com conchas de lamelibrânquios e gasterópodes que passam, em profundidade, a depósitos arenosos de grão médio ou fino. No entanto, a composição desta formação é ainda mal conhecida.

Os cordões litorais constituem a parte da baixa de Luanda, Avenida 4 de Fevereiro, zona do Porto de Luanda e prolongam-se até as imediações da zona do cais de minérios.



LEGENDA

Formações do Quaternário

- Ilhas, Praias e Aluviões **(IPA)**
- Cordões Litorais **(CO)**
- Cazenga **(CZ)**
- Muceque ou Quelo **(QL)**

Formações do Terciário

- Luanda **(LD)**
- Cacuaco **(CC)**

Escala aproximada - 1:20.000

Figura 5. Formações geológicas de Luanda (Silva & Teixeira, 1973).

Formação Cazenga (Atual)

A Formação Cazenga é composta principalmente por argilas negras residuais resultantes da alteração dos calcários do Cacuaco subjacentes e da atividade pedogénica que se seguiu. As areias do Muceque atravessam lateralmente como um solo de transição areno-argiloso.

A Formação Cazenga é composta granulometricamente por partículas argilosas que variam entre 46% e 73%, percentagens de partículas siltosas que variam entre 5% e 31% e percentagens de partículas arenosas entre 11% e 48%. A fração argilosa, que é a mais representativa, é composta fundamentalmente por montmorilonite, associada a quantidades muito pequenas de caulinite e, mais raramente, ilite e ilite-montmorilonite interestratificada. Os minerais presentes nos siltes e nas areias são o quartzo, a calcite e os feldspatos. Apesar da sua cor negra, a argila do Cazenga tem muito pouca matéria orgânica.

A sua espessura varia de 0,5 m a 4,0 m, sendo a média de 2,0 m. Passa geralmente por um solo calcário esbranquiçado até ao calcário de base. A Formação Cazenga ocorre na zona do Cazenga, corta a estrada de Catete e estende-se pela zona da Palanca.

Formação “Muceque” ou “Quelo” (Pleistoceno)

A Formação “Muceque” ou “Quelo” é constituída por areias marinhas silto-argilosas de cor avermelhada (Figura 6), de granulometria média a fina, e muito bem graduada. Em ambiente continental, fenómenos de revolvimento e alteração levaram à rubificação das areias em profundidade, desenvolvendo uma fração argilosa constituída por caulinite, ilite e óxidos de ferro (goetite e hematite), sendo estes últimos responsáveis pela cor castanho-avermelhada da formação. A Formação Muceque é composta granulometricamente por percentagens de partículas arenosas (≥ 75%), percentagens de partículas siltosas entre 1% e 5% e percentagens de partículas argilosas entre 8% e 20%. As partículas arenosas e siltosas têm uma composição mineralógica idêntica, à base de quartzo e feldspatos.

Devido aos fenómenos de revolvimento e ao estado seco das areias, "Muceque" criou uma "fabric" especial, que no domínio da geologia de engenharia se designa por estrutura colapsível/colapsável ou instável. Deste modo, os fenómenos de revolvimento, alteração e dessecação deram origem a uma estrutura metaestável relativamente aberta, suportada por ligações intergranulares frágeis e, consequentemente, sujeita à rutura. Estas ligações intergranulares são bastante resistentes enquanto o solo estiver seco, mas tornam-se frágeis quando o solo é encharcado (durante a estação das chuvas).

A espessura da Formação Muceque (Figura 6) varia de alguns centímetros a 17 metros. Esta espessura pode atingir cerca de 50 metros em certas zonas de Luanda. O "Muceque" domina o topo do planalto de Luanda e forma a maior parte das fundações de Luanda. A Formação Muceque encontra-se geralmente no topo das formações terciárias.



Figura 6. Arredores da *Centralidade KK 8800*, no Zango 5: Formação Muceque ou Quelo.

Formações do Terciário

Formação Luanda (Mioceno Burdigaliano)

A Formação de Luanda é constituída por depósitos litorais carbonatados e deltaicos argilo-arenosos. Entre as formações terciárias da região de Luanda, a Formação Luanda é a mais heterogénea de todas, compreendendo sedimentos argilosos, siltosos e arenosos, bem como rochas calcárias. Esta formação inicia-se com um episódio argilo-margoso, constituído por argilas e margas acastanhadas, por vezes acinzentadas, com foraminíferos, que representam o equivalente lateral da fácies plataforma pelos calcários da Formação Cacuaco. Este episódio argilo-margoso passa depois a uma sedimentação mais grosseira de siltes e areias, com intercalações de rochas calcárias com aquíferos.

A Formação Luanda é constituída granulometricamente por partículas de argila, variando de 35% a 65%, partículas de silte variando de 33% a 65% e partículas de areia variando de 0% a 21%. As partículas de argila são mineralogicamente constituídas por montmorilonite, ilite e caulinite e minerais interestratificados das camadas de ilite e montmorilonite, e as frações siltosa e arenosa são essencialmente constituídas por quartzo e feldspatos.

A Formação Luanda ocorre ao longo dos limites entre a Rotunda da Boavista, Miramar, Eixo Viário e São José do Cluny, passa por grande parte da parte baixa da cidade, Mutamba, Rua Amílcar Cabral, Maianga e Samba, e depois forma os limites entre a região dos Coqueiros e os morros da Samba, Encostas da Corimba, Morro da Luz, entre outros.

Formação Cacuaco (Mioceno Burdigaliano)

A Formação Cacuaco é constituída por leitos calcários com algas, equinídeos e bivalves e calcarenitos ricos em restos de conchas e foraminíferos. As rochas calcárias que compõem esta formação correspondem a uma fácies de plataforma e passam lateralmente as formações argilosas e margas que subjazem à Formação Luanda.

As rochas calcárias da Formação Cacuaco estão ainda mais ou menos dolomitizadas e localmente existem mesmo camadas ou intercalações de dolomitos. O resíduo insolúvel destas rochas é abundante nos calcarenitos e menos frequente nos calcários, sobretudo os mais dolomitizados. O estudo mineralógico deste resíduo revelou a presença de uma grande quantidade de montmorilonite acompanhada de palygorskite, caulinite, ilite (minerais argilosos), quartzo, feldspatos, hematite e goetite (minerais não argilosos).

A Formação Cacuaco ocorre na região do Farol das Lagostas, São Pedro da Barra, e estende-se para o interior, surgindo na zona do Cazenga e Palanca a profundidades entre alguns centímetros e 4 metros.

Formação Quifangondo (Mioceno Aquitaniano)

A Formação Quifangondo é constituída basicamente por sedimentações típicas da orla ocidental da bacia. Inicialmente, existiam níveis lagunares (margas gipsíferas) e posteriormente desenvolveram-se fácies arenosas deltaicas. A Formação Quifangondo é coberta por argilas siltosas e margas ricas em foraminíferos, localmente com intercalações calcárias e greso-calcárias e argilas castanhas com foraminíferos planctónicos.

Do ponto de vista mineralógico, os solos da Formação Quifangondo são constituídos principalmente por montmorilonite, minerais micáceos, caulinite e clorite (minerais argilosos), aos quais se associam quartzo, feldspatos, calcite e por vezes dolomite, gipsite e mais raramente jarosite, goetite e hematite (minerais não argilosos). A Formação de Quifangondo tem pouco significado geotécnico, uma vez que só ocorre a profundidades fora do campo das obras geotécnicas (por exemplo, engenharia de fundações).

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DAS AREIAS VERMELHAS DE LUANDA

No âmbito da geotecnia, as Formações Luanda, Muceque, Cazenga e Cordões Litorais têm interesse devido aos vários problemas que colocam no domínio da engenharia geotécnica (por exemplo, para fundações e estradas). Para o presente artigo, são abordadas apenas as caraterísticas geotécnicas da Formação Muceque ou Quelo, uma vez que é o foco do presente artigo. Do ponto de vista geotécnico, as areias vermelhas ou "solo muceque" têm sido classificadas, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos, como solo areno-argiloso (SC), solo areno-siltoso (SM) ou uma combinação de ambos, solo areno-argiloso-siltoso, sendo neste caso utilizado o símbolo duplo (SC-SM) (Silva & Teixeira, 1973). Estudos recentes realizados por Yuyun Xia *et al*. (2024), noutra área da parte alta de Luanda (Centralidade do Kilamba) revelaram que a areia vermelha aí identificada é uma areia siltosa (SM) com granulometria extensa.

O comportamento colapsável das areias vermelhas de Luanda foi demonstrado pela primeira vez por Ferreira & Silva (1957) através de ensaios de carga com placa e ensaios de estacas, enquanto Silva (1970) demonstrou a colapsibilidade deste solo através de ensaios com edómetros. Os resultados destes ensaios mostram que, com baixo teor de humidade, o solo pode suportar cargas elevadas (até 800 kPa) com pouco assentamento. No entanto, assim que esteja saturado, mesmo com pequenas cargas, colapsa drasticamente devido à quebra/perda das

ligações entre as partículas. No seu estudo realizado na área da centralidade do Kilamba, Yuyun Xia *et al*. (2024) demonstraram a forte colapsibilidade da areia vermelha de Luanda, a partir de resultados de ensaios de consolidação por compressão unidimensional e ensaios de carga com placa. Os resultados destes ensaios revelaram que a sensibilidade da areia vermelha à quantidade de água presente pode ser atribuída aos efeitos de cimentação dos minerais de argila de grão fino, os quais aderem à superfície das partículas grandes ou se agregam nos contactos das partículas.

IDENTIFICAÇÃO DE SOLOS COLAPSÁVEIS E POTENCIAL DE COLAPSO

Na caracterização de locais constituídos por solos colapsáveis, os maiores problemas surgem quando, antes da construção, não são conhecidas a existência e o grau do *potencial de colapso* (Houston *et al.*, 2001). Por isso, a determinação do potencial de colapso é importante e deve ser sempre incluída na fase preliminar de estudos de engenharia para os locais constituídos por este tipo de solos sensíveis à humidade (Houston *et al*., 2001).

A avaliação dos solos colapsáveis consiste em três etapas: a) exame visual do solo encontrado num determinado local, b) avaliação do comportamento do solo através de ensaios laboratoriais para determinar parâmetros que indicam a probabilidade de colapso do solo, e c) ensaios laboratoriais para determinar a magnitude do colapso. Quando o solo mostra indicadores de colapso a partir do exame visual e dos parâmetros, são necessários mais ensaios laboratoriais para determinar a magnitude do colapso (Al-Rawas, 2000).

Uma revisão da literatura sobre solos colapsáveis mostrou a existência de vários critérios para a identificação de solos colapsáveis (Lutenegger & Saber, 1988; Al-Rawas, 2000; Zamani & Badv, 2019; Vilar & Ferreira, 2019). Estes critérios podem ser indiretos/qualitativos e diretos/quantitativos. *Os critérios indiretos ou qualitativos* baseiam-se principalmente na medição dos seguintes parâmetros: massa volúmica (baridade) seca, índice de vazios natural, porosidade, limites de Atterberg, teor de humidade natural e teor de argila ou uma combinação dos mesmos (Tabela 2 e Figura 5) (Lutenegger & Saber, 1988; Al-Rawas, 2000; Houston *et al*. 2001; Zamani & Badv, 2019), mas também pode ser realizado através de métodos de reconhecimento geológico (Houston *et al*., 2001).

Critérios Qualitativos/Indiretos para Determinar o Potencial de Colapso nos Solos

Tabela 4. Critérios qualitativos/indiretos para avaliar o potencial de colapso do solo (Lutenegger & Saber, 1988; Zamani & Badv, 2019; Vilar & Ferreira, 2019).

Investigador	**Critérios de Colapso**
Denisov (1951)	Coeficiente de subsidência ou abatimento: $K = e_1/e_o$
	K = 0,5 - 0,75 solos altamente colapsáveis;
	K = 1,0 lamas não colapsáveis;
	K = 1,5 - 2,0 solos não colapsáveis.
Clevenger (1958)	Se a massa volúmica seca for inferior a 1,28 g/cm^3, o assentamento será grande; Se a massa volúmica seca for superior a 1,44 g/cm^3 os assentamentos serão pequenos.
Priklonski (1952)	$K_d = (w_o - w_p) / I_p$
	$K_d < 0$ solos altamente colapsáveis;
	$K_d > 0,5$ solos não colapsáveis;
	$K_d > 1.0$ solos expansivos.
Soviet Building Code (1962)	$L = (e_o - e_l) / (1 + e_o)$ para $S_o < 60\%$ $L > - 0,1$ solo colapsável
Feda (1966)	$K_L = (w_0/S - LP)/IP$; Para S < 100%, se $K_L > 0,85$, o solo é colapsável.
Feda (1966)	$n_0 = e_0 / (1 + e_0)$; Se $n_0 > 40\%$ (porosidade natural do solo superior a 40%), o solo é suscetível de colapsar.

Nota: e_0 = índice de vazios do solo natural; e_1 = índice de vazios no limite de líquidez; w_0 = teor de água do solo natural; w_p = limite de plásticidade; I_p = índice de plasticidade; n_0 = porosidade natural/inicial; S_0 = grau de saturação natural, S = grau de saturação, LP = limite plástico, IP = índice de plásticidade,

Em relação aos critérios qualitativos, para além dos critérios na Tabela 2, considera-se também o critério gráfico conforme estabelecido por Lutenegger e Saber (1988) que distinguem o comportamento do solo em *colapsável* e *não colapsável* com base na *Massa volúmica natural seca* e no *Limite de líquidez*, conforme indicado na Figura 7:

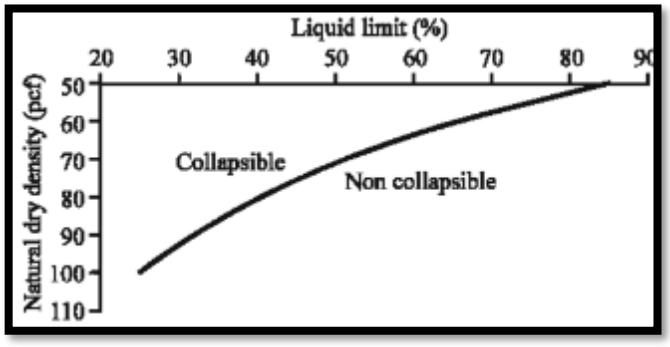


Figura 7. Critérios Qualitativos / Indirectos para avaliar a Colapsibilidade do Solo (Lutenegger & Saber, 1988).

No que concerne ao *reconhecimento geológico*, através da informação geológica e geomorfológica pode ser possível diagnosticar os depósitos de solo colapsáveis, por exemplo os engenheiros geotécnicos e geológicos sabem por experiência que os depósitos aluviais e coluvionares em regiões áridas são suscetíveis de apresentar algum potencial de colapso (Houston *et al*., 2001). Por outro lado, investigadores chineses referem que a informação geográfica e geomorfológica pode ser fortemente correlacionada com a possibilidade de colapso (Houston *et al*., 2001).

Os critérios indiretos ou qualitativos não fornecem uma medida direta da quantidade de deformação expectável (Lutenegger & Saber, 1988), porque não têm completamente em conta o comportamento de colapso dos solos, isto é, apenas permitem obter uma avaliação inicial/preliminar da colapsibilidade de um solo, pelo que, não podem ser considerados como um substituto da determinação laboratorial (Howayek *et al*., 2011) ou de campo do potencial de colapso.

No entanto, nos *critérios diretos* ou *quantitativos* (Zamani & Badv, 2019) a determinação do potencial de colapso tem em conta as tensões aplicadas e permite a quantificação do potencial de colapso em vários tipos de solo (Ferreira & Silva, 1957). Estes ensaios podem ser realizados em laboratório e/ou no campo.

Determinação do Potencial de Colapso no Laboratório

Os métodos de identificação direta incluem critérios quantitativos baseados em testes laboratoriais que utilizam um dispositivo denominado edómetro. Lutenneger e Saber (1988) definiram o potencial de colapso (PC) como uma medida da quantidade de alteração volumétrica que o solo sofre quando sujeito a cargas e à infiltração de água. A metodologia mais comum para medir diretamente o potencial de colapso é a realização de ensaios laboratoriais utilizando edómetros, que pode controlar e medir três fatores principais do PC: grau de saturação, massa volúmica seca e tensão de sobrecarga.

Por conseguinte, a norma ASTM D 4546:2021 estabelece três métodos de ensaio de laboratório (A, B e C) para medir ou determinar o potencial de colapso dos solos.
O método A (*ensaio de molhagem após carregamento*) implica um procedimento para medir o colapso induzido pela molhagem de amostras reconstituídas que reflectem condições de aterro compactado. O método B (*ensaio de ponto único de humedecimento após carregamento*) é um procedimento para medir o colapso induzido pela humidade de amostras intactas de um depósito natural ou de um aterro existente. O método C (*ensaio de carregamento após humedecimento*) é um procedimento para medir os dados de carga-deformação de amostras intactas (ou reconstituídas) que tenham sido previamente sujeitas a colapso induzido por humedecimento.
A norma ASTM D 4546:2021 refere que *colapso ou hidrocompressão (L) é a diminuição da altura de um elemento de solo ou de um provete induzida pela humidade* - Os métodos de ensaios A e B podem ser utilizados para determinar a magnitude do colapso que pode ocorrer para uma dada tensão axial vertical.
Ainda segundo a norma ASTM D 4546: 2021, a *Deformação por Colapso ou Hidrocompressão* (ε_c), expressa em percentagem [%], é definida como *"a variação da altura (Δh_2) induzida pela molhagem dividida pela altura imediatamente antes da molhagem (h_1) do provete de solo"*. A partir das leituras das deformações corrigidas para cada provete, são calculadas as seguintes quantidades: $h_1 = h - \Delta h_1$, para o caso de colapso $h_2 = h_1 - \Delta h_2$ e consequentemente a deformação de colapso (ε_c) ou potencial de colapso (PC) é calculado pela expressão (1):

$$PC = \varepsilon_c = \left(\frac{-100\,\Delta h_2}{h_1}\right) \qquad (1)$$

Onde:

h = altura inicial do provete ou amostra, mm;

Δh_1 = compressão do provete após aplicação de tensão e imediatamente antes da humidificação, mm;

h_1 = altura do provete imediatamente antes do humedecimento, mm;

Δh_2 = variação da altura do provete induzida pela molhagem: colapso causado pela humidade, mm;

h_2 = altura final do provete após humedecimento, mm;

ε_c = deformação de colapso ou potencial de colapso (PC).

Nota: A deformação de colapso (ε_c) é apresentado como negativa devido à sua posição em relação ao eixo das ordenadas (deformação).

A norma ASTM D 4546 (2021) define a *Compressão (L)* como *"a diminuição da altura de um elemento de solo ou de um provete devido à humidade (sinónimo de hidrocompressão ou colapso) ou devido ao aumento da tensão total"*. A *compressão* é o sinónimo alargado de *hidrocompressão* ou *colapso*.

Determinação do Potencial de Colapso no Campo

A revisão da literatura de especialidade permitiu identificar alguns ensaios e correspondentes equipamentos utilizados para determinação do potencial de colapso no campo, designadamente: ensaios de carga em placa, ensaios em estacas (Silva, 1970), e ensaios com o equipamento

designado *expansocolapsómetro* (Louro *et al.*, 2016; Guilherme *et al.*, 2016). Dentre os três ensaios referenciados, no presente trabalho, é descrito apenas o funcionamento do equipamento *Expansocolapsómetro* (Figura 8) devido à sua rapidez e precisão (Louro *et al., 2016).*



Figura 8. Expansocolapsómetro (Louro *et al.*, 2016)

O "Expansocolapsómetro" é um equipamento que avalia a variação de volume dos solos no campo a diferentes profundidades. A carga é aplicada por fases até se atingir a tensão desejada, e para a qual é feita a inundação. As variações são medidas por extensómetros até que estejam estabilizadas, sendo o potencial de colapso definido pela expressão (2):

$$\boldsymbol{PC} = \frac{\boldsymbol{\Delta H}}{\boldsymbol{H}} \times \mathbf{100} \qquad (2)$$

Onde:

PC: potencial de colapso em percentagem;

ΔH: é a variação de altura (assentamento) devido à inundação;

H: espessura inicial da camada comprometida com o processo de colapso antes da inundação. Sendo calculada por 2,5D, onde D é o diâmetro da placa (100 mm).

As vantagens dos ensaios de colapso no campo são a minimização da perturbação da amostra, um maior volume de solo testado, e a obtenção de um grau de molhagem que provavelmente será semelhante ao protótipo (Houston *et al.*, 2001).

Critérios Quantitativos / Diretos para Avaliação do Potencial de Colapso

Após a determinação do potencial de colapso através dos ensaios edométricos (no laboratório) ou ensaios de campo, o *grau de colapso do solo* pode ser encontrado comparando o resultado do potencial de colapso com um dos critérios de colapso na Tabela 3.

Tabela 5. Critérios quantitativos / diretos para avaliar o potencial de colapso do solo (Lutenegger & Saber, 1988; Zamani & Badv, 2019; Geotechnical Manual, 2024).

Critério de Colapso	Potencial de Colapso (PC) (*) [%]	Grau de colapso do solo (**) / Severidade do Problema
Abelev (1948)	PC > 2	Solo colapsável
Jennings and Knight (1975)	0 < PC ≤ 1	Solo sem risco de colapso
	1 < PC ≤ 5	Solo com problema moderado de colapso
	5 < PC ≤ 10	Solo com problema de colapso
	10 < PC ≤ 20	Solo com problema severo de colapso
	PC > 20	Solo com problema muito severo de colapso
Sabbagh (1982)	0 < PC ≤ 2	Solo é pouco colapsável
	0 < PC ≤ 2	Solo é moderadamente colapsável
	PC > 5	Solo é altamente colapsável
Lutenegger and Saber (1988)	2	Solo com problema ligeiro de colapso
	6	Solo com problema moderado de colapso
	10	Solo com problema severo de colapso
ASTM D5333 (2003) conforme citado em Geotechnical Manual (2024)	0	Solo sem risco de colapso
	0 < PC ≤ 2	Solo com problema ligeiro de colapso
	2 < PC ≤ 6	Solo com problema moderado de colapso
	6 < PC ≤ 10	Solo com problema moderadamente severo de colapso
	PC > 10.0	Solo com problema severo de colapso

(*): O potencial de colapso (PC) é referido como deformação de colapso na norma ASTM D4546 (2021).

(**): Grau de colapso com base na deformação de colapso / potencial de colapso da norma ASTM D4546 (2021) (Geotechnical Manual, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ENSAIO DE COLAPSO REALIZADO COM A NORMA ASTM D4546-21

Nesta secção apresentam-se os resultados de um conjunto de ensaios de caraterização geotécnica básica e de ensaios de hidrocompressibilidade edométrica realizados com o objetivo de avaliar a colapsibilidade das areias vermelhas nas "áreas adjacentes à Centralidade KK 8800, do Zango 5", província de Luanda, República de Angola. Nesta área há fortes evidências de ocorrência de fenómenos erosivos nos últimos anos.

Ensaios de caracterização e classificação do solo

As propriedades físicas básicas do solo caracterizado, designadamente o teor de água, w, o peso volúmico, γ, o peso volúmico seco, γ_d, o peso volúmico submerso, γ_{sub}, a densidade relativa das partículas sólidas, G_s, o índice de vazios, e, a porosidade, n, e o grau de saturação, S_r estão resumidos no Tabela 5.

Tabela 5. Propriedades físicas do solo.

Propriedades físicas básicas do solo (Bloco 1):	Valor
Densidade relativa das partículas sólidas, G_s	2,69
Teor de água, w [%]	3,50
Peso volúmico seco, γ_d [kN/m^3]	15,85
Peso volúmico, γ [kN/m^3]	16,40
Peso volúmico submerso, γ_{sub} [kN/m^3	9,95
Índice de vazios, e	0,66
Porosidade, n [%]	39,89
Grau de saturação, S_r [%]	14,19
Limite de liquidez	NP
Limite de plasticidade	NP
Índice de plasticidade	NP

Distribuição granulométrica:	
Fração de cascalho (≥2mm) [%]	0,00
Fração de areia (2mm-0,075mm) [%]	85,01
Fração de silte (0,075mm-0,002mm) [%]	5,64
Fração de argila (≤0,002mm) [%]	9.35
Sistema Unificado de Classificação de Solos	SP-SC

A composição e distribuição granulométrica resultante do ensaio de granulometria por peneiração via húmida e sedimentação é apesentado na Figura 9, e na Tabela 5 são também mostrados os valores correspondentes à distribuição percentual das frações granulométricas, de acordo com a norma ASTM D6913/D6913M-17, bem como os parâmetros granulométricos D_{10}, D_{30}, D_{60}, C_C e C_U representados na Tabela 4.

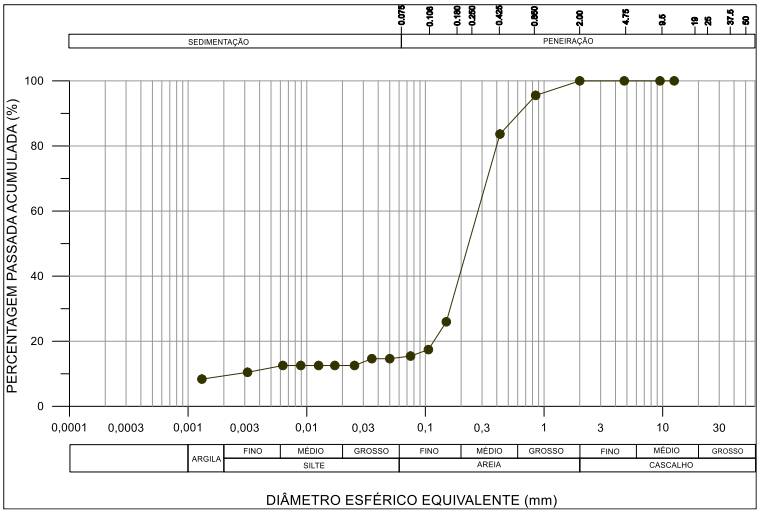


Figura 9. Curva granulométrica do solo caracterizado (Bloco 1).

Tabela 4. Parâmetros granulométricos.

D_{10} = 0,0025 mm	D_{30} = 0,17mm	D_{60} = 0,29 mm	$C_u = D_{60}/D_{10}$	$Cc = (D_{30})^2/(D_{10}*D_{60})$
			C_u = 116	Cc = 39,86 ≅ 40

Em termos da distribuição percentual das frações granulométricas, este solo é constituído por 85,01% de partículas de areia, 5,64% de partículas de silte e 9,35% de partículas de argila. O solo apresenta valores de coeficiente de uniformidade, C_U, igual a 116 (≥ 6) e o valor do coeficiente de curvatura, C_C, é aproximadamente igual a 40 (>3).

Os limites de consistência do solo (limite de plasticidade, limite liquidez e índice de plasticidade) foram determinadas de acordo com a norma ASTM D 4318 – 00 e medidos como não-plástico (NP).

O solo é classificado como “SP-SC Areia mal graduada com argila”, de acordo com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (ASTM D2487-17e1), o qual depende, no essencial, da granulometria e da plasticidade dos solos.
É de notar que o procedimento de amostragem em bloco foi realizado no mês de Outubro de 2023, durante a estação das chuvas. A investigação de campo no local não revelou qualquer sinal de um lençol freático até aos 15 metros abaixo da superfície do solo. Consequentemente,

o estado não saturado do solo superficial provoca uma estrutura natural relativamente rígida, tendo assim facilitado o processo de amostragem.

Preparação das amostras

Os provetes de solo intacto foram retirados diretamente da amostra em bloco (Bloco 1) de acordo com o seguinte procedimento: Começou-se por identificar uma parte da amostra suficientemente espaçosa para acomodar um provete (Figura 10). A parte selecionada foi cuidadosamente nivelada com uma espátula até atingir o tamanho do provete-alvo. Utilizou-se o próprio anel do ensaio edométrico (d = 70 mm e h = 20 mm) como guia para cortar cuidadosamente a amostra com as dimensões exatas. O anel foi então empurrado pouco a pouco até que todo o provete fosse extraído através dele. A face superior foi nivelada horizontalmente com uma régua de corte. A parte inferior foi então cuidadosamente separada da amostra em bloco utilizando uma espátula. Finalmente, todo o conjunto foi virado e a face inferior foi nivelada de forma semelhante à face superior. Portanto, a Figura 10 mostra um provete intacto a ser preparado de acordo com este procedimento para o ensaio com o edómetro.

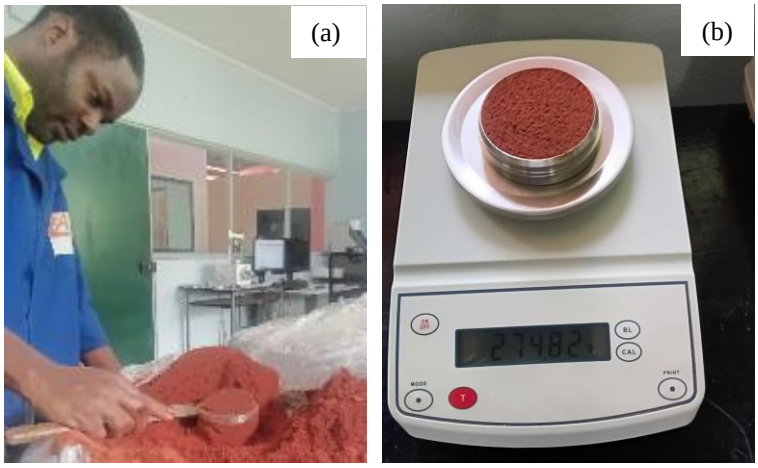


Figura 10. Preparação do provete intacto: a) Moldagem do provete no bloco a partir do anel; b) Pesagem do provete de solo.

Com o objetivo de investigar o colapso e o comportamento das areias vermelhas, foi utilizado o edómetro automático da GDS (Figura 11).



Figura 11. Edómetro automático da GDS

Procedimento do ensaio

O ensaio de compressão com o edómetro foi realizado de acordo com o procedimento de ensaio da norma ASTM D4546-21 *Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soil*, utilizando o Método de Ensaio B para o presente estudo. Relativamente aos ensaios de colapso, primeiro deve colocar-se a amostra intacta num consolidómetro e aplicar uma pressão de assentamento de 1 kPa e em seguida colocar o deflectómetro (ou o transdutor de deslocamentos) em zero, para a leitura inicial.
Para avaliar o grau de perturbação do provete, carrega-se o provete em incrementos até uma tensão vertical igual à tensão vertical "in-situ" à profundidade da amostragem. Utilizar três ou mais incrementos de carga com um tempo total não superior a uma hora. Dependendo do grau de perturbação da amostra/provete, pode haver uma quantidade pequena ou significativa de compressão durante esta fase de carga. Em seguida, descarregar o provete e voltar a carregá-lo em incrementos. A diferença entre a magnitude da compressão no primeiro e no segundo ciclo de aplicação da carga é indicativo da perturbação da amostra.
Após a re-aplicação da tensão igual a tensão vertical "in situ", deixar o provete estabilizar durante 30 a 60 minutos, enquanto se efetuam várias leituras para verificar a condição de equilíbrio.
Inundar o provete com água destilada e medir as deformações de hidrocompressão (ou deformação de colapso) resultantes em intervalos de tempo de 0,5 min.; 1 min.; 2 min.; 4 min.; 8 min.; 15 min.; 30 min.; 1 h; 2h; 4 h; 8 h; 24 h; etc. (normalmente de 24 a 72 h). Medir a deformação por hidrocompressão antes de retirar a amostra. Por fim, retirar a amostra do consolidómetro, pesá-la e secá-la numa estufa para determinar o teor em água da amostra.

Interpretação dos resultados do ensaio

O provete foi inserido na célula do edómetro automático GDS e foi aplicada uma pequena carga de assentamento de 1 kPa, que foi mantida até serem atingidas condições de estado estacionário para o ensaio de compressão e de colapso para o deslocamento vertical. O provete foi então sujeito a um ciclo de carga seguido de um ciclo de descarga e um novo ciclo de carga seguido de um período de estabilização do provete antes de ser inundado com água destilada a uma carga constante de 27 kPa e as variações no deslocamento vertical foram registadas, nos tempos de 0,5 min; 1 min; 2 min; 4 min; 8 min; 15 min; 30 min; 1 h; 2 h; 4 h; 8 h e 24 h usando uma escala logarítmica para a tensões verticais A Tabela 6 mostra os registos feitos durante os diferentes estágios do ensaio.

Tabela 6. Registos durante os diferentes estágios do ensaio e pontos da curva de compressão e colapso

Estágio	Carga [kPa]	h_f [mm]	Deformação, ε [%]	Pontos da curva de compressão e colapso
1	1	19,938	1,655	A (1; 1,655)
2	7	19,767	0,787	B (7; 0,787)
3	14	19,665	0,264	C (14; 0,264)
4	27	19,539	-0,380	D (27; -0,380)
5	14	19,550	-0,320	E (14; -0,320)
6	7	19,562	-0,260	F (7; -0,260)
7	14	19,552	-0,311	G (14; -0,311)
8	27	19,527	-0,437	H (27; -0,437)
9	27	19,516	-0,494	I (27; -0,494)
10	27	17,902	-8,727	J (27; -8,727)

A Figura 12 mostra a representação gráfica dos registos dos ensaios, correspondendo, deste modo, à *curva de compressão e colapso* do solo estudado.

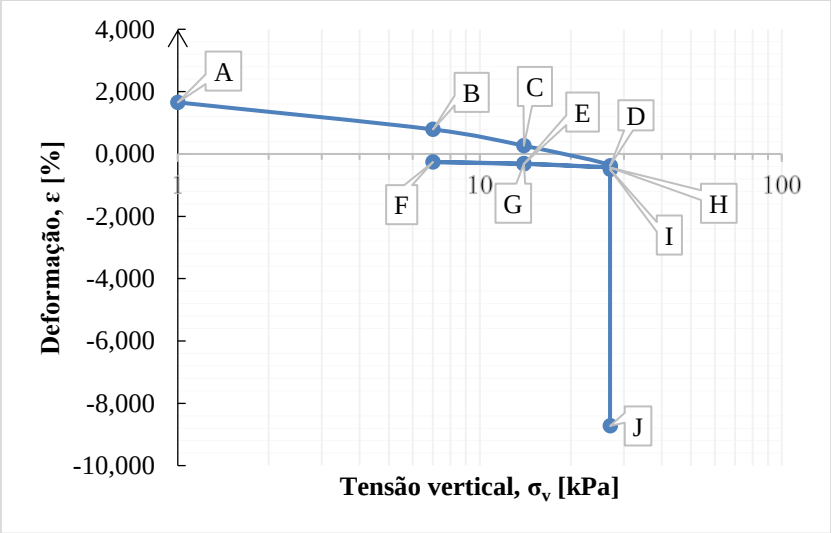


Figura 12. Curva de compressão e colapso com o edómetro.

O ensaio edométrico iniciou-se com a aplicação de uma carga de assentamento, de 1 kPa, no ponto A, tendo-se observado uma deformação de 1,65% em termos de deformação volumétrica. Após a compressão inicial (A-B), seguiu-se o primeiro ciclo de carga (curva B-C-D), que representa a resposta do solo ao seu teor de água "in situ". A partir do ponto D (correspondente a 27 kPa) foi dado início ao ciclo de descarga, representado pela curva D-E-F, após o qual inicia-se outro ciclo de carga (curva F-G-H) e, a partir do ponto H, inicia um período de equilíbrio (curva H-I) a uma tensão constante de 27 kPa. No ponto I o provete é inundado durante 72 horas e as medições de deformação são efetuadas conforme o especificado no início desta secção.

De acordo a norma ASTM D 4546 (2021), a deformação por colapso ou hidrocompressão, ε_c [%] é a variação da altura induzida pela molhagem (Δh_2 = 1,506 mm) dividida pela altura imediatamente anterior à molhagem (h_1= 19,6131 mm), portanto a deformação por colapso ou potencial de colapso é igual a PC = $\varepsilon_c = \left(\frac{-100\,\Delta h_2}{h_1}\right) \cong 7{,}68$ %.

A diferença entre as deformações antes e depois da inundação com água (pontos I-J na Figura 12) representa a quantidade de deformação de colapso no nível de tensão especificado.
No entanto, de acordo com a ASTM D 5333 (2003), conforme citado no Manual Geotécnico (2024), a deformação de colapso ou o potencial de colapso que para este caso é obtido no nível de tensão "in situ" de 27 kPa é classificado como um *solo com um problema de colapso moderadamente grave*, uma vez que $6 < PC \leq 10$.
Por outro lado, Sabbagh (1982) classifica-o como um *solo altamente colapsável* (PC > 5), enquanto Jennings e Knight (1975) classificam-no como um *solo com um problema de colapso* ($5 < PC \leq 10$) e, finalmente, Abelev (1948) classifica-o como um *solo colapsável* porque PC > 2.
De acordo com Vilar & Ferreira (2019), os solos colapsáveis são também designados por *verdadeiramente colapsáveis* quando o fenómeno de redução de volume ocorre devido ao humedecimento sob a ação do seu peso próprio e *condicionalmente colapsáveis* quando a redução de volume ocorre devido a uma sobrecarga adicional. Assim, este solo pode ser considerado *verdadeiramente colapsável*, uma vez que quando humedecido e sujeito apenas ao seu peso próprio (tensão "in situ"), o seu grau de colapso, resulta como um *solo com problema de colapso moderadamente severo*.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, procedeu-se à revisão da literatura e à realização de um conjunto de ensaios físicos básicos e de ensaios de colapso unidimensionais para avaliar o potencial de colapso deste solo no seu estado natural. De acordo com os resultados obtidos, as principais conclusões são apresentadas a seguir:

- O resultado do ensaio de colapso efetuado numa amostra mostrou que o potencial de colapso (ε_c) é de 7,68%, e consequentemente o solo é classificado como um *solo com um problema de colapso moderadamente grave*;
- De acordo com o resultado obtido, no local correspondente à área de estudo, o solo, pertencente às designadas "Areias vermelhas de Luanda", é então considerado como *verdadeiramente colapsável* visto que o fenómeno de redução de volume (colapso) ocorre devido à molhagem sob a ação do seu peso próprio apenas. Este primeiro resultado deverá, obviamente, ser complementado com o aumento do número de ensaios, quer na área abrangida pelo presente estudo - com outros ensaios já em curso - quer noutras zonas da cidade de Luanda, de modo a obter-se um conhecimento mais consistente da distribuição do potencial de colapso, dada a heterogeneidade das propriedades geotécnicas do solo *Muceque*;
- A propensão deste tipo de solos ao colapso, combinada com a elevada pluviosidade da região, aumenta o risco de propagação das formas de erosão (sulcos, barrancos e ravinas), tal como pode ser observado na área de estudo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) pelo financiamento da bolsa de doutoramento SFRH/BD/151471/2021.

Ao Laboratório de Engenharia de Angola (LEA) pelo suporte técnico na realização dos ensaios de colapsibilidade do solo.

REFERÊNCIAS

AL-Rawas, A. A. (2000). State-of-the-Art-Review of Collapsible Soils. *Sultan Qaboos University Journal for Science [SQUJS]*, *5*, 115. https://doi.org/10.24200/squjs.vol5iss0pp115-135

ASTM D 5333. (2003). ASTM D5333-03: Standard Test Method for Measurement of Collapse Potential of Soils. In *ASTM International* (Vol. 04).

ASTM D4546. (2021). *Standard Test Methods for One -Dimensional Swell or Collapse of Soils (ASTM D4546 − 21)*.

Departamento de Geologia da UAN-FC. (2018). *Relatório Final do Projecto - Levantamento Geológico da Formação Quelo (Areias Vermelhas do Muceque) na Provincia de Luanda e Arredores*.

Ferreira, H. N., & Silva, L. J. (1957). O Muceque como Fundação de Edificios e Base de Pavimentos. In *Jornada de Estradas* (p. 24). Laboratório de Engenharia da D.S.O.P. e T. de Angola.

Fredlund, D. (2006). Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice. *JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING © ASCE / MARCH*

2006, *March*, 286–321. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:3(286)

Geotechnical Manual. (2024). *Collapsible Soil. Ct* (Issue February).

Guilherme, L. C., Ana Patrícia Nunes Bandeira, Antônio Maciel Moura Chaves, & Barbosa, H. T. (2016). Avaliação do potencial de colapso de um solo do município de Barbalha-CE. *Anais Do XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica Dos Solos e Engenharia Geotécnica*, *January 2015*. https://doi.org/10.20906/cps/cb-02-0028

Houston, S. L., Houston, W. N., Zapata, C. E., & Lawrence, C. (2001). Geotechnical engineering practice for collapsible soils. *Geotechnical and Geological Engineering 19: 333-355, 2001*, 333–355.

Howayek, A. El, Huang, P.-T., Bisnett, R., & Santagata, M. C. (2011). *IDENTIFICATION AND BEHAVIOR OF COLLAPSIBLE SOILS*. https://doi.org/10.5703/1288284314625

Louro, C. F., Soares, F. T., Ribeiro, K. F. A., & Junior, I. R. (2016). Utilização De Expanso-Colapsômetro Na Determinação Do Colapso No Solo De Rondonópolis - Mt. *Anais Do XVIII Congresso Brasileiro de Mecânica Dos Solos e Engenharia Geotécnica*. https://doi.org/10.20906/cps/cb-02-0032

Lutenegger, A. J., & Saber, R. T. (1988). Determination of Collapse Potential of Soils. *Geotechnical Testing Journal*, *11*(3), 173–178. https://doi.org/10.1520/gtj10003j

Mansour, Z. M., ChiK, Z., & M.R. Taha. (2008). On the Procedures of Soil Collapse Potential Evaluation. *Journal of Applied Sciences - 8 (23): 4439. 2008*, 7. https://doi.org/10.3923/jas.2008.4434.4439

Maranha das Neves, E. (2016). *Mecânica dos Estados Críticos - Solos Saturados e Não Saturados* (IST Press (ed.); 1ª Edição). IST Press.

Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of Soil Behavior* (B. University of California (ed.); Second Ed.). John Wiley & Sons, Inc.

Silva, J. A. H. da. (1965). *Contributo para o Conhecimento das Areias Vermelhas da Região de Luanda "Muceque": Estudo da Fracção Argilosa* (Memória nº127-Boletim Nº 12; p. 8). Serviços de Geologia e Minas de Luanda. https://doi.org/C.D.U. 549.9:553.623 (673.2)

Silva, J. A. H. da. (1970). *Nota sobre as Características Geológico-Geotécnicos dos Terrenos do Muceque Lixeira, Bungo e Boavista* (p. 20). Laboratório de Engenharia de Angola - LEA. https://doi.org/Nº 11.797

Silva, J. A. H., & Teixeira, J. A. P. G. (1973). *Carta Geotécnica da Região de Luanda - 1ª Aproximação* (Publicação Nº 183; p. 11). Laboratório de Engenharia de Angola - LEA. https://doi.org/550.8:526.8(673)

Vilar, O. M., & Ferreira, S. R. M. (2019). Solos colapsíveis e expansivos. In *Solos não saturados no contexto geotécnico* (Issue Março, pp. 415–436).

Yuyun Xia, Y., Qiao, J., Liu, Z., Tang, L., Liu, M., Cheng, Y., Jiang, W., & Huang, L. (2024). Investigation of engineering characteristics of red sand in Luanda, Angola. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1330*(1). https://doi.org/10.1088/1755-1315/1330/1/012030

Zamani, M., & Badv, K. (2019). Assessment of the Geotechnical Behavior of Collapsible Soils: A Case Study of the Mohammad-Abad Railway Station Soil in Semnan. *Geotechnical and Geological Engineering*, *37*(4), 2847–2860. https://doi.org/10.1007/s10706-018-00800-1

ARTIGO Nº22638

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA, GEOQUÍMICA E TECNOLÓGICA DE ARGILAS DE CAFUMPE (MOÇAMBIQUE) PARA APLICAÇÃO NA INDUSTRIA CERÂMICA

Osvaldo Jorge Brito Rupias[1(*)], Fernando Rocha[2]

[1]Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Licungo, Rua Dom Francisco Almeida nº 737/751, C.P: 2025, Beira, Moçambique.
[2]Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Campus Universitário de Santiago, P.O. Box 3810-193, Aveiro, Portugal.
(*) *E-mail*: osvaldorupias@gmail.com

RESUMO

A caracterização das matérias-primas argilosas da região de Cafumpe constitui matéria de interesse para a geologia nacional, quer do ponto de vista científico quer aplicado à indústria cerâmica ou para áreas afins.

O presente trabalho pretende contribuir para essa caracterização através dos estudos dos depósitos argilosos residuais do Cafumpe. Por forma a cumprir esse objectivo, foram seleccionados e amostrados níveis argilosos no depósito estudado e foram submetidos a diversos ensaios laboratoriais. Os métodos usados para a caracterização das amostras em termos tecnólogicos foram: análise granulométrica, abrasão e índice de abrasividade, limites de consistência, tempos de arrefecimento, superfície específica, capacidade troca catiónica e os respectivos catiões de troca, análise mineralógica por difração de Raios X em agregados orientados (<2μm) e em agregados não orientados (<63μm), análise química (elementos maiores e menores) por fluorescência de Raios X e expansibilidade. Os resultados obtidos foram submetidos a análise estatística univariada, bivariada e multivariada através da análise de componentes principais. Os resultados revelaram que as argilas são muito plásticas apesar de apresentarem elevadas quantidades de quartzo e filossilicatos, sendo a associação mineralógica argilosa predominantemente constituída por caulinite, seguida de ilite e esmectite; como minerais acessórios abundam óxidos e hidróxidos de ferro como goethite, hematite, magnetite-maghemite; constata-se uma ausência de feldspato o que indica um elevado estado e alteração da rocha-mãe. Os resultados das análises químicas evidenciaram a forte presença de sílica (SiO_2), Alumínio (Al_2O_3) e Ferro (Fe_2O_3), reflexo da predominância do quartzo e dos filosilicatos. O estudo geoquímico possibilitou inferir a origem dos depósitos como o resultado da forte meteorização química. Como conclusão constatou-se que as argilas deste depósito poderão eventualmente ser aplicadas para a produção de tijolos cerâmicos; porém para a produção de telha necessitam de uma apurada classificação e beneficiação com vista, nomeadamente, à redução do quartzo.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente tem se registrado em Moçambique uma vasta tendencia de construções de infraestrutura pública e privadas associado a crescente desenvolvimento do pais. Porém, As indústrias de produção de tijolos cerâmicos não tem a capacidade de cobertura do mercado nacional devido à qualidade de materia prima para aplicação ceramica.

A caracterização mais pormenorizada do depósito argiloso de Cafumpe, área de estudo da presente pesquisa, de que existe escasso, ou quase nenhum estudo prévio, contribui para um maior conhecimento deste recurso mineral não metálico com numerosas aplicações e essencial para a industria cerâmica, e com importância para a comunidade científica em geral, visto que (Velho, 2015), as argilas são geomateriais de relevante importância no âmbito dos minerais industriais. Elas fazem parte das história das civilizações, acompanharam o homem na estrada da evolução para uma melhor qualidade de vida. Na cerâmica, na escrita, na saúde, na construção de edifícios, no dia-a-dia, as argilas têm contribuido de uma forma muito subtil e eficaz, para a resolução dos desafios tecnológicos que se têm colocado ao homem ao longo dos tempos.

Todavia, Moçambique é caracterizado pela ocorrência de uma grande diversidade geológica (geodiversidade), da qual fazem parte as argilas que constituem um recurso mineral importante por ser o que permite aplicações industriais em maior número e diversidade, em função de certas características específicas da argila ou dos seus depósitos, com carácter excepcional do ponto de vista científico, económico e histórico. Em contrapartida, Moçambique é um país onde a maior parte da população rural vive em habitações precárias, e ainda se depara com falta de infraestrutura pública rural; sendo assim, A presente pesquisa tem como objetivo de caracterizar as argilas de Cafumpe-Moçambique, do ponto de vista mineralógico, geoquímico e tecnológico para aplicação na indústria cerâmica.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se no posto administrativo de cafumpe, Distrito de Gondola, Província de Manica, na região centro de Moçambique (Figura 1). Encontra-se a uma distância de cerca de 12 Km da cidade de Chimoio e cerca de 14 Km da sede do distrito de Gondola. A área é abrangida pela folha número 1932/1933 da carta Geológica de Moçambique, na escala 1:250000 publicada pelo GTK *Consortium* (2004).

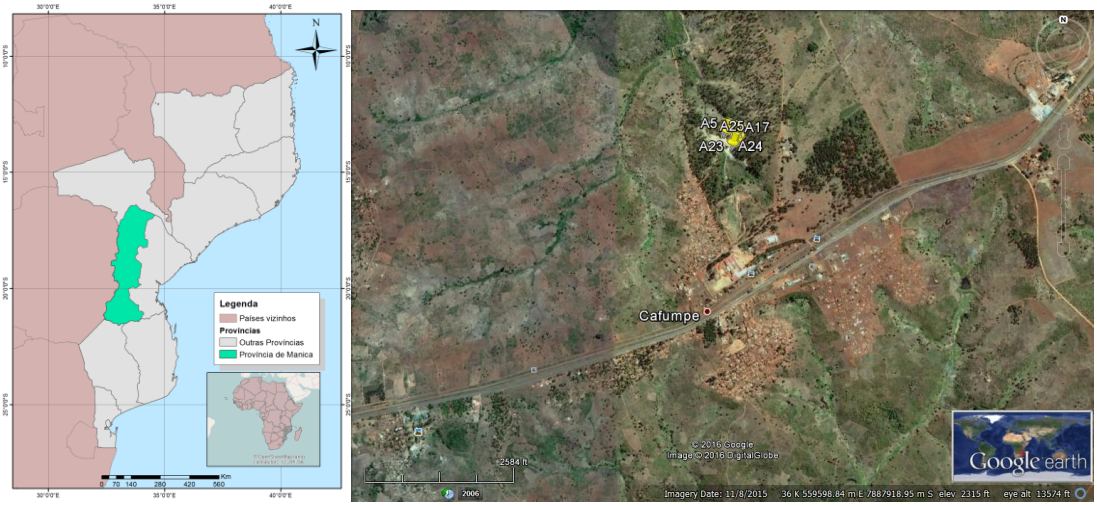


Figura 1: Localização da área de estudo.

3. GEOLOGIA DA ÁREA DE ESTUDO

Do ponto de vista geológico, o depósito de argilas de Cafumpe está contido na folha 1932/1933 da carta geológica Moçambique na escala 1:250000 publicada pela direção Nacional de Geologia e faz parte do grupo de Chimoio intergada no complexo de Bárue, sendo considerado resultante da alteração residual de gnaisse félsico biotítico, metagranitos (gnaisse do monte

chissui) pertencente á idade mesoproterozóico. A região é limitada a Norte, Sul, Oeste e Sudeste por um conjunto de rochas paragnaisse migmatítico e a nordeste por metassedimento siliciclástico pertencentes à idade mesoproterozóica (Figura 2).

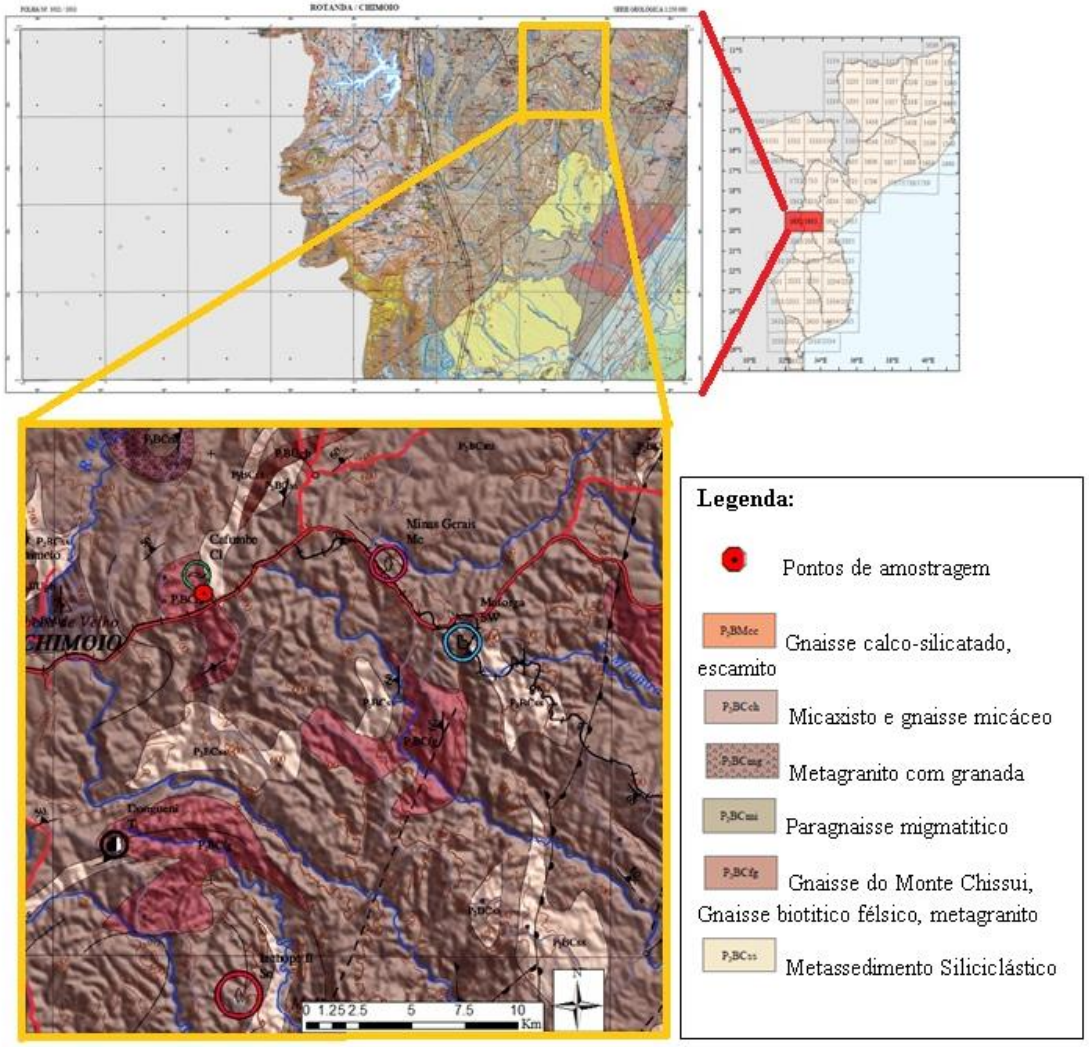


Figura 2: Mapa geológico da área de estudo.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Amostragem

Tendo em atenção os objectivos deste estudo, não se pretendeu efectuar uma amostragem exaustiva de todos os níveis argilosos do depósito de Cafumpe, mas sim uma focada naqueles que apresentam maior potencial como recursos em argila, para a sua posterior caracterização.

Os possíveis locais para amostragem eram localizações precisas correspondentes ao depósito que se encontra em exploração pela fábrica de cerâmica de villa pery. As coordenadas dos pontos de amostragem foram adquiridas através do GPS do modelo "*Garmin 72H*". No levantamento efectuado, usou-se o Sistema de Coordenadas em minutos decimais, e posteriormente foram convertidas em coordenadas rectangulares U.T.M. – WGS84 (Universal Transverse Mercator – Datum WGS84) de modo a ficar adequadas com o sistema de coordenadas da carta geológica e da carta cartográfica.

Foram coletadas 30 amostras (Figura 3) do mesmo depósito pertencentes à idade mesoproterozóica. Porém, dentre elas sómente 12 amostras foram selecionadas para o estudo e caracterização em função da cor e potencial em argila, tal como se apresenta na figura abaixo.



Figura 3: Localização dos pontos de amostragem (Imagem de satélite obtida do Google earth)

4.2. Preparação das Amostras

Após a colheita de amostras seguiu-se a fase do tratamento que consistiu primeiro em deixar as amostras a secar em estufas do laboratório a uma temperatura de 50º C para reduzir o teor de humidade; a temperatura usada foi suficiente para a secagem, mas de modo que não provocasse a alteração na estrutura dos minerais argilosos que são o objeto de estudo deste trabalho. Contudo, Trindade (2007) afirma que, o material argiloso deve ser tratado antes de ser sujeito a qualquer tipo de análise desde que se tenha em conta que o tratamento a aplicar, de natureza física ou química, pode provocar alterações na estrutura dos minerais argilosos que são muito vulneráveis.

Na segunda fase de tratamento das amostras fez-se quarteamento para promover a sua máxima homogeneização e representatividade; em seguidas retiraram-se 500 gramas de cada amostra, no universo de 1000 gramas, para a separação granulométrica inferior a 63 μm por via húmida, fração esta que viria posteriormente a ser usada como base para a realização de todos os ensaios descritos ao longo do trabalho; as restantes 500 gramas foram guardadas para servir de testemunho. Os equipamentos usados durante a preparação das amostras foram devidamente lavados, limpos e esterilizados com álcool etílico de modo a evitar a contaminação das amostras.

4.3. Técnicas de Análise

A separação granulométrica das amostras de argila foi feita por via húmida e utilizou-se um peneiro ASTM (American Standards for Testing Materials) com malha de 0,063 mm. Para a obtenção da fracção argilosa (< 0,002 mm) utilizou-se a separação por sedimentação em meio húmido de acordo com a Lei de Stokes. (Gomes, 1988, Carvalho, 2003 e Mansa et al. 2016).

A análise mineralógica das frações inferiores a 63 μm e inferiores a 2 μm foi determinada por meio da técnica de Difracção de Raios-X (DRX) através do difractómetro Panalytical X'Pert, constituído por um gerador PW 1130/90 e um goniómetro PW 1050/70 existente no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, (Mansa et al. 2016). Na presente análise utilizou-se a radiação K α Cu (λ = 1,5405 Å), por filtro de Ni com monocromatização não completa. As condições operacionais foram as seguintes: 30 mA, 50 kV, sensibilidade de 2×10^3, velocidade de rotação do goniómetro de 1º/s. (Andrejkovičová et al. 2016). O método analítico utilizado neste estudo foi o método das poeiras cristalinas, sendo gráfico o modo de registo do modelo de difracção (técnica de difractometria de pós).

A análise química dos elementos maiores (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, MnO, TiO_2, P_2O_5, SO_3 e Cl) foi realizada através da técnica de Fluorescencia de Raios-X (FRX) onde foi utilizado um equipamento Panalytical, espectrómetro Axios em discos fundidos das amostras e dos padrões. A radiação utilizada foi Rh.

Na análise da Perda ao Rubro, em termos de norma, adoptou-se o procedimento utilizado no Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro. Nesta técnica Colocou-se o cadinho numa mufla à temperatura de 1100 ºC, durante 3 h. A capacidade de troca catiônica foi medida com o procedimento padrão de acetato de amônio (Meir and Nuesch, 1999; Bergaya et al., 2006).

O teste da abrasividade foi realizado em amostras da fracção < 0,063 mm através do abrasivímetro Einheler AT-1000 a 1800 rpm em conformidade com as recomendações citadas por Terroso (2005) e Velho, (2003) seleccionando 174000 revoluções que correspondem a cerca de 96 min de duração do ensaio. Os limites de consistência de Atterberg (Limite de Liquidez (LL), Limite de Plasticidade (LP) e o Índice de plasticidade (IP=LL-LP) determinaram-se para todas as amostras coletadas no campo, com base no procedimento usado no Laboratório de Materiais do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro em conformidade com o método de Casagrande (1947), Mahmoudi (2016).

O método utilizado para a determinação da expansibilidade foi a especificação do LNEC E 200 de 1967 "Solos – Ensaios de Expansibilidade", que é a norma usada mais correntemente em Portugal. À semelhança dos ensaios descritos anteriormente neste trabalho, para a realização do ensaio de expansibilidade, usaram-se amostras com a fracção inferior 0,063 mm (230 mesh).

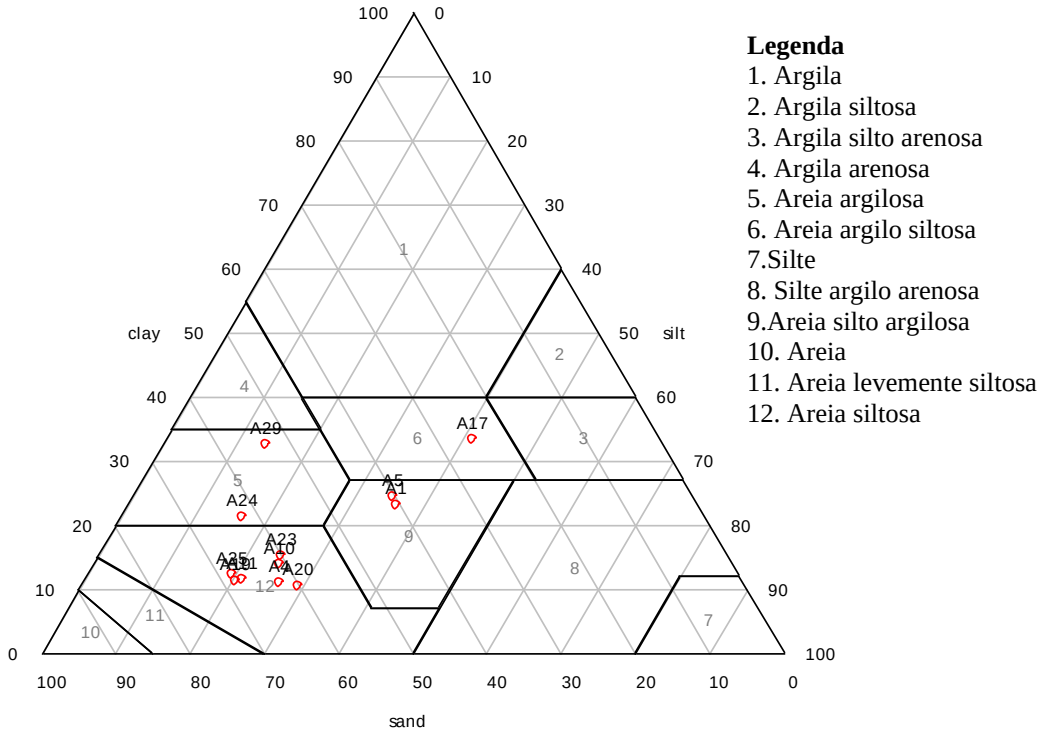
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análise Granulométrica

Os resultados da análise granulométrica por peneiração e por sedimentação com base na lei de Stock estão sintetizados na tabela 1. Neste trabalho foi utilizada a classificação proposta pelo *Soil Survey Staff* do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América do Norte que é uma classificação descritiva baseada nas razões entre classes texturais e nas nomenclaturas associadas, permitindo a distinção precisa entre os diferentes tipos de amostras. Ainda segundo as dados da Tabela 1 observa-se que as amostras são muito grosseiras por apresentarem níveis de quartzo superior a 50% com excepção das amostras A1, A5 e A17 que apresentam níveis baixos. Relativamente as fracções argilosas existente, destacam-se as amostras A17 e A29 por apresentarem níveis superior a 30%.

Tabela 1: Parâmetros granulométricos das amostras analisadas

Amostra	% Areia (>63 µm)	% Silte (2-63 µm)	% Argila (<2µm)
A1	40.60	36.26	23.14
A4	62.60	26.54	10.86
A5	40.37	35.32	24.32
A10	61.08	25.17	13.75
A11	67.13	21.44	11.43
A17	25.22	41.41	33.37
A19	68.37	20.48	11.15
A20	60.32	29.33	10.35
A23	60.12	24.72	15.16
A24	62.47	16.36	21.17
A25	68.21	19.67	12.12
A29	53.41	13.96	32.62
Média	**55.83**	**25.89**	**18.29**



Legenda
1. Argila
2. Argila siltosa
3. Argila silto arenosa
4. Argila arenosa
5. Areia argilosa
6. Areia argilo siltosa
7.Silte
8. Silte argilo arenosa
9.Areia silto argilosa
10. Areia
11. Areia levemente siltosa
12. Areia siltosa

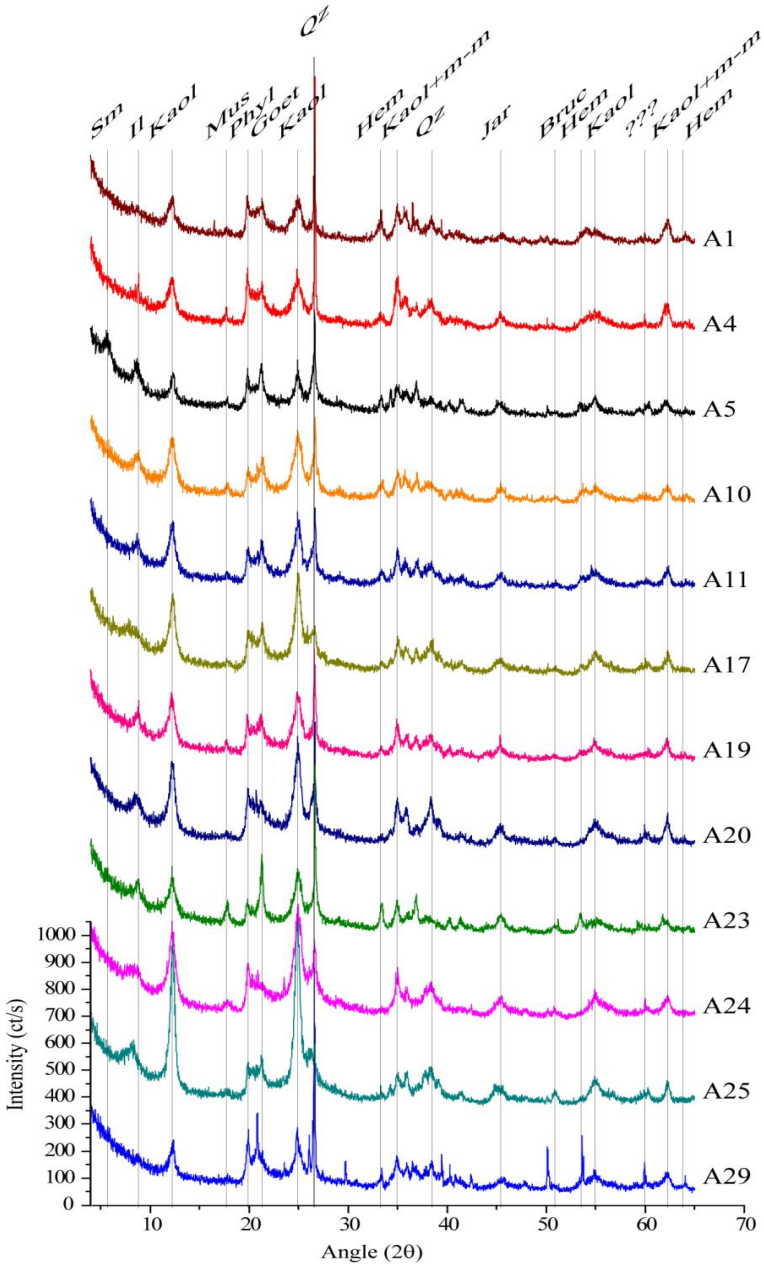
Figura 4: Projeção das amostras no diagrama proposto pela Soil Survey Staff.

De acordo com os conteúdos de areia, silte e argila, apresentados no diagrama da figura 4, são caracterizadas então as seguintes classes de textura: domínio areia siltosa para as amostras A4, A10, A11, A19, A20, A23 e A25, domínio areia argilosa para amostra A24 e A29, domínio areia silte argilosa para amostras A1 e A5 a por último domínio areia argilo siltosa para a

amostra A17. As amostras são refentes a argilas residuais, o que explica o seu carácter grosseiro, indicando que o processo de alteração permitiu a lixiviação dos elementos solúveis.

5.2. Análise Mineralógica

Com o objectivo de conhecer a composição mineralógica das amostras em estudo, procedeu-se, a análise por Difracção de Raios X da fracção constituída pelo conjunto de partículas com diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) inferior a 63 μm.



Sm-Esmectite; Il-Ilite; Kaol-Caulinite; Musc-Moscovite; Phyl-filossilicatos; Goet-Goetite, Qz-Quartzo; Hem-Hematite; Jar-Jarosite; Bruc-Brucite; M-M-Magnetite e Maghemite.

Figura 5: Difractogramas das fracções constituída por partículas com d.e.e. < 63 μm.

A análise dos difractogramas obtidos permitiu efectuar uma caracterização qualitativa, com determinação das espécies minerais presentes nesta fracção granulométrica de cada_amostra, bem como uma avaliação semi-quantitativa de cada uma dessas espécies minerais.

Os estudos indicaram que estás matérias-primas são ligeiramente homogéneas em composição mineralógica, embora algumas variações (semi)quantitativas sejam frequentemente constatadas (Ligas et al. 1997).

Na figura 5, apresentam-se os digractogramas das frações <63µm, que permitem a visualização comparada das diferentes fases minerais presentes. Importa referir que a escala vertical foi ajustada de forma a incorporar maior número de amostras o que torna impercetível a presença de alguns minerais menos abundantes.

Tabela 2: Resultados da análise qualitativa e semi-quantitativa dos difractogramas correspondentes à fracção < 63µm das argilas amostradas.

Samples	Qz	Phyl	Fk	Goet	Lep	Hem	M-M	Bruc	Boeh	Akag	Ana	Jar	Alun	Marc
A1	17.61	39.39	0	6.64	1.23	10.04	10.35	0	9.73	0.834	0	4.17		0
A4	36.8	40.69	0	4.76	0	4.98	11.68	0	0	0	0	1.08	0	0
A5	32.51	49.79	0	8.58	0	4.29	7.47	1.38	2.77	0	0	0	2.21	0
A10	12.65	42.64	1.14	9.81	0	7.96	8.24	2.79	0	0	0	12.1	2.7	0
A11	17.9	41.56	0	7.01	1.95	6.49	8.44	2.21	10.91	0	0	3.51	0	0
A17	26.25	27.73	0	15.34	0	7.02	6.47	3.88	0	0	0	10.72	2.59	0
A19	18.89	49.48	0	7.2	0	5.4	6.9	1.65	0	0	0	10.19	0.23	0
A20	17.14	56.18	0	2.25	0	2.39	4.49	6.49	3.37	0	0	7.73	0	0
A23	9.6	55.68	2.3	6.14	0	5.38	7.1	2.92	0	0	0	8.1	2.84	0
A24	18.27	56.42	0	0	0	2.82	7.72	0	0	0	0.37	9.95	0	4.45
A25	7.96	55.36	0	10.15	2.77	4.61	6	4.38	0	0	2.31	6.46	0	0
A29	25.81	46.88	2.15	3.23	0	6	5.8	0	4.1	0	2.37	0	3.66	0
Med.	**20.12**	**46.82**	**0.47**	**6.76**	**0.50**	**5.62**	**7.56**	**2.14**	**2.57**	**0.07**	**0.42**	**6.17**	**1.19**	**0.37**

Qz-Quartzo; Phyl-filossilicatos; Fk-Feldspato Potássico; Goet-Goetite, Lep- Lepicrocite Hem-Hematite; M-M-Magnetite e Maghemite; Bruc-Brucite; Boeh-Boehmite; Akag-Akaganeite; Ana-Anatase; Jar-Jarosite; Alun-Alunite Marc-Marcasite;.

Como se pode observar da informação constante na tabela 2, os resultados da Difração de Raios X da fracção <63µm revela que as amostras em estudo são dominantemente constituídas por quartzo e filossilicatos (caulinite, ilite e esmectite) como minerais principais com valores variando de 7,96% (A25) a 36,8% (A4) e de 39,33% (A1) a 56,42% (A24) respectivamente. Também estão presentes, como minerais acessórios, óxidos e hidróxidos de Ferro com teores significativos tais como, goetite a partir de 0% (A29) a 15,34 (A17), hematite a partir de 2,39% (A20) a 10,04% (A1), magnetite-maghemite a partir de 4,49% (A20) a 11,68% (A4), lepidocrocite identificada apenas nas amostras A1 (1,23%), A11 (1,95%) e A25 (2,77%), akaganeite identificada apenas na amostra A1 (0,83%), assim como jarosite, sulfato de potássio e ferro, a partir de 0% (A4) a 10,72 (A17).

Foram ainda identificados, o feldspato potássico em três amostras A10 (1,14%), A23 (2,3%) e A29 (2,15%), a brucite com teores a partir de 0% (A1) a 6,49% (A20), boehmite a partir de 0% (A4) a 10,91% (A11), anatase identificada apenas nas amostras A24 (0,37%), A25 (2,31%) e A29 (2,37%), alunite a partir de 0% (A4) a 3,66% (A29), e por último a marcassite apenas identificada na amostra A24 (4,45%). Todos estes minerais derivam do intemperismo de rochas gnaissicas derivadas de metamorfismo de alta pressão.

Importa salientar que os filossilicatos presentes representam o somatório dos minerais argilosos existentes nas amostras estudadas e são dominantemente constituída por caulinite seguida de ilite e esmectite.

Os minerais argilosos, analisados separadamente, foram quantificados a partir dos chamados agregados orientados (A.O.), para a obtenção dos quais foi utilizada a fracção da argila constituída pelas partículas de diâmetro esférico equivalente igual ou inferior a 2 μ m, porque os referidos minerais se encontram mais concentrados nesta fracção. Importa salientar que a preparação dos agregados orientados, acentua a intensidade dos máximos de difracção dos planos (00l), facilitando assim uma melhor identificação, caracterização estrutural e quantificação dos minerais argilosos (Dondi et al. 2001, Faria 2005, e Jeridi et al. 2008).

Salienta-se ainda que para cada amostra preparou-se um A.O., tendo-se procedido para o efeito à sedimentação de suspensões aquosas da fracção <2 μ m, adequadamente dispersas e estabilizadas sobre as lâminas de vidro. Para cada uma das amostras, os A.O. foram submetidos a três ensaios, dos quais um sem qualquer tratamento, enquanto_que, outros ensaios correspondiam à mesma fracção submetida aos tratamentos recomendados para a investigação dos minerais argilosos, tais como: saturação com glicerol e queima a 500º C. A análise comparada dos difractogramas obtidos para cada amostra permitiu determinar as espécies de minerais argilosos presentes.

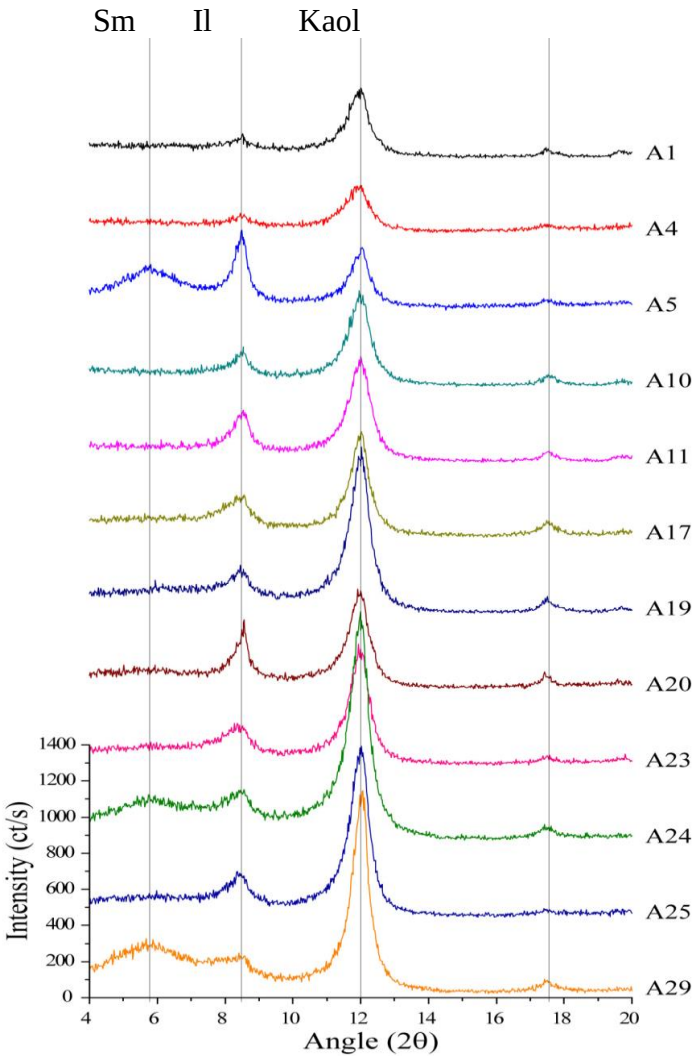


Figura 6: Difractogramas das fracções constituída por partículas com d.e.e.< 2 μm da amostra natural.

Na figura 6 apresenta-se o conjunto de difractogramas correspondentes aos agregados orientados corresponde à fracção de d.e.e. inferior a 2 μm não tratada. e os difractogramas restantes correspondem à mesma fracção depois de submetida a tratamentos com glicerol e calcinada a 500ºC encontra-se em anexo III.

Importa referir que a análise qualitativa da fração argilosa foi feita através do comportamento das fases minerais em função dos tratamentos a que foram submetidas, como se referiu no capítulo anterior, enquanto que a análise quantitativa consistiu na determinação das áreas aproximada dos triângulos de cada picos de minerais relativamente a amostra natural e corrigida através da divisão por seus respectivos poderes reflector e posteriormente recalculada para 100%.

Os picos principais em 10,37 Å e 7.33 Å dos difractogramas da figura 6 indicam a presença predominante de ilite e caulinite, respectivamente, em todas as amostras. Os picos menos intensos mostram fases em menores quantidades e traços (Tabela 3). A fase esmectite pode ser detectada nas argilas A5 e A29 (pico ligeiramente deslocado em 15,38 Å). A presença de caulinite é confirmada pelo tratamento das argilas a 500º C, pelo desaparecimento dos picos (transformação em metacaulinite amorfa). Os picos atribuídos a ilite permaneceram inalterados quando a argila foi tratada com glicerol e quando aquecida a 500º C, No entanto que o pico da esmectite muda de 15,38 Å para 18,85 Å após o tratamento com glicerol.

Tabela 3: Resultados da análise dos difractogramas correspondentes à fracção < 2μm das amostras em estudo.

Amostras	Sm (%)	Il (%)	Kaol (%)	I.C. (Il)	I.C. (Kao)
A1	-	11.5	88.5	0.2	1
A4	-	24.87	75.13	0.7	1.2
A5	6.26	57.47	36.27	0.7	1.1
A10	-	31.52	68.48	0.8	1.3
A11	-	42.95	57.05	1	1.3
A17	-	38.6	61.4	1	1
A19	-	29.68	70.32	0.8	1.1
A20	-	44.73	55.27	0.6	1.1
A23	-	29.03	70.97	0.9	1
A24	-	15.6	84.4	0.6	1
A25	-	26.68	73.32	0.8	1.1
A29	4.09	19.65	76.26	0.6	1.1
Média	**5.17**	**31.02**	**68.11**	**0.73**	**1.11**

Com base nos resultados da análise dos difractogramas dos agregados orientados foi possível identificar três fases minerais, caulinite (Kaol), ilite (Il) e esmectite (Sm). A caulinite é a fase mineral mais dominante com teores acima de 50% chegando a atingir 88,5% como é o caso da A1, com excepção da A5 que possui 36,27% de caulinite.

Todas as amostras apresentam teores consideráveis de ilite podendo atingir 57,47% como é o caso da A5, enquanto que, a esmectite é a fase mineral identificada apenas nas amostras A5 e A29 com teores de 6,26% e 4,09% respectivamente.

Os picos largos observados nos difractogramas de Raios X da fracção <2 μm, indicam um baixo índice de cristalinidade da caulinite (Tabela 3), o que revela um elevado grau de alteração.

Importa referir que o teor de filossilicatos, em particular a caulinite em maior abundância, contribui positivamente para a textura, a absorção / secagem e propriedades mecânicas das argilas (Costa, 2013).

5.3. Análise Geoquímica

5.3.1. Elementos maiores

Na Tabela 4 apresentam-se os teores de elementos maiores das amostras analisadas por FRX.

Tabela 4: Composição química em elementos maiores das amostras estudadas.

Sample	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	P_2O_5 (%)	SO_3 (%)	Cl (%)	LOI (%)
A1	38.78	28.64	17.98	0.08	1.09	0.06	1.87	1.36	0.08	0.07	0.03	0.01	9.73
A4	41.04	30.77	12.07	0.08	0.99	0.06	2.35	0.73	0.03	0.09	0.01	0.01	11.57
A5	41.26	23.74	15.80	0.21	4.23	0.06	2.52	1.20	0.02	0.03	0.01	0.01	10.65
A10	37.25	27.44	17.67	0.10	1.64	0.06	2.32	1.41	0.10	0.07	0.02	0.01	11.68
A11	39.29	28.96	13.80	0.09	1.92	0.04	2.33	1.20	0.06	0.07	0.02	0.01	11.98
A17	37.85	25.88	18.40	0.06	1.99	0.06	3.27	1.44	0.01	0.06	0.01	0.01	10.73
A19	41.21	28.93	12.56	0.06	1.80	0.12	2.15	0.83	0.11	0.10	0.02	0.01	11.83
A20	43.91	31.25	6.82	0.06	2.26	0.10	1.84	0.95	0.01	0.03	0.01	0.01	12.54
A23	42.07	29.95	9.25	0.09	2.75	0.07	2.05	1.12	0.02	0.03	0.01	0.02	12.37
A24	45.15	31.43	4.97	0.09	2.03	0.08	2.29	1.47	0.02	0.02	0.02	0.01	12.19
A25	42.50	31.00	6.90	0.05	3.12	0.07	1.88	1.09	0.02	0.02	0.02	0.04	13.11
A29	39.37	23.80	9.01	0.12	1.25	0.06	1.39	1.43	0.02	0.03	0.01	0.01	23.32
Min	37.25	23.74	4.97	0.05	0.99	0.04	1.39	0.73	0.01	0.02	0.01	0.01	9.73
Max	45.15	31.43	18.40	0.21	4.23	0.12	3.27	1.47	0.11	0.10	0.03	0.04	23.32
Mean	40.81	28.48	12.10	0.09	2.09	0.07	2.19	1.19	0.04	0.05	0.02	0.01	12.64
SD	2.40	2.74	4.72	0.04	0.92	0.02	0.46	0.25	0.04	0.03	0.01	0.01	3.49

DS: Standard Deviation

Com base nos resultados da análise química dos elementos maiores, revela-se que os teores em óxidos dos principais elementos constituintes destas rochas estão directamente correlacionados com as características mineralógicas descritas anteriormente. Com efeito, todas as amostras analisadas apresentam conteúdos em sílica (SiO_2) relativamente altos e valores da razão sílica/alumina (SiO_2/Al_2O_3) e sílica/sesquióxidos ($SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$) relativamente baixo (SiO_2> 37%; SiO_2/Al_2O_3 <2 1,34; $SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$ <2), o que estará relacionado com a presença de quantidades significativas de quartzo, filossilicatos e óxidos/hidróxidos de ferro nas suas associações mineralógicas, facto que nos leva a classificar estas argilas como ferralíticas. Todavia, o quartzo deve a sua grande abundância ao facto de ser muito resistente, tanto do ponto de vista mecânico como químico.

Por outro lado, as suas elevadas concentrações em Al_2O_3 (23.739% - 31.433%), K_2O (1.387% - 3.267%) e PR (9.730% - 23.320%) reflectem a dominância de filossilicatos hidratados com maior destaque para caulinite; os teores elevados em potássio e alumínio estão directamente associados à alteração avançada (hidrólise) de feldspato potássico (Tabela 4).

As reduzidas quantidades de CaO reflectem a quase total ausência de minerais carbonatados e favorece a refractariedade da argila, enquanto os baixos valores de Na_2O (0,041% - 0,115%) indicam a ausência de fundentes (Mahmoudi et al. 2015) como é o caso da Plagioclase sódica, um constituinte mineralógico residual nestes depósitos, em concordância com os dados mineralógicos obtidos por Difracção de Raios X (Tabela 4).

Os teores em Fe_2O_3 variam entre 4.971% e 18.396% e tendem a ser mais elevados nas amostras de tom avermelhado, sugerindo que os óxidos e hidróxidos de ferro (sobretudo hematite, megnetite-maghemite e goethite, mas também lepidocrosite e akaganeite) são as principais fases minerais portadoras deste elemento e ainda sulfatos (jarosite) e sulfuretos (marcasite) como as fases minerais menos dominantes. Os teores de MgO são relativamente baixos em todas as amostras estudadas (0.987% - 4.229%) em concordância com a presença de baixos teores de brucite, e ausência de dolomites.

E por último, os teores relativamente baixo em TiO_2 (0.727% - 1.468%) estão associados a presença de anatase, com algum potencial contributo da caulinite, pois ambos os minerais têm apetência para incorporar este elemento. A presença de titânio poderá dar alguma indicação da composição da área-fonte. Geralmente o titânio está concentrado nos minerais máficos das rochas ígneas, como a biotite, e durante a meteorização o Ti é retido no perfil de alteração em produtos secundários, tal como a caulinite e anatase, encontrada nas amostras A24, A25 e A29.

É de sublinhar ainda que as amostras estudadas apresentam uma grande uniformidade de composições em elementos maiores espelhando um reduzido grau de diferenciação mineralógica e geoquímica.

A presença de quantidades significativas de ferro está provavelmente relacionada com a alteração de biotite ou outros minerais que contém ferro, os produtos incluem óxidos e hidróxidos de ferro, que descoloram a caulinite e reduzem o seu valor (Manning 1995).

Todavia, é essencial que a argila possua quantidades mínimas de óxidos de ferro e de titânio (Velho 2016). Com base nos resultados pode-se afirmar que as amostras em estudo não são adequadas para serem aplicadas na produção de telhas, uma vez que contêm quantidades demasiado elevadas de SiO_2 e Fe_2O_3 o que exige uma beneficiação prévia. Esses óxidos são conhecidos por ter efeitos deletérios sobre materiais de construção, agregados de concreto em particular (Alao 1983).

5.3.2. Análise da Intensidade de Meteorização

Segundo Liuqin et al., (2016) e Aristizábal, Roser, & S. Yokota, (2009) a geoquímica de solos e rochas sedimentares pode fornecer informações sobre rochas geradoras incluindo a composição, proveniência, palaeointemperismo, classificação e efeitos da reciclagem.

As condições paleoambientais das áreas-fonte foram quantitativamente avaliada pelo diagrama triangular Al_2O_3-(CaO+Na_2O)-K_2O da alteração dos feldspatos e pelos Índice Químico de Alteração (CIA, da siglas em inglês, "*chemical index alteration"* Nesbitt e Young 1982) (Rollinson 1993).

$$CIA = \frac{AL_2O_3}{AL_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O} x100$$

A CIA, é calculados por proporções moleculares, e CaO* é o conteúdo CaO em apenas minerais de silicatados. Nesso estudo, foram determinados valores CaO* seguindo o método de McLennan (1993).

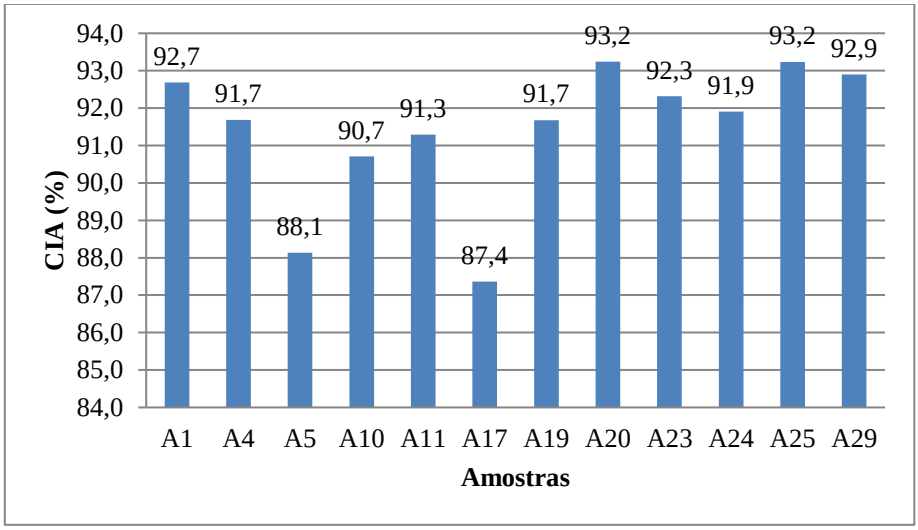


Figura 7: Valores de Índice Químico de alteração

Os resultados do Índice Químico de Alteração (Figura 7) variam entre 87,36% (A17) e 93,24% (A25) com uma média de 93,43%. Estes resultados revelam um elevado estado de alteração com a presença de fases minerais argilosas enriquecidas em Al_2O_3.

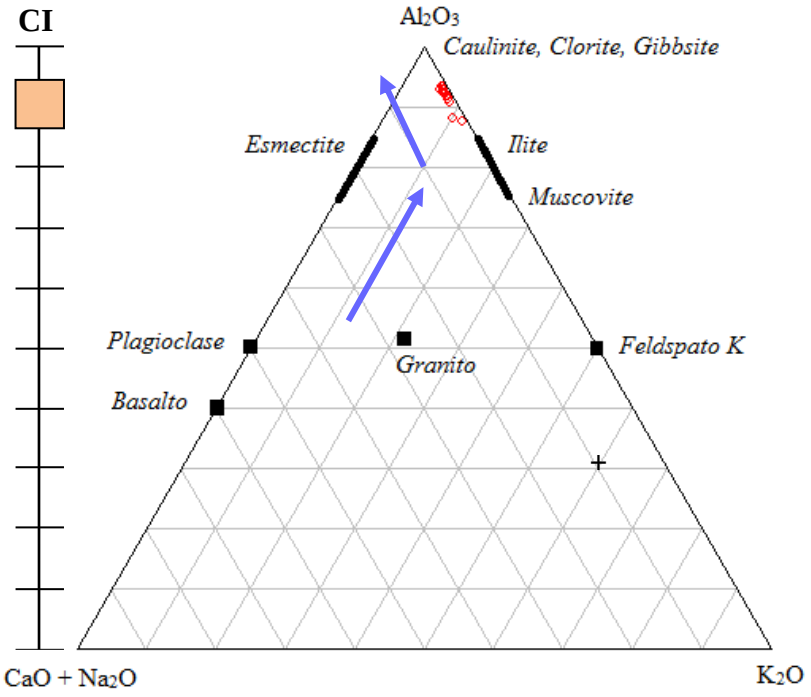


Figura 8: Diagrama triangular de índice de alteração química

O diagrama (Figura 8) revela que a média das proporções das rochas ígneas félsicas (Granito) e máficas (Gabro) usadas como meio de comparação se projectam perto da "linha dos feldspatos", estando os granitos aproximadamente a meio dessa linha e os Gabros perto da linha Al_2O_3-(CaO + Na_2O). Este facto indica que diferentes proporções de minerais da série das plagioclases ou de feldspatos potássicos ocorrem em proporções semelhantes no granito e se verifica uma quase ausência de feldspatos potássico no gabro. No entanto, a composição média

do granito e do gabro posicionam-se um pouco acima da "linha dos feldspatos", sugerindo a presença de fases aluminosas, provavelmente Muscovite e Biotite, respectivamente.

A comparação das composições primárias (rochas ígneas) com as secundárias (argilitos) ilustra a estreita relação entre ambas, ocorrendo sempre uma evolução no sentido do maior enriquecimento em Al_2O_3, como mostram os valores do Índice Químico de Alteração. Os minerais primários têm valores de IQA entre 50 e 60, enquanto os dos argilosos são superiores a 70. Desta forma o IQA constitui uma medida da quantidade de materiais químicamente alterados que estão incluídos no sedimento siliciclástico que reflecte a intensidade da meteorização química das áreas-fonte (Trindade 2007).

Com base nos resultados do diagrama triangular constata-se que a mineralogia secundária (minerais argilosos) é essencialmente constituída por caulinite.

Embora seja extremamente difícil classificar as rochas sedimentares usando exclusivamente a sua composição química, as amostras em estudos foram classificadas quanto a relação log (Fe_2O_3/K_2O) vs. Log (SiO_2/Al_2O_3) proposta por Herron (1988) como base de classificação das rochas sedimentares detríticas (Figura 9). Este diagrama permite discriminar com razoável rigor os diferentes grupos deste tipo de rochas (Rollinson 1993).

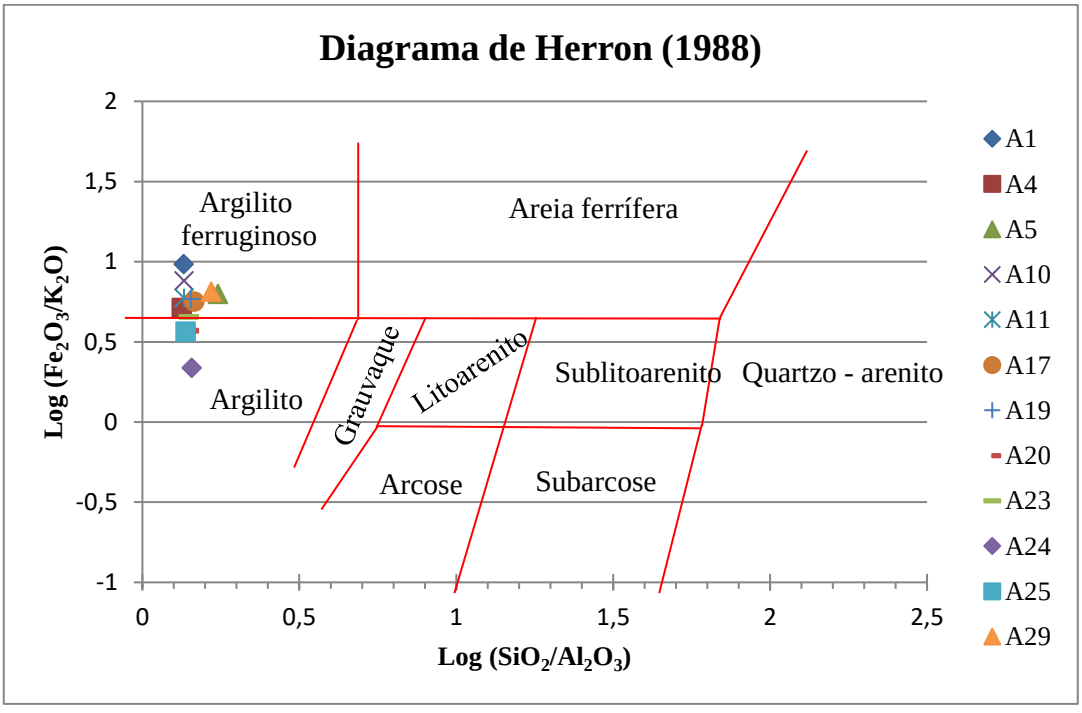


Figura 9: Classificação das rochas sedimentares detríticas

5.3.3. Capacidade de Troca Catiónica

A capacidade de troca catiónica (CTC), propriedade de relevância exibida pelos minerais de argila, foi determinada pelo método do acetato de amónio, utilizando 5 g da amostra da fração <63 μm.

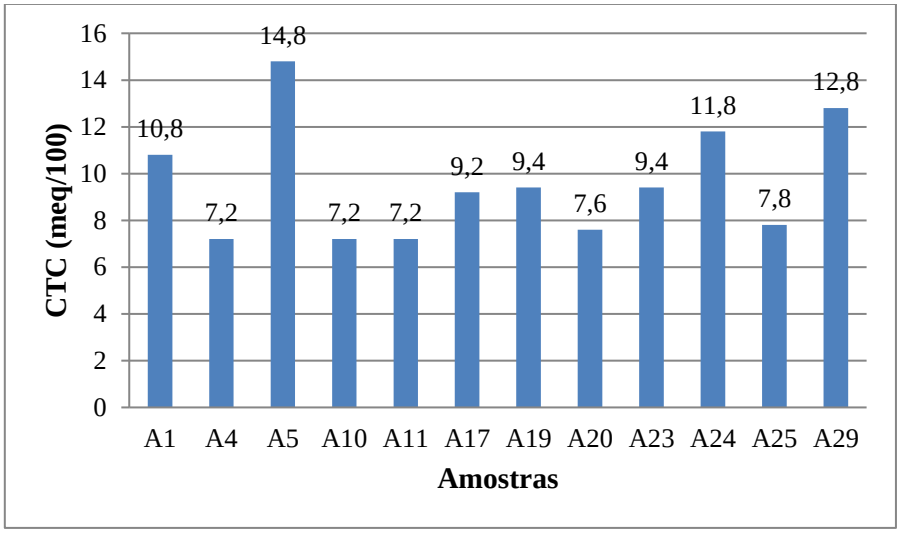


Figura 10: Resultados da Capacidade de Troca Catiónica

Com base nos resultados da figura 10, os valores da capacidade de troca catiónica variam entre 7,1 à 14,8 meq/100, em que as amostras A5 e A29 são as que possuem valores mais elevados 14,8 e 12,8 meq/100 respectivamente. Este comportamento está associado com a presença da esmectite nestas amostras. Como as esmectites exibem extensas substituições isomórficas tanto nas folhas tetraédricas como nas folhas octaédricas, os catiões são mais suscetíveis a trocas (Santos, 1989).

Em conjunto com a CTC, também foram determinados os Catiões de Troca (Na^{+}, Mg^{2+}, K^{+} e Ca^{2+}), através da análise do filtrado por Espectrometria de Absorção Atómica (Tabela 5).

Tabela 1: Valores dos Catiões de Troca das amostras em estudo.

Amostra	Mg (meq/100g)	K (meq/100g)	Na (meq/100g)	Ca (meq/100g)
A1	5.07	0.68	0.22	2.33
A4	6.12	0.42	0.27	2.29
A5	15.93	0.75	0.26	6.98
A10	6.52	0.41	0.12	2.73
A11	6.75	0.46	0.21	2.65
A17	10.17	0.66	0.05	1.64
A19	12.67	0.56	0.12	1.69
A20	12.44	0.66	0.06	1.42
A23	12.12	0.52	0.14	2.45
A24	10.40	0.69	0.52	2.35
A25	9.84	0.42	0.37	1.57
A29	13.37	0.53	0.04	4.07
Média	**10.12**	**0.56**	**0.20**	**2.68**

Com base nos resultados dos catiões de troca verifica-se que todas as amostras são ricas em Mg (5,07 - 15,93 meq/100g) e Ca (1,42 - 698 meq/100g) e empobrecidas em Na (0,04 - 0,52 meq/100g) e K (0,41- 0,75 meq/100g). Contudo as amostras A5 e A29 são as que apresentam

maiores valores de catiões de troca tal como acontece com os resultados da CTC. Este comportamento está associado a presença do mineral esmectite.

5.4. Análise Tecnológica

5.4.1. Abrasão e Índice de Abrasividade

Na tabela 6, estão apresentados os resultados de abrasão e índice de abrasividade da fracção <63 µm, calculados com base na diferença de peso inicial e final da rede em *g* e na forma de índice da perda de peso por unidade de superfície em g/m^2.

Tabela 2: Resultados do ensaio de abrasividade

Amostra	Abrasão (g)	Índice de Abrasividade (g/m^2)
A1	0.016	51.48
A4	0.015	50.49
A5	0.005	16.07
A10	0.011	35.08
A11	0.012	40.00
A17	0.007	22.95
A19	0.015	47.87
A20	0.007	22.62
A23	0.019	63.61
A24	0.013	42.30
A25	0.006	20.33
A29	0.025	82.95
Média	**0.01**	**41.31**

Tendo em conta os resultados obtidos verifica-se que as amostras apresentam valores baixos de abrasividade, variando de 16,07 (A5) à 82,95 g/m^2 (A29) seguida de A23 com 63,61 g/m^2, com uma média de 41,31 g/m^2. Os baixos valores de abrasividade traduz-se pelos teores elevados da fração argilosa (Coroado et al. 2010).

No processo industrial, em particular no caso de telha, a abrasividade das matérias-primas desempenham um papel importante para prevenir e controlar a abrasão no equipamento e especialmente nos moldes de gesso utilizado na formação de telhas, reduzindo a necessária manutenção periódica, e substituição prematura (Coroado et al. 2010).

5.4.2. Limites de Consistência

Os resultados do limite de plasticidade, limite de liquidez e índice de plasticidade estão apresentados na tabela 7 e no diagrama de Casagrande presente na figura 11. o Índice de Plasticidade (IP), é o resultado da diferença entre o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP).

Tabela 3: Resultados de limites de consistência.

Amostra	LL	LP	IP
A1	83.55	51.86	31.69
A4	75.06	46.01	29.05
A5	106.32	51.63	54.69
A10	88.99	50.14	38.85
A11	85.90	47.22	38.69
A17	95.63	48.12	47.51
A19	71.15	38.31	32.84
A20	67.34	42.01	25.33
A23	79.86	43.69	36.17
A24	83.83	36.94	46.89
A25	81.17	53.40	27.77
A29	78.35	41.40	36.95
Média	**83.10**	**45.89**	**37.20**

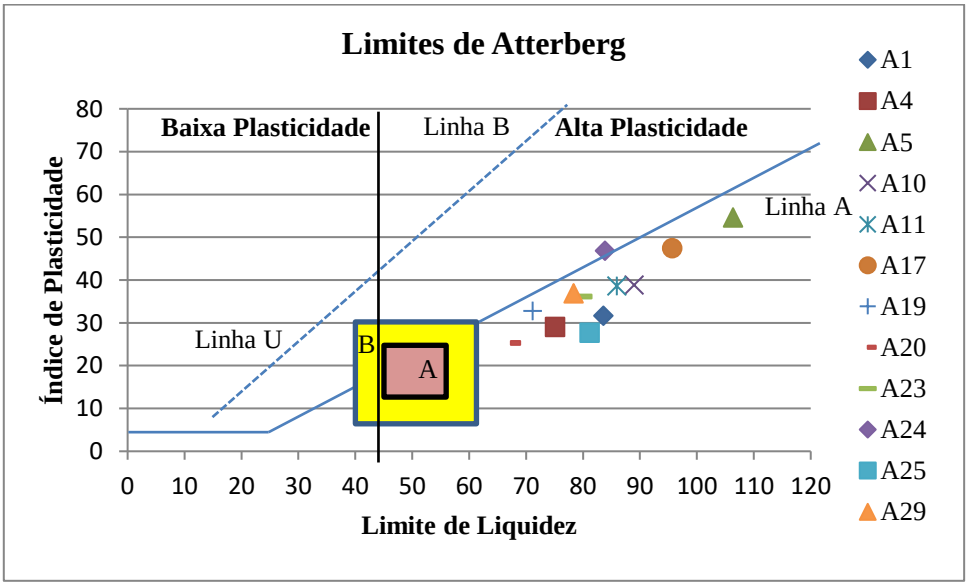


Figura 11: Projecção das amostras estudadas no diagrama de Casagrande, modificado por Gippini (1969). A- óptimo, B- adequado (Adaptado de Gomes, 2002).

Com base nos resultados obtidos, constata-se que o valor de índice de plasticidade varia entre 25,33% e 54,69%, correspondentes as amostras A20 e A5 respectivamente. Este facto revela que as argilas em estudos são bastante plástica visto que se encontram a direita da linha que divide as argilas de baixa plasticidade das argilas de alta plasticidade, *linha B*, (figura 12) o que coincide com os resultados da análise mineralógica (Mahmoudi et al. 2015). Contudo, apesar das amostras encontrarem-se ainda no domínio das argilas com coloides orgânicos, abaixo da *linha A (IP=0.73(LL-20))*, pode-se afirmar que são óptimas para a produção de tijolos cerâmicos.

5.4.3. Expansibilidade

Um dos problemas da variação de comportamento das argilas em função do teor de humidade que possuem, prende-se com a variação de volume associada ás variações de humidade. Uma vez mais, estas manifestações de comportamento dependem, naturalmente, da mineralogia da fracção fina.

Para estudar a capacidade das argilas, em termos de variação de volume quando na presença de água, realizaram-se ensaios de expansibilidade. À semelhança dos outros ensaios, determinou-se a expansibilidade de cada amostra com a fracção composta pelas partículas de d.e.e. < 0,063mm, tendo como objectivo avaliar a variação deste parâmetro com a concentração da fracção fina (silte + argila). Os resultados dos ensaios constam da figura 12.

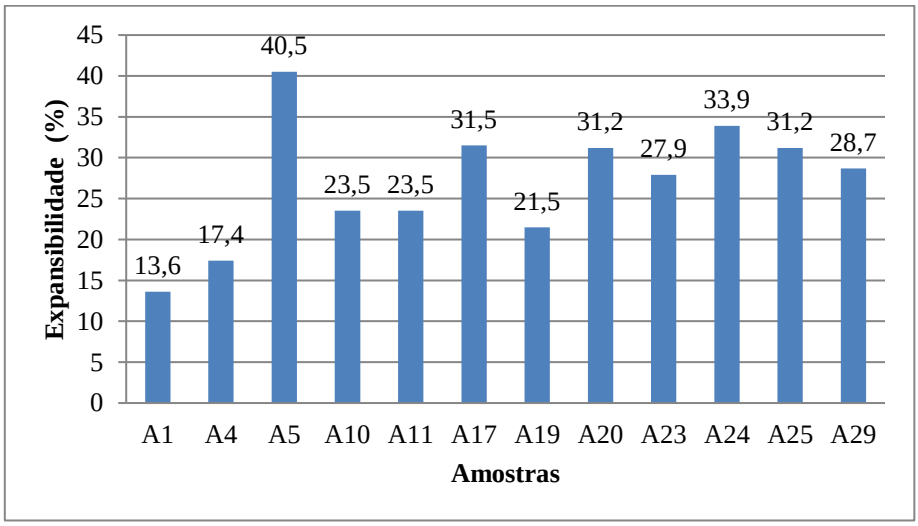


Figura 12: Resultados de ensaios de expansibilidade em colunas agrupadas

Pela observação dos resultados obtidos verifica-se que a expansibilidade varia de 13,6% à 40,5%. O valor mínimo da expansibilidade corresponde à amostra A1 (13,6%), que está associado ao elevado teor da caulinite (88,5%). A caulinite é um mineral argiloso que se caracteriza por possuir fraca carga eléctrica e algum poder para reter água em comparação com minerais dos outros grupos (este último aspecto explica-se através do facto da reduzida distância entre camadas estruturais impedir trocas de água). Praticamente não apresenta expansibilidade e torna-se plástica para teores em água relativamente baixos (Cristelo 2001).

As amostras mais expansivas estão associadas a presença de minerais expansivos como é o caso da esmectite. A amostra A5 (40,5%) é a mais expansiva devido a presença da esmectite facto que coincide com elevado teor dos catiões de troca, e era de esperar que a amostra A29 (28,7%) também fosse muito expansiva mas tal facto não sucede porque o teor da esmectite (4,09%) na fração argilosa é contrabalançada com o teor de caulinite (76,26%) e apresenta baixa concentração do sódio.

6. Conclusões

As argilas de Cafumpe são caracterizadas por apresentarem uma textura constituída por areia siltosa, areia-argilo-siltosa e siltes argilosos de cor avermelhada, vermelha amarelada e acinzentada.

A mineralogia da fracção <63 µm destas argilas é predominantemente constituída por filossilicatos, onde a caulinite e mica / ilite são as fases mais abundantes. Como minerais acessórios foram identificados goetite, hematite, magnetite-maghemite, jarosite, lepidocrocite, akaganeite, feldspato potássico, brucite, boehmite, anatase, alunite e marcassite. Relativamente à mineralogia da fracção inferior a 2 µm, a caulinite é a fase mineral dominante, representando em média 68,11% da componente argilosa.

A análise granulométrica revela que as amostras apresentam quantidades excessivas de areia (quartzo) na fração total o que limita a sua aplicação em geomedicina e para a produção de telhas, porém ainda podem eventualmente ser usadas em fábrica cerâmica para a produção de tijolos.

A análise química dos elementos maiores revela quantidades limitadas de fundentes (Na_2O e K_2O) o que se reflete no maior custo em termos energéticos para a cozedura da massa cerâmica.

Os teores em óxidos dos principais elementos constituintes destas rochas estão directamente correlacionados com os teores mineralógicos obtidos, com valores de SiO_2 altos e da razão SiO_2/Al_2O_3 relativamente baixos, e elevadas concentrações em Fe_2O_3 e Al_2O_3 assim como de PR, reflectindo quantidades significativas de quartzo e a predominância de caulinite e minerais de ferro nas amostras.

As quantidades de sílica e ferro são demasiado altos, não sendo tolerados no ciclo de trabalho cerâmico de qualidade. Ao contrário do que seria de prever, os valores de MgO nas amostras estudadas são relativamente altos, o que sugere a presença de biotite, ainda que não tenha sido detetada na análise mineralógica.

As argilas de Cafumpe no geral, manifestam um reduzido grau de diferenciação mineralógica. As amostras apresentam valores altos nos limites de consistência, o que se traduz em amostras com elevada plasticidade.

Agradecimento

O primeiro autor agradece a Universidade Pedagógica de Moçambique pelo apoio pelo financiamento a bolsa de Mestrado e ao Departamneto de Geociências da Universidade de Aveiro pelas análises laboratoriais.

BIBLIOGRAFIA

Alao DA (1983) Geology and Engineering Properties of Laterites from Ilorin, Nigeria. Elsevier Sci Publ BV, Amsterdam 8

Andrejkovičová S, Sudagar A, Rocha J, et al (2016) The effect of natural zeolite on microstructure, mechanical and heavy metals adsorption properties of metakaolin based geopolymers. Appl Clay Sci 126:141–152. https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.009

Aristizábal E, Roser B, S. Yokota (2009) Patrones e índices de meteorización química de los depósitos de vertiente y rocas fuentes en el Valle de Aburrá. Univ Shimane, Matsue, Japón 16

Carvalho AMG de (2003) Geologia Sedimentar: Sedimentogénese, 1st edn. Ancora Editora, Lisboa

Coroado .João F., Ferraz E, Gomes CF, Rocha F (2010) Clays from Vila Nova da Rainha (Portugal): Appraisal of their relevant properties in order to be used in construction ceramics. Acta Geodyn Geomater 7:189–200

Costa CS, Rocha F, Varum H, Velosa A (2013) Influence of the mineralogical composition on the properties of adobe blocks from Aveiro, Portugal. Clay Miner 48:749–758. https://doi.org/10.1180/claymin.2013.048.5.07

Cristelo N (2001) Estabilização de solos residuais graníticos através da adição de cal. Universidade de Minho

Dondi M, Guarini G, Ligas P, et al (2001) Chemical, mineralogical and ceramic properties of kaolinitic materials from the Tresnuraghes mining district (Western Sardinia, Italy). Appl Clay Sci 18:145–155. https://doi.org/10.1016/S0169-1317(00)00042-9

Faria PAG (2005) Propriedades composicionais e geotécnicas de solos argilosos em obras rodoviárias. Universidade de Aveiro

Gomes CF (1988) AGILAS: O que são e para que servem. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa

Gomes CF (2002) Argilas, aplicações na indústria. O Liberal, Empresa de Artes Graficas, Lda, Aveiro

GTK Consortium (2004) Carta Geológica de Moçambique na escala 1/250000: Rotanda/Chimoio, folha No. 1932/1933

Jeridi K, Hachani M, Hajjaji W, et al (2008) Technological behaviour of some Tunisian clays prepared by dry ceramic processing. Clay Miner 43:339–350. https://doi.org/10.1180/claymin.2008.043.3.01

Ligas P, Uras I, Dondi M, Marsigli M (1997) Kaolinitic materials from Romana (north-west Sardinia, Italy) and their ceramic properties. Appl Clay Sci 12:145–163. https://doi.org/10.1016/S0169-1317(97)00004-5

Liuqin, Chen, Fusheng, et al (2016) Petrography and geochemistry of the Late Cretaceous redbeds in the Gan-Hang Belt, southeast China: implications for provenance, source weathering, and tectonic setting. Int Geol Reviw. https://doi.org/10.1080/00206814.2016.1141378

Lowell S, Shields J, Thomas M, Thommes M (2004) Characterization of Porous Solids and Powders: Surface Area, Pore Size and Density. Springer Sci Media, New York 16:58–81. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-2303-3_5

Mahmoudi S, Srasra E, Zargouni F (2015) Identification and Ceramic Application of Some Tunisian Clays. Open Access Libr J 02:1–8. https://doi.org/10.4236/oalib.1100998

Manning DAC (1995) Introduction to Industrial Minerals, 1st edn. Chapman & Hall, London

Mansa R, Dzene L, Quintela A, et al (2016) Preparation and characterization of novel clay/ scleroglucan nanocomposites. Appl Clay Sci 126:235–244. https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.021

Rollinson H (1993) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Singapore Publishers (Pte) Ltd., England

Terroso DLG de F (2005) Argilas / Lamas e Águas Termais das Furnas (Açores): Avaliação das Propriedades Físicas e Químicas relevantes para a utilização em Peloterapia. Universidade de Aveiro

Trindade MJF (2007) Geoquímica e Mineralogia de Argilas da Bacia Algarvia : Transformações Térmicas. Universidade de Aveiro

Velho JL (2015) Caulino - Mineral Industrial, 1ª Parte: Mineralogia e Génese, Geociência. Simões e Linhares, Coimbra

Velho JL (2003) Mineral Fillers for Paper. Why, What, How., 1st edn. Tecnicelpa

Velho JL (2016) Caulino - Mineral Industrial, 2a Parte: Processamento e propriedades, Geociência. Simões e Linhares, Coimbra

ARTIGO Nº22655

DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA NO BAIRRO DE ESTORIL- CIDADE DA BEIRA

Baptista Maparage[1(*)]
(1) FCT-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Zambeze-Beira Moçambique
(*) *Email*: bmaparage@yahoo.com.br

RESUMO

O objectivo deste trabalho é o estudo e dimensionamento de Sistemas Prediais de Distribuicao de Agua no Bairro de Estoril, Cidade da Beira Com o crescimento da populacional e consequente expansão urbana, na Cidade da Beira em particular no Bairro de Estoril, que caracterizou particularmente os ultimos 10 anos, causou um agravamento na falta do precioso liquido devido a falta de dimensionamento predial dos novos edifícios construídos grandes alterações no ciclo hidrológico natural e gerando a ocorrência de situações ameaçadoras ao desenvolvimento equilibrado e estável do habitat humano.

Palavras-chave: Água, abastecimento, sistema predial

INTRODUÇÃO

De forma geral, a Cidade da Beira, ao sistema de abastecimento predial de distribuição de água pelos vários Bairros, postos Administrativos Urbanos, não é equilibrada e o seu acesso não é satisfatório para a população. Com o crescimento demográfico da Cidade da Beira, há necessidade determina-se a necessidade de se estabelecer infra-estruturas que assegurem a distribuição em quantidade e qualidade satisfatórias para a população para o seu consumo para alem da salubridade tanto da água potável quanto daquela destinada a usos industriais e ou agrícola, em quantidades que atendam as necessidades e em qualidade adequada às finalidades a que se destina, segundo os factores que influenciam essas necessidades. Neste artigo descreve-se a o dimensionamento de sistema Prediais de Distribuição da Água Convencional que assegure o abastecimento da água em quantidade e qualidade aceitáveis para o consumo humano. (MAGALHÃES,2004)

1. SISTEMAS PREDIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DOMÉSTICA

Maior parte dos edifícios habitacionais e de outros fins, urbanos são construídos incluindo a instalação do sistema de abastecimento de água, segundo o Regulamento Geral das Edificações Urbanas determina no artigo 83 que diz “que todas as construções devem ser providas de instalações sanitárias adequadas ao destino e utilização efectiva da construção e reconhecidamente

Nos centros urbanos, o abastecimento de água é garantido por uma rede pública composta por:

- **Captação**- É o lugar onde a água é colectada da sua fonte natural, podendo ser a partir de rios, lagoas, albufeiras, furos ou poços no caso de água subterrânea.

A água da chuva também pode ser uma fonte de captação alternativa usada em menor escala.

- **Estacão de tratamento**- Depois da captação a água é conduzida a um depósito por onde passa de um tratamento podendo ser por filtração ou adição de produtos químicos criando desta forma a potabilidade da água condição exigida para o consumo humano.

- **Adução-** É a tubagem usada para o transporte da água a partir do local de captação ate ao dispositivo de utilização na parte do utente da água (torneira).

- **Armazenamento**-Geralmente são feitos depósitos enterrados ou semi-enterrados de forma a garantir a distribuição de acordo com a necessidade e consumos previstos.

- **Torre de Pressão** – é um depósito para onde a água é elevada para depois fazer a distribuição a partir de gravidade.

- **Rede de Distribuição**-é a rede de tubagem de diferentes dimensões que garante a chegada da água ao consumidor (edifícios, fontanários, e outros pontos previamente definidos). Este curso ira abordar o sistema de canalização de distribuição dentro do edifício, estudo da tubagem que se deve instalar dentro do edifício de acordo com a quantidade de utentes.

A água para o consumo humano, deve ser potável, esta é a condição indispensável razão pela qual a água para este fim deve possuir as qualidades físicas, químicas e bacteriológicas exigidas e definidas pelo Regulamento de Qualidade de Água para o Consumo Humano dai que sempre que se dimensiona o sistema de abastecimento da água, a questão de qualidade seja colocada.

Os sistemas prediais de distribuição da água podem ser divididos de acordo com diferentes fins a que se destina podendo ser:

- Redes de Distribuição da Água fria
- Redes de Distribuição de Água Quente
- Redes de Incêndio
- Redes de Rega

Existem indústrias que precisam do uso da água e ao projectar o edifício para este fim deve ser prevista uma rede industrial de adução de água no processo tecnológico industrial ou em circuito fechado, para casos de refrigeração (agua usada para circulação e não para o próprio consumo).

Antes dimensionamento dos componentes que compõem o projecto de cada tipo de rede, há necessidade de fazer uma avaliação prudente para destacar o tipo de fonte que será utilizada para o efeito, tratamento caso haja necessidade, armazenamento e o sistema de distribuição.

1.1. DIMENSIONAMENTO

O sistema de distribuição predial de água, deve ter como objectivo principal a resolução de questões técnicas e económicas em coordenação com a arquitectura do edifício e as restantes especialidades de engenharia contemplando os diferentes componentes do sistema como:

a) **Ramal de distribuição-**que corresponde ao trecho de canalização privativo do serviço de um edifício de entre este e o limite da canalização da rede pública ou entre esta e qualquer dispositivo de utilização exterior do edifício. Em condições normais, nas cidades o referido ramal é feito a partir de uma conduta da rede geral de abastecimento de água, mas nos meios rurais as redes podem ser privadas e ou garantido a partir de um furo de água ou outra fonte.

b) **Sistema de canalização de distribuição interior-** são canalizações instaladas dentro do edifício que se prolongam a rede de ligação ate aos dispositivos de utilização.

c) **Acessórios da Rede-** são elementos utilizados nas canalizações do sistema de abastecimento da água, como o caso de curvas, válvulas ou bocais de incêndios.

d) **Instalações Complementares-** são instalações que fazem parte de reservatórios (subterrâneo ou elevado) bombas e ou aparelhos que podem aquecer a água de forma instantânea.

A instalação de novos sistemas, deve ser considerada a pressão disponível da água da rede geral de alimentação, tipos de dispositivos instalados no edifício e pontos de saída, pressão necessária nos dispositivos de utilização considerando o tipo de conforto pretendido pelos utentes da edificação sem esquecer o tempo de retenção da água nas tubagens, a natureza do material utilizado na canalização e os seus acessórios no dimensionamento de rede (água fria e quente).

No momento da construção deve se dar atenção as medidas preventivas contra a corrosão e criar facilidade de se fazer manutenção da rede.

O sistema de distribuição da água potável deve ser completamente independente de qualquer sistema de distribuição e toda a água antes de ser distribuída para o consumo, deve ser medida, isto é, a entrada da propriedade deve ter um contador que tenha um diâmetro igual a rede. Caso haja muitos consumidores privados e independentes, ou casas isoladas, cada casa devera ter o seu contador que devera registar os consumos da água.

- Os contadores devem ser precedidos de uma válvula de corte para a interrupção do abastecimento de água a esse ramal sempre que necessário;
- Os diâmetros menores da rede de distribuição devem ser dimensionados de acordo com o número de dispositivos de utilização na edificação.
- As canalizações da rede exterior não devem ser instaladas na faixa de rodagem ou em solos de resistência que varie como forma de facilitar a sua manutenção;
- Devera se respeitado o Regulamento quanto ao revestimento das tubagens nas escavações para evitar a danificação do material

- As pressões mínimas e máximas devem ser tais que criem comodidade e conforto desejado pelos utentes do sistema, mas que garantam a durabilidade dos acessórios instalados.
- Apos a instalação da canalização, devera ser feito ensaio e desinfecção das tubagens instaladas antes do consumo e utilização do sistema;
- Os reservatórios devem respeitar o acesso ao próprio edifício e no caso dos próprios reservatórios para a sua manutenção, localização das boias e facilidade de limpeza e facilidade da localização dos dispositivos de manuseio e no caso de instalações elevatórias, devem ser criados dispositivos de comando com características que não alterem a qualidade da água e se possível dispositivos de segurança e alarme.

Para a concepção de um projecto de sistema de distribuição de água base para o seu dimensionamento vem estipulado no Regulamento dos Sistemas Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais do pais em que estiver a instalar, para caso de Moçambique, o mesmo está em vigor desde o ano de 2004.

1.2. CONCEPÇÃO DOS SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA

O desenho da funcionalidade e optimização do dimensionamento de um sistema predial de distribuição de água, é o correcto traçado e implantação tendo em conta aspectos de natureza regulamentar e económico nas interligações com os outros edifícios. Há necessidade que o projectista tenha coordenação com os outros especialistas envolvidos no projecto a implantar no edifício pondo em consideração os seguintes aspectos:

- Localização do (s) contador (es)
- Posicionamento dos dispositivos de distribuição
- Localização do termo acumulador
- Localização dos depósitos da água
- Posicionamento dos sistemas elevatórios e da rede interior das zonas privadas de cada consumidor.

A alimentação de um edifício pode ser feita de duas formas que são: Forma directa e forma indirecta.

A Forma directa normalmente é quando a alimentação pela rede pública de abastecimento de água é feita 24 horas ininterruptas podendo ter um mecanismo que garanta um fornecimento ininterrupto da água. Também tem a ver com a fonte de captação que geral, quando se escolhe, no caso de um rio, deve ser preservado o caudal ecológico devido a biodiversidade para além da população a jusante que possa se beneficiar do mesmo curso da água por sua vez, a alimentação indirecta é quando em muitos centros urbanos, a agua vem de uma longa distância onde a rede publica de abastecimento não disponibiliza agua durante todo o dia (fornecimento com interrupção), recorre-se a esta forma de alimentação como forma de ter tempo suficiente para acumular agua nas células de distribuição para fornecer nos momentos em que haja interrupção na rede geral (publica) mas também pode-se adoptar sistemas mistos para casos de edifícios muito altos, em que se recorre a diferentes pressões os pisos que o edifício tiver em

que os andares abaixo recebem a agua directamente da rede e os andares acima recebem a partir de mecanismos recorrendo a sistemas de electrobombas.

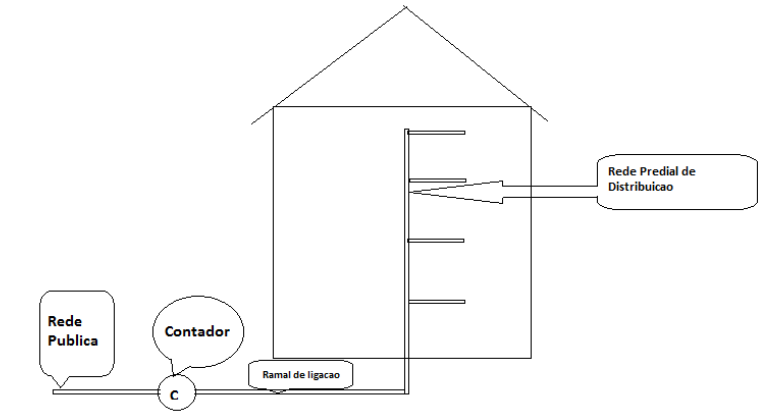


Fig. 1-Esquema de alimentação directa

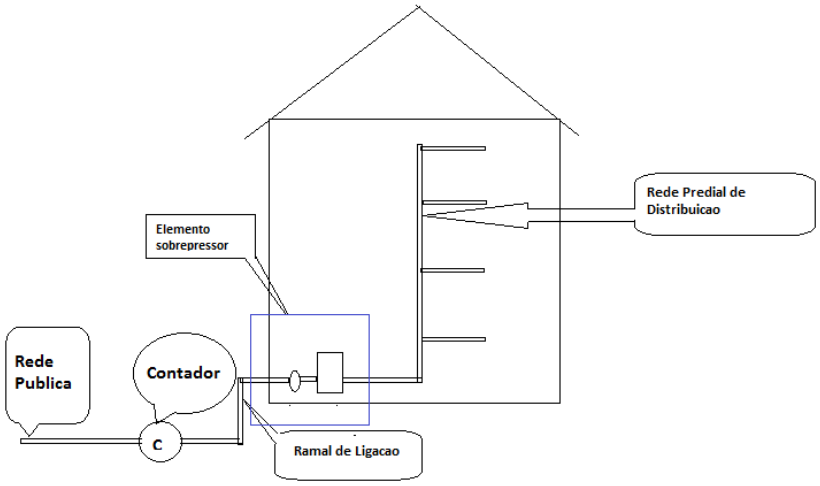


Fig.2- Esquema de alimentação indirecta

Tendo em conta a satisfação dos consumos domésticos, a estimativa de pressão mínima necessária a entrada da edificação a servir é dada pela expressão:

$$H = 100 + 40.n \qquad \text{(eq.1)}$$

Onde H é a pressão mínima (Kpa); e n é o número de pisos acima do solo incluindo o Rés-do-chão.

A água armazenada no reservatório não pode ficar o tempo excessivo nos reservatórios sob o risco da mesma perder a sua qualidade para o consumo. Os reservatórios constituem uma fonte de reserva destinada a alimentação dos sistemas prediais de distribuição de forma a suprir as deficiências da rede pública de alimentação.

A mistura da água destinada ao combate aos incêndios e a água para o consumo (fins domésticos) só excepcionalmente deve ser armazenada no mesmo reservatório devendo ser

garantidas todas as condições da sua potabilidade e ao mesmo tempo, a disponibilidade da água para o combate aos incêndios.

Para questões alimentares e sanitárias, o volume útil dos reservatórios não devem exceder o valor correspondente ao volume medio diário do mês de maior consumo tendo em conta a ocupação previsível do edifício a abastecer. Devido a fraca das redes públicas, o que é comum em muitas cidades moçambicanas, tem havido muita tendência de armazenar grandes volumes de água o que faz com que ela fique muito tempo e perca a sua qualidade dentro dos próprios reservatórios, portanto os reservatórios devem depender do tipo e da utilidade de cada edifício e o número de utentes desse mesmo edifício, considerando o Regulamento em vigor.

De acordo com o Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Aguas e de Drenagem de Aguas Residuais de Moçambique (RSPDADAR) 2004, no seu artigo 14º define o seguinte:

- Áreas abastecidas por fontanários =30 litros/hab/dia
- Para áreas abastecidas por torneiras no quintal=50litros/hab/dia
- Centros urbanos atem 2000 habitantes, com abastecimento domiciliário e distribuição predial=80litros/hab/dia;
- Centros urbanos com abastecimento domiciliário e distribuição predial=125litros/hab/dia
- Hospital= 300 a 400 litros/leito
- Escritório=15 litros/pessoa/dia
- Restaurantes=20 a 45 litros/refeição servida
- Para escolas=10litros/aluno

Para casos especiais como quarteis, locais desportivos ou mesmo indústrias devem ser analisados caso por caso podendo ser considerados valores dos 4 a 10litros/ m^2 . Para o caso de edifícios habitacionais há que considerar o número dos habitantes e a área da zona verde (jardins) que possam exigir uma rega diária indispensável.

No caso de dimensionamento dos caudais de consumo, o tipo de dispositivo de utilização é muito importante do que o número de pessoas que ocupam o edifício.

1.3. CAUDAIS NOS DISPOSITIVOS DE UTILIZAÇÃO

O dimensionamento hidráulico dos ramais de ligação consiste na determinação dos seus diâmetros com base nos caudais de cálculo consoante as velocidades do seu escoamento que compreendem entre 0,5m/s a 2m/s e os caudais de calculo são determinados a partir dos caudais instantâneos *Qi* que correspondem aos caudais necessários e suficientes para os diversos dispositivos de utilização existentes na instalação do edifício podendo considerar as sua características por vezes particulares que se indicam no quadro abaixo, validos para redes de água fria assim como de água quente.

Tabela 1- caudais instantâneos mínimos (Qi) de acordo com o anexo do RSPDADAR

Dispositivo de utilização	Caudais instantâneos (l/s)
Lavatório individual	0,10
Lavatório colectivo (por bica)	0,05
Bidé	0,10
Banheira	0,25
Chuveiro individual	0,15
Pia de despejo com torneira de bica de φ ½"	0,15
Autoclismo de bacia de retrete	0,10
Urinol com torneira individual	0,15
Pia lava loiça	0,20
Bebedouro	0,10
Máquina de lavar roupa	0,15
Máquina de lavar roupa	0,20
Tanque de lavar roupa	0,20
Bacia de retrete com fluxómetro	1,50
Urinol com fluxómetro	0,50
Boca de rega ou lavagem com φ 15mm	0,30
Boca de rega ou lavagem com φ 20mm	0,45
Máquinas industriais e outros aparelhos	De acordo com as instruções do fabricante

1.4. COEFICIENTE DE SIMULTANEIDADE E CAUDAL DE CÁLCULO

Há necessidade da determinação do coeficiente de simultaneidade para que se possa decidir a efectividade do caudal a usar para dimensionar a tubagem. Contudo a probabilidade de todos os dispositivos de utilização de um edifício estarem a funcionar em simultâneo e menor, os caudais utilizados que servem de base para o dimensionamento das canalizações (caudais de calculo Q_c são traduzidos pelo somatório dos caudais instantâneos Qi proporcional, ao que se chama caudal acumulado Qa

$$Q_a = \sum Q_i \; ; \; Q_c = KQ_a$$

Onde k é o coeficiente de simultaneidade

1.5. DIMENSIONAMENTO DAS TUBAGENS

O dimensionamento das tubagens faz-se de acordo com o caudal da água (caudal de calculo, Q_c) de forma a assegurar os dispositivos de utilização na altura da distribuição da água, de acordo com a pressão mínima a assegurar nesses dispositivos e do material que compõem essas tubagens.

Pode fazer o cálculo dos diferentes trocos da tubagem que constituem o sistema, a partir da fixação de valores da velocidade de escoamento a partir de método chamado "método das velocidades" ou a partir das perdas de cargas admissíveis para os percursos pretendidos.

Tabela 2. Redução das perdas de cargas para diferentes materiais de tubagem em relação a velocidade

Material	Caudal (l/s)	Rugosidade absoluta (mm)	Redução da perda de carga de percurso relativamente ao FP (%)		
			v=0,52m/s	v=1,25m/s	v=2,00m/s
FP	0,98	0,26			
FG		0,15	10,1	13,3	14,7
Cu		0,04	22,3	31,1	35,2
PVC		0,003	26,7	38,9	45,3

Por questões da durabilidade das canalizações, as velocidades de escoamento devem manter-se entre 0,5m/s e 2m/s e as pressões de serviço entre os 150Kpa e os 300Kpa.

Da forma que o sistema de distribuição predial da água fria é dimensionado, também da água quente tem os mesmos procedimentos embora com três situações mais comuns que são:

a) Aquecimento a partir de um termo acumulador usando a energia eléctrica- devendo considerar os volumes e as pressões da água a aquecer; aparelhos com capacidade de produzir, armazenar para ser utilizada quando for necessária, equipado de sistema de controlo de temperatura.

b) Aquecimento a partir de um esquentador de uso imediato (geralmente alimentado a gás), que não acumula água quente;

c) Produção por um aquecimento central destinado a abastecer todos os dispositivos de utilização da edificação (hospitais, internatos, hotéis)

A correcta concepção e o correcto dimensionamento de um sistema destinado a produção e distribuição de água quente, implicam uma definição adequada das necessidades previsíveis dos utentes a servir, as quais dependem da temperatura da agua distribuída.

A instalação de água quente para consumos domésticos tem como função as necessidades dos utentes, em termos da própria água quente, devendo ser a produção e sua distribuição.

O volume da água quente deve ser em função da utilidade/função pelo qual o edifício é concebido.

2. SISTEMAS DE COMBATE AO INCÊNDIO COM ÁGUA

Neste capítulo, serão abordados aspectos importantes que devem ser postos em conta no projecto de redes de incêndios nos edifícios, não estando detalhado o cálculo hidráulico propriamente dito, visto serem os mesmos procedimentos de cálculo hidráulico de condutas em pressão.

Desde que o Homem descobriu e aprendeu a usar o fogo, estando livre da sua permanente conservação também trouxe para si a necessidade de estudar, através da civilização que o

mesmo fogo é um cruel agente de destruição dai a necessidade de estudo, no caso preventivo contra incêndios ser progressivo, de como combate-lo.

O crescimento das indústrias, das cidades e a diversificação de materiais inflamáveis faz com que o risco de incêndios seja maior e dai que a preocupação é de como extingui-lo ou como prevenir-se dos efeitos danosos do mesmo fogo.

Antes da preocupação de combater o fogo, a maior preocupação dos engenheiros é de como prevenir-se dos incêndios que passa pelo estudo dos elementos da construção que resistam ao fogo (não inflamáveis); estudo das causas da elevação das temperaturas que possam criar riscos e o uso de aparelhagem que sendo automáticos avisem e impeçam o progresso do fogo.

Assim sendo ao fazer qualquer projecto, deve-se estudar a forma em que a probabilidade da ocorrência de incendio seja mínima; seja dectetado o mais rapidamente possível, caso ocorra; criar mecanismos que dificultem o seu desenvolvimento para além de haver facilidade do combate ainda no seu início.

2.1. FORMAS DE COMBATE AO INCÊNDIO COM ÁGUA

As principais formas de combate ao incendio por água são: Jacto e Pulverização ou aspersão

2.1.1. Jacto

Geralmente são usados bocais ligados as mangueiras que por sua vez recebem água a partir das bocas de incêndios, devendo atingir o objecto a uma distância de mais de 10m.

2.1.2. Aspersão

Em muitos países do mundo, é obrigatório o uso de extintores em edifícios de cariz social como caso de hotéis, escolas, bibliotecas, salas de espetáculos complementados por uma conduta de incêndios para uso com jacto. Há casos até de uso desses dispositivos em residências sendo obrigatoriedade em alguns países, condicionando-se assim ao tipo de edifício a construir e o local da sua construção como caso:

- Cidades com rede geral de incêndios
- Cidades sem rede geral, mas que tenha serviços de bombeiros nas suas proximidades
- Numa cidade ou zona rural sem todos esses benefícios

Não é comum a concepção de um projecto de um sistema interno de incêndios nas edificações isoladas, esses sistemas começam a ter mais incidência ou concentração de pessoas.

Para caso de moçambique, o Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Agua e de Drenagem de Aguas Residuais (RSPDADAR), o mesmo no seu artigo 17º diz" os consumos de água para o combate a incêndios, são função do risco da sua ocorrência e propagação na zona em causa a qual deve ser atribuída a um dos seguintes graus:

Grupo A- Zona urbana ou peri-urbana de moderado grau de risco, predominantemente constituída por construções com o máximo de 10 pisos acima do solo, destinadas para fins residenciais, de equipamento social e de serviços eventualmente com algum comércio e pequenas indústrias de riscos ligeiros;

Grupo B-zona urbana de considerável grau de risco, constituída por construções de grande porte, destinadas para fins residenciais, de equipamento social e de serviços e construções de fins hoteleiros, comerciais e de serviço público ou por construções antigas ou ainda com ocupação essencialmente comercial e de actividade industrial que armazene, utilize ou produza materiais explosivos ou altamente inflamáveis.

O caudal instantâneo a garantir durante um período mínimo de 2 horas para o combate a incêndios em função do grau de risco é:

a) -1000 litros/min……..……grau A

b) -2000 litros /min……..…grau B

2.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

- As bocas de incendio a instalar na rede interior do edifício deverão estar situadas de fácil acesso, de preferência em locais de fácil acesso aos compartimentos.
- A mangueira, em condições normais deve estar provida de acessório de redução de 2" para 1 ½" e a agulheta, normalmente ½" de diâmetro.
- Os principais ramais das redes independentes para o combate ao incendio deverão ter no mínimo 2" de diâmetro e compostas por condutas metálicas, mas também podem ser PVC apenas nas partes enterradas.

3. CONCLUSÃO

Para obter resultados satisfatórios, há necessidade de se fazer um diagnóstico na zona por instalar o Sistema de Distribuição da Água, verificar o funcionamento e eficácia dos sistemas de distribuição de água existentes. São mais notáveis as características da população, como casos de hábitos higiênicos, repetição de procedimentos higiênicos ao longo do dia, bem como a situação financeira para a população se deslocar a procura da água em zonas distantes, tendo em conta o crescimento da demanda devido ao aumento populacional; educação sanitária; a presença de pequenas e grandes indústrias e as condições climáticas.

Este trabalho permitirá o conhecimento sólido sobre o dimensionamento e a importância de dimensionamentos de sistemas prediais de água de forma pormenorizada.

Conhecimento em pormenor dos elementos que compõem um sistema predial de distribuição de água a partir do cálculo do número de utentes de uma dada edificação e de caudais de cálculo necessários para o efeito.

Permitirá também o conhecimento sólido sobre sistemas de drenagem de águas pluviais que tem sido um dos grandes causadores de problemas de erosão em Moçambique. Esses conhecimentos, facilmente poderão ajudar nos cálculos do volume de água necessário em uma dada edificação, material a ser usado para a instalação do sistema para além dos procedimentos construtivos para a execução dos projectos.

Moçambique precisa da implementação dos mecanismos e concepção de projectos sustentáveis de distribuição da água assim como de drenagem das águas residuais e pluviais de forma sustentável.

BIBLIOGRAFIA

ACKERS, P.(1958) Resistance of Fluids Flowing in Channels and Pipes. Hydraulics Research Paper No. 1. 1, HMSO, Londres- Inglaterra.

ACKERS, P. (1992) hydraulic Design of Two-stage channels, proc. Instn. Civil Engrs., Water, Martime and Energy, 96, Dec. 247-57.

ARGHYROPOULOS, P. 1957. Calcul de l'écoulement en conduits sous pression ou à surface libre, Dunod, Paris- França

ASCE & WETT, (1992). The Impermeability of Drainage Basins, HMSO, Londres- Inglaterra.

ESKES, M.J.J Manual de apoio em estudos de engenharia de abastecimento de água urbana; – Escola Profissional de DNA, Maputo.

HIPOLITO, Joao Reis & VAZ-Álvaro Carmo, (2011) -Hidrologia e Recursos Hídricos,press, Lisboa-Portugal

HUISMAN, L. Sedimentation and Flotation Delft University of Technology, Delft-Holanda.

LENCASTRE, A. Dezembro de 1954. Alguns Aspectos de Transporte Sólido em Problemas Hidráulicos, - publicação nº 64 do LNEC. Lisboa-Portugal.

PEIXOTO, 1979. O Ciclo da Água em escala global.CNA, Lisboa-Portugal.

QUINTELA, ANTONIO DE CARVALHO, 1997. Apontamentos de Hidráulica Aplicada. IST, Lisboa-Portugal

Regulamento dos Sistemas Públicos de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais (RSPDADAR) 2004-Maputo-Mocambique.

ARTIGO Nº23322

AVALIAÇÃO GEOTÉCNICA E IMPACTO AMBIENTAL DOS SEDIMENTOS DRAGADOS NO PORTO DA BEIRA: UMA ABORDAGEM PARA A SUSTENTABILIDADE DAS ZONAS COSTEIRAS

Dias Serafim Alfredo Pandze[1], Ubaldo G. Ombe Gemusse[2(*)], Fernando Rocha[3]

[1]Universidade Licungo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dondo, Moçambique
[2]Universidade Licungo, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Dondo, Moçambique
[2]Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, GEOBIOTEC
(*) *Email:* ugemusse@gmail.com

RESUMO

A pesquisa foca na caracterização geotécnica e geoambiental dos sedimentos dragados no Porto da Beira. O objetivo é analisar as características granulométricas, geoquímicas, mineralógicas e os contaminantes nos sedimentos. Serão realizados estudos laboratoriais, como análise granulométrica, DRX e FRX, para determinar metais pesados, pesticidas e outros contaminantes. Através de mapas de distribuição espacial, será possível compreender o impacto das dragagens na área. O estudo propõe soluções para a gestão sustentável dos sedimentos, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e diretrizes para a sustentabilidade das zonas costeiras.

***Palavras-chave**:* Dragagens, sedimentos, geoquímica, geotécnica, contaminantes, sustentabilidade, Porto da Beira.

INTRODUÇÃO

A dragagem é uma operação essencial para a manutenção e aprofundamento de canais de acesso a portos, sendo cada vez mais frequente devido ao aumento do tráfego marítimo e à necessidade de adaptar os portos à maior calado de embarcações. No entanto, a remoção de grandes volumes de sedimentos, sem a devida avaliação ambiental e geotécnica, pode provocar impactos ambientais significativos, como a contaminação de ecossistemas aquáticos e a erosão costeira (Vasconcelos, 2020). No caso do Porto da Beira, as operações de dragagem realizadas ao longo do tempo têm causado mudanças nos sedimentos do fundo marinho, o que demanda uma análise detalhada para identificar seus impactos geoambientais. O objetivo principal desta pesquisa é caracterizar os sedimentos dragados no Porto da Beira, avaliando suas propriedades geotécnicas, geoquímicas e geoambientais. Serão realizados testes de granulometria, análise mineralógica, quantificação de metais pesados e contaminantes orgânicos, além de um mapeamento detalhado da distribuição espacial desses elementos, utilizando SIG e detecção remota. Essa análise contribuirá para a proposição de estratégias sustentáveis para a gestão dos sedimentos dragados, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos princípios da economia azul (Smith et al., 2022).

REFERÊNCIAS

SMITH, J. et al. (2022). *Sustainable Sediment Management in Port Areas*. Journal of Coastal Management, 45(3), 233-245.

VASCONCELOS, R. (2020). *Impactos Ambientais das Dragagens nos Portos Marítimos*. Revista de Geotecnia, 34(1), 102-115

ARTIGO Nº23468

AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE ÁGUA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO: CIDADE DE MAPUTO, MOÇAMBIQUE

Humeid Abdul R. Daud[1(*)]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, DECI- Cidade de Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* humeid_daud@outlook.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar as perdas de água em redes de distribuição, aplicado à Zona de Medição e Controlo Unidade 7, pertencente à Área Operacional de Chamanculo, na Cidade de Maputo, em Moçambique. A metodologia baseou-se na pesquisa bibliográfica, recolha dados nas Águas da Região de Maputo e visitas de campo. Com base nos dados levantados foi possível determinar o volume de água perdida no ano de 2022 com auxílio do *software* denominado *AWWA Free Audit Software v6.0,* que baseia-se no Balanço Hídrico do sistema, e de seguida identificar os nós com probabilidade de registo de fugas, através do *software* Bentley WaterGEMS, com auxílio do módulo *Darwin Calibrator- Leakage Detection*. A Zona de Medição e Controlo Unidade 7 apresenta um regime intermitente de distribuição, com um tempo médio diário de 9 horas. Os resultados obtidos mostraram que a percentagem de perdas de água no local de estudo, para o ano de 2022, é de 9,54%. Ademais, a detecção de nós da rede de distribuição com possibilidades de fuga de água apontou para: 11 nós no período entre 0h-3h; 8 nós no período entre 13h-15h; 12 nós no período entre 16h-19h e, finalmente, 13 nós entre 20h-23h. Assim, é possível dizer que a Zona de Medição e Controlo Unidade 7 encontra-se bem delimitada e com uma percentagem de perdas de água relativamente aceitável comparado com a realidade moçambicana, sendo que as perdas ocorrem predominantemente no período em que o abastecimento é interrompido. A realização de estudos desta natureza em Moçambique pode contribuir para consciencializar sobre esta temática e permitir que esforços sejam concentrados para a gestão, controlo e redução das perdas de água.

***Palavras-chave**:* perdas de água, zona de medição e controlo, balanço hídrico, fugas.

INTRODUÇÃO

Atualmente, o acesso à água é reconhecido internacionalmente como sendo uma necessidade básica do ser humano, e que deve ser garantida (Bezerra & Cheung, 2013). (Cesar et al., 2019) relata que a OMS e a UNICEF, que revelam que uma a cada seis pessoas no Mundo não possui sistema de abastecimento de água canalizada à sua disposição.

Para o caso de Moçambique, o Programa Acelerado e Integrado de Redução de Perdas (PAIRP), tendo seu início em 2019, relatou que as perdas nesse ano, para o Sistema de Água de Maputo, estavam estimadas em 53%.

REFERÊNCIAS

Bezerra, S. de T. M., & Cheung, P. B. (2013). *Perdas de Água- Tecnologias de Controle*. Editora da UFPB.

Cesar, C., Abdala, L., Kreski, S., & Paulo, S. (2019). *Sustentabilidade Ods 6 Água Potavél E Saneamento*. 1–50.

ARTIGO Nº23471

SÍNTESE DE CLORETO DE ALUMÍNIO A PARTIR DE RESÍDUOS DE ALUMÍNIO PARA APLICAÇÃO COMO REAGENTE NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Moane, João Baptista [1,2 (*)], Cumbane, António José [2]
[1] Departamento de Química, Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane, C. Postal nº 3453, Av. Julius Nherere, Maputo, Moçambique
[2] Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, C. Postal nº 257, Av. de Moçambique, Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* joaomoane13@gmail.com

RESUMO

A água, é um elemento imprescindível para a existência da vida. Hoje, estima-se que 44% da população Moçambicana já tenha acesso a água potável e o desafio está em universalizar a oferta, mas, devido a alguns factores como as exigências da legislação de consumo, a deposição no meio natural e o custo de aquisição de coagulantes, fazem com que o custo deste precioso líquido continue a preços elevados. Estes factores criam a necessidade de se optimizar o processo de tratamento de água. O artigo debruça sobre a possibilidade de optimização do processo de tratamento de água como forma de disponibilizá-la a custos baixos. Na investigação, foi feito um estudo da possibilidade do uso do cloreto de alumínio como reagente alternativo ao sulfato de alumínio, na sua possível rota de síntese e realização de análise da qualidade do cloreto sintetizado e também de seu desempenho no processo de tratamento de água comparativamente ao cloreto de alumínio comercial. Verificamos, pelo método de fluorescência dos raios-x, que o cloreto de alumínio sintetizado apresenta pureza média de 98.78%. O estudo comparativo do cloreto de alumínio sintetizado em relação ao comercial apresentou a eficiência de 69.63% para o cloreto de alumínio comercial e 70.54% para o sintetizado na remoção de turbidez e eficiência na remoção de sólidos totais de 58.89% para o cloreto de alumínio comercial e 55.91% para o sintetizado, apresentando variâncias de 0.01 e 0.05 para remoção de turbidez e de sólidos totais respectivamente, com um pH de 6.97 e 7.05 para o cloreto de alumínio comercial e sintetizado, respectivamente. Nestas condições, afirmamos que é possível sintetizar o cloreto de alumínio localmente e usar no processo de tratamento de água, como forma de minimizar e optimizar os custos deste processo e consequentemente reduzir custo de água potável para a população Moçambicana.

***Palavras-chave**:* Tratamento de água, Cloreto de alumínio, Resíduos, Recuperação e Optimização.

INTRODUÇÃO

O custo ascendente da água potável, as exigências da legislação de consumo e a deposição no meio natural criam necessidade de se optimizar o processo de tratamento. Em função da característica da água bruta, ocorre a escolha de métodos de tratamento a serem empregues, sendo o método convencional composto pelas etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Sabe-se que este método é eficiente para remover células de cianobactérias e cianotoxinas na forma intracelular, porém é ineficiente para remove-las na forma dissolvida (OLIVEIRA, 2005; SANTIAGO, 2008; DI BERNARDO et al., 2010). É neste

contexto que o presente artigo tem o objectivo de sintetizar cloreto de alumínio a partir dos resíduos de alumínio e aplicar como reagente alternativo ao sulfato de alumínio no tratamento da água.

REFERÊNCIAS

OLIVEIRA, J. F. *Análise de impactos ambientais no processamento mineral e o uso sustentável da água*, 2005

DI BERNARDO, L., REIS, R. A., MOURA, G. R., & PEREIRA, S. S. *Caracterização de resíduos de estação de tratamento de água e sua disposição final*, 2010.

SANTIAGO, A. F. *Emprego de inteligência artificial na obtenção de concentrações de ferro na bacia hidrográfica do rio Doce*, 2008.

ARTIGO Nº23472

TRATAMENTO E REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA NA ESTAÇÃO DE LAVAGEM DE AUTOMÓVEIS DALLAS CARWASH

Vera Cláudia Mutchamua[1(*)], Estevão Pondja [1]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, FEUEM - Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* vera.mutchamua@live.com

RESUMO

As estações de lavagem de automóveis em Maputo, Moçambique utilizam uma grande quantidade dos recursos hídricos e a maior parte são construídas de forma não convencional, sem fiscalização e controle do governo, o que resulta em um consumo excessivo dos mesmos e maior geração de efluentes, e para além dos produtos químicos utilizados na lavagem de automóveis, que são destinados aos esgotos, sem nenhum tratamento. O presente trabalho tem como objectivo o tratamento e reaproveitamento de água na estação de lavagem de automóveis Dallas Car Wash. pelo método de tratamento com coagulação, floculação e sedimentação com sulfato de alumínio e cloreto de ferro III e electrocoagulação com placas de alumínio e ferro, com vista a avaliar o método mais eficiente na remoção de contaminantes.

***Palavras-chave**:* tratamento, coagulação, electrocoagulação.

INTRODUÇÃO

O mundo enfrenta uma crise de segurança hídrica devido a factores como a poluição da água, efeitos das mudanças climáticas, más práticas de gestão da água e exploração insustentável de água (UNO, 2015). Em África, tal como noutros continentes, este reconhecimento resultou em muitos esforços para promover inovações tecnológicas relacionadas com a água a diferentes níveis (organizacional, sectorial, político), alterando assim o panorama da inovação no domínio da água. Assim, foram introduzidas muitas abordagens inovadoras à gestão da água (Mvulirwenande & Wehn, 2020).

Em Maputo, Moçambique a maior parte das estações de lavagem de automóveis são construídas de forma não convencional e sem fiscalização das entidades governamentais. Estes empreendimentos tem um consumo excessivo da água potável e maior geração de efluentes que são descartados ao meio ambiente sem um prévio tratamento.

Como forma de solucionar esse problema, uma das medidas adoptadas neste estudo é o tratamento e o reaproveitamento da água nesses estabelecimentos, visando reduzir tanto o consumo quanto a geração de efluentes.

REFERÊNCIAS

Mvulirwenande, S., & Wehn, U. (2020). Dynamics of water innovation in African cities: Insights from Kenya, Ghana and Mozambique. *Environmental Science and Policy*, 1. Obtido em 5 de Dezembro de 2023

UNO. (2015). *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.* New York, NY, USA,.

ARTIGO Nº23474

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO DE EFLUENTE DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO

Dulce S. Mutombene[1] (*), Estêvão Pondja[1]

[1]Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane, C. Postal n° 257, Maputo,
(*) *Email:* dulcesalomao16@gmail.com; tindjombo@gmail.com

RESUMO

O plástico é um dos materiais mais utilizados no mundo, sua reciclagem é de vital importância para a sociedade e ambiente, contudo esta actividade gera um efluente líquido com elevada carga de poluição que requer tratamento para que seja descartado. Diante desta situação o presente trabalho tem como objectivo caracterizar e tratar o efluente de uma empresa reciclagem de plástico de modo a reduzir a sua carga de poluição, para o efeito fez-se a caracterização do efluente e após a análise dos resultados o método de tratamento mais indicado foi a electrocoagulação, devido a elevada condutividade que o efluente apresentou nas 3 campanhas de caracterização realizadas (1124,89 ± 218,60 $\mu S.cm^{-1}$). O estudo foi realizado em escala piloto usando um reactor rectangular em acrílico, com 15 L de capacidade, constituído por 10 placas de alumínio, dispostas verticalmente, intercalando ânodo e cátodo (arranjo monopolar em paralelo) e distando 5 cm uma da outra. O tratamento foi realizado em bateladas utilizando 12 L de efluente e variando a tensão eléctrica, o tempo de electrólise para cada ensaio foi de 60 minutos. A eficiência do processo foi verificada através da análise de parâmetros físico-químicos do efluente antes e após o tratamento. O ponto óptimo foi encontrado na condição de 10 V e densidade de corrente igual a 50, 74 j/cm^2 onde obteve-se a eficiência máxima de remoção de turbidez, DBO e DQO alcançado os seguintes valores 98%, 96% e 96% respectivamente. A análise do custo operacional indicou que o processo de electrocoagulação apresenta um baixo custo sendo uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes gerados no processo de reciclagem de plástico.

Palavras-chave: Plástico, reciclagem, efluente, tratamento, electrocoagulação

1. INTRODUÇÃO

Uma das alternativas para reduzir os impactos ambientais do plástico é fazer com que este retorne ao mercado através da reciclagem (Barbosa, Teran, & Gomes, 2009). No entanto, a necessidade de incluir uma etapa de lavagem no processo de reciclagem do plástico, com o objectivo de separar os contaminantes do plástico, como óleos e gorduras, areia e materiais grosseiros, resulta na geração de um efluente com elevada carga de poluição e, justamente por causa de seus elevados níveis de contaminação orgânica e inorgânica não pode ser descartado sem tratamento. O lançamento inadequado desse efluente causa vários impactos ambientais como a poluição do solo, do lençol freático e a degradação dos recursos hídricos (Casali, 2011).

Os poluentes presentes nos efluentes encontram-se na forma de matéria em suspensão, particulada ou dissolvida (Piovesan, 2017). Assim os sistemas de tratamento de efluentes visam transformar dos poluentes dissolvidos e em suspensão em gases inertes e ou sólidos

sedimentáveis (lodo), para a posterior separação das fases sólida/líquida por sedimentação ou flotação (Marcondes, 2012).

O método mais utilizado no tratamento de efluentes de reciclagem de plástico é a coagulação-floculação, no qual ocorre a adição de produtos químicos responsáveis pela aglomeração de partículas em suspensão e posterior decantação, apresentando elevados custos para aquisição dos produtos químicos e tanques de coagulação, floculação e decantação (Casali, 2011). Com isso, torna-se necessário desenvolver e implementar tecnologias mais simples e compactas, neste contexto a electrocoagulação representa uma alternativa à coagulação pois dispensa a adição de produtos químicos, utilizando processos de oxidação e redução de eléctrodos metálicos para geração do coagulante e a ocorrência dos processos de coagulação, floculação na mesma unidade operacional.

Diante do exposto o presente trabalho tem como objectivo caracterizar e tratar o efluente de reciclagem de plástico, aplicando a electrocoagulação como método alternativo à coagulação. A electrocoagulação baseia-se na produção in situ de coagulante através de reacções químicas causadas pela passagem de corrente eléctrica sobre um par de eléctrodos submerso no efluente a tratar, seguida da formação de flocos, os quais se separam da fase líquida por flotação devido à formação de microbolhas de hidrogénio, geradas com a electrólise da água.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Amostragem

Para a caracterização do efluente, foram realizadas três campanhas de amostragem nos meses de Junho, Agosto e Outubro de 2023, com uma colecta efectuada em cada mês. As amostras foram recolhidas seguindo as técnicas descritas no Stan-dard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012) para amostragem de efluentes líquidos. Para a análise do efluente, seguiram-se os métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012), exceto para a determinação da DQO e dos sólidos totais dissolvidos, que se determinaram através de correlações com outros parâmetros.

Tabela 1: Parâmetros, equipamentos e metodologias empregados na caracterização do efluente

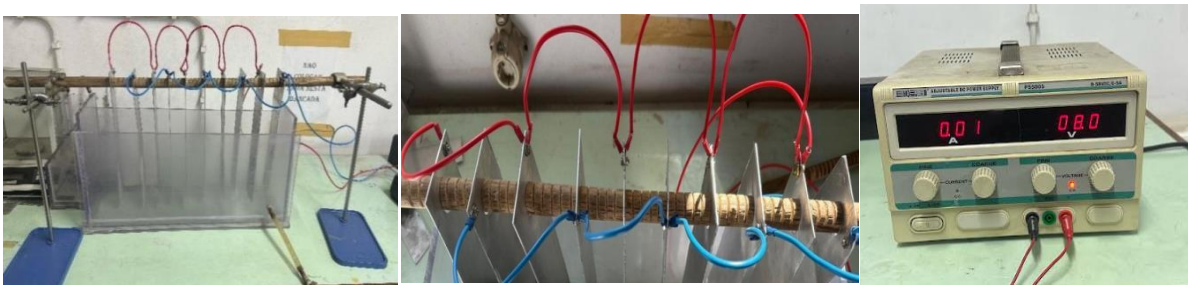
Parâmetros	Método	Referência	Equipamento
pH	Potenciométrico	4500 H^+ B	Multimedidor portátil de pH, OD e
OD (mg/L)	Potenciométrico	4500-O G	CE
CE (µS/cm)	Potenciométrico	2510 B	Marca: HACH Modelo: HQ40D
Turbidez (NTU)	Nefelométrico	2130 B	Turbidímetro Marca: WTW
DBO (mg/L)	Incubação por 5 dias	5210 B	Incubadora Marca: HACH

2.2. Tratamento

O tratamento foi realizado em um reactor rectangular em acrílico para melhor acompanhamento da evolução dos processos electroquímicos, o volume útil do reactor utilizado nesta unidade piloto foi de 12 litros e o volume total do reservatório era de 15 litros (51,0 x 16,0 x 22 cm).
O reactor foi equipado com 10 placas de alumínio, com as seguintes dimensões (30.5x7.5) cm^2, com área de superfície total de 0,18 m², as mesmas foram perfuradas com diferentes diâmetros

(uma para a conexão dos cabos eléctricos e outra para permitir que fossem suspensas no suporte e para prevenir curto-circuito).

O sistema de eléctrodos foi fixado em um suporte de madeira, alocado na parte superior do reactor, que permitia manter os eléctrodos a uma distância de 5 cm. Quanto ao arranjo das placas usou-se uma conexão em paralelo, ou seja, as placas da mesma polaridade foram interligadas entre si, através de conectores fixados com parafuso metálico e fios de cobre, sendo os azuis para os cátodos (pólo negativo) e vermelhos os ânodos (pólo positivo). A Figura 3 apresenta a reactor de electrogualacao (1a), o sistema de eléctrodos (1b) e a fonte de corrente contínua (1c).



(a) **(b)** **(c)**

Figura 1: (a) Reactor de electrocoagulação em escala piloto, (b) Arranjo de eléctrodos, (c) fonte de tensão.

Para o tratamento do efluente foram realizados vários ensaios variando a tensão eléctrica (4,6,8,10,12 e 14 volts) de modo a obter a tensão óptima, o volume de efluente tratado para cada ensaio foi de 12 litros e tempo de electrólise foi de 60 minutos. A realização dos ensaios obedeceu as seguintes etapas: 1) adicionou-se o efluente no reactor, 2) Após a alimentação do reactor, os eléctrodos foram submersos no reactor e conectados à fonte de corrente e ajustou-se o potencial a ser aplicado, assim dava-se início ao tratamento, 3) após 60 minutos de electrólise retirou-se uma amostra de efluente tratado e deixou-se sedimentar por 30 minutos, 4) após a sedimentação mediu-se novamente o pH, a temperatura, a turbidez a conductividade eléctrica e a DBO, por fim, lavou-se os eléctrodos e do reactor, e os passos foram repetidos para diferentes potenciais.

2.3. Custo operacional da electrocoagulação

O custo operacional de qualquer tratamento de efluentes é um critério muito importante para a avaliação da aplicabilidade do método em escala industrial. Para o processo de electrocoagulação os principais custos de operação incluem o custo da electricidade e do material do eléctrodo como mostra a Equação 1 (Samir, Ajeel, & Alaba, 2018).

$$C_o = C_{energia} + C_{eléctrodo} \qquad \text{(Equação 1)}$$

Onde:
C_o – custo operacional;
$C_{energia}$ – custo de energia eléctrica;
$C_{eléctrodo}$ – custo do eléctrodo.

O custo de energia elétrica ($C_{energia}$) foi calculado com base na quantidade de energia eléctrica consumida (kWh/m^3 do efluente tratado) e no preço da energia eléctrica (P_{EE}) de acordo com Equação 2. Para proceder o cálculo do consumo de energia tarifa da energia elétrica foi obtida

no "site" da EDM (Electricidade de Moçambique), em que a tarifa para média tensão é de 4.78 Mt/KWh.

$$C_{energia} = \frac{\mathbf{U.\ I\ .\ t}}{\mathbf{V_{efluente}}} \text{ x } P_{EE} \quad \text{(Equação 2)}$$

$C_{energia}$ – custo energia eléctrica em Mt/m^3;
I – Corrente eléctrica aplicada, em A;
U –Tensão aplicada, em volts;
t –Tempo de electrólise, em horas;
$V_{efluente}$ – volume do efluente em m^3;
PEE – Preço do Eléctrodo

O custo do material do eléctrodo foi obtido através da Equação 3 com base na lei de Faraday. o preço de alumínio foi tomado com base no preço do mercado global (U$ 2.37/Kg) que corresponde a 157,18 Mt/Kg de alumínio.

$$C_{eléctrodo} = \frac{\boldsymbol{M.I.t}}{\boldsymbol{n.F.V}} \text{ x } P_{ME} \quad \text{(Equação 3)}$$

onde:
$C_{eléctrodo}$ – custo do eléctrodo, em Mt/m^3;
I – Corrente eléctrica aplicada, em A;
t – Tempo de electrólise, em segundos;
M – Massa molar relativa do alumínio, em g/mol;
P_{ME} – preço do material do eléctrodo em Mt/g;
n – Número de electrões envolvidos na reacção de oxidação/redução;
F – Constante de Faraday (96500 C/mol);
$V_{efluente}$ – volume do efluente tratado em m^3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Caracterização do efluente

A caracterização do efluente é imprescindível pois permite quantificar a carga de poluição, verificar a sua variabilidade assim como, definir o processo de tratamento e verificar a sua eficiência, a caracterização deste efluente foi feita através de parâmetros físico-químicos e os resultados obtidos são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados da caracterização do efluente

Parâmetros	**1ª Campanha (13.09.23)**	**2ª Campanha (22.08.23)**	**3ª Campanha (05.10.23)**	**Limites admissíveis**	
				Decretos (52/2023)	EPA 2012
pH	7.09	7.01	7.04	6 - 9	6-9
T (˚C)	24.5	24.47	29.3	-	
DBO (mg/L)	-	225.43	228.57	30	
DQO (mg/L)	-	157.8	160.33	150	
OD (mg/L)	4.97	1.86	0.93	-	-
Turbidez (NTU)	80.37	129	212	-	5
Conductividade (µS/cm)	942	1065.67	1367	-	700
STD (mg/L)	602.88	682.03	874.88		450

A partir da Tabela 2 pode se observar que o efluente apresentou carácter neutro, com valores de pH relativamente estáveis ao longo de todas as campanhas realizadas. Esses valores estão

em conformidade com os limites estabelecidos, indicando que, no aspecto de acidez e alcalinidade, o efluente não representa nenhum risco.

A temperatura do efluente manteve-se igual à temperatura ambiente, uma vez que o processo não inclui o aquecimento da água

De acordo com Parteca et al. (2007), a concentração de matéria orgânica (DBO e DQO) está directamente relacionada ao nível de contaminação da matéria-prima, atribuída tanto à presença de resíduos orgânicos quanto a materiais químicos, como tintas presentes no plástico. O efluente apresentou concentrações de DBO e DQO acima dos valores admissíveis o que pode causar o esgotamento do oxigénio e a emissão de odores devido à decomposição anaeróbica contribuindo assim para a poluição do ar.

Em relação a turbidez o efluente apresentou valores muito acima do limite admissível pelo EPA (2012). Segundo Barbosa et al., (2009) a turbidez é provocada por sólidos em suspensão e a sua quantidade no efluente de lavagem de plástico depende da coloração do plástico reciclado, assim como do nível de contaminação deste por materiais como argila.

Quanto à salinidade, medida através da condutividade eléctrica e concentração de sólidos totais dissolvidos e que indica a concentração de iões dissolvidos na água o efluente apresentou valores acima dos limites admissíveis, o que se traduz em uma salinidade significativa.

3.2 Tratamento do efluente

Antes da realização dos ensaios de tratamento, fez-se a caracterização do efluente a tratar, visando avaliar a eficiência do tratamento. As características físico-químicas do efluente a tratar e os resultados do efluente tratado em diferentes condições são apresentados na Tabela 3. Embora a variável controlada no presente estudo tenha sido a tensão eléctrica aplicada às placas, a análise dos resultados foi realizada em função da densidade de corrente pois esta representa a intensidade de corrente eléctrica aplicada pela área da superfície dos eléctrodos.

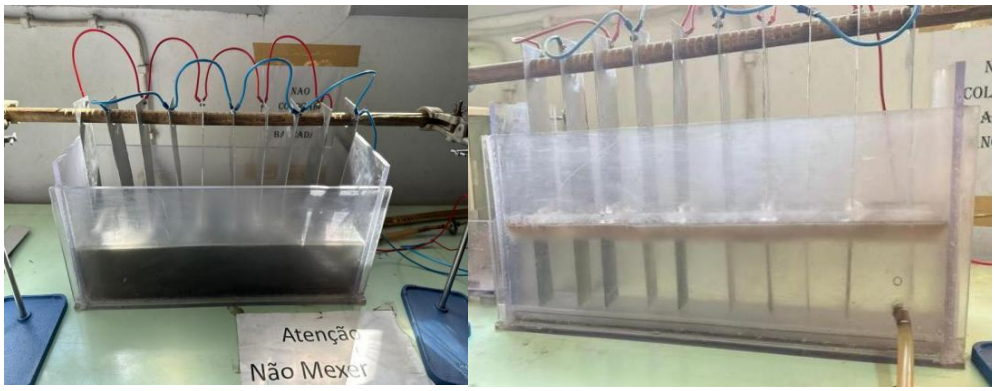
Tabela 3: Resultados dos parâmetros iniciais e após tratamento

Ensaios	**Bruto**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Limites Admissíveis**	
U (V)		4	6	8	10	12	14		
I (A)		0.6	1	1.6	1.96	2.01	2.89		
J (A/m^2)	-	15.53	25.89	37.54	50.75	55.67	74.04	Decreto 52/202	EPA 2012
Conc. (mg/L)		83.94	139.89	202,85	274.20	300.78	404.30	3	
Turbidez (NTU)	67.3	9.68	1.85	1.54	0.89	3.21	3.56		5
DBO (mg/L)	141.27	21.9	4.47	4.41	3.83	8.83	8.79	30	
DQO (mg/L)	235.44	36.6	7.9	7.35	6.37	14.64	14.72	150	
STD (mg/L)	750.93	743	719.9	699.73	650.24	647.25	622.72		450
pH	7.74	7.75	7.76	7.83	8.06	8.06	8.36	6 -9	6-9
T (°C)	22	22.7	22.9	22.9	23	23.2	24.2		

3.2.1 Avaliação de eficiência da electrocoagulação

A avaliação de eficiência do tratamento foi feita pelo acompanhamento dos parâmetros físico-químicos do efluente antes e após o tratamento. A comparação dos valores obtidos permite quantificar a taxa de remoção de contaminantes e, consequentemente, determinar a eficácia do processo aplicado. A Figura 2 mostra o efluente bruto (a), caracterizado por elevada turbidez,

e o efluente tratado (b) por electrocoagulação, onde se evidencia o potencial do método na clarificação da água e na remoção de matéria orgânica.



(a) (b)

Figura 2: Aspecto do efluente bruto (a) e do efluente tratado (b)

a) Remoção da Turdidez

A Figura 3 a demonstra a eficiência da electrocoagulação na remoção da turbidez, onde é possível verificar a aplicabilidade do tratamento, pois a eficiência de remoção da turbidez esteve acima dos 85%. Barbosa et al., (2009) também verificou reduções significativas para a turbidez de até 99,85% e no presente trabalho a remoção máxima foi de 97,71 %. A elevada remoção da turbidez está relacionada com a interacção do coagulante com as partículas para formar flocos, que são separados por flotação.

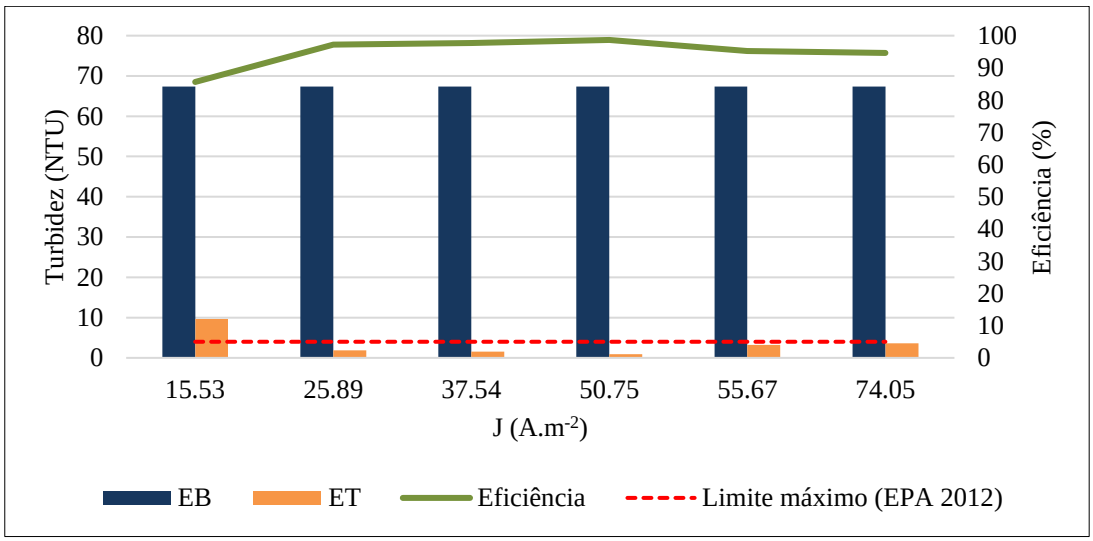


Figura 3: Eficiência de remoção de turbidez

b) Remoção da Demanda Bioquímica de oxigénio

De acordo com Carvalho (2018), a electrocoagulação apresenta uma capacidade significativa de degradar compostos orgânicos biodegradáveis de maneira segura e eficaz, promovendo sua

remoção do efluente. Esse efeito pode ser observado na Figura 4, onde foram registradas elevadas taxas de remoção de matéria orgânica biodegradável.

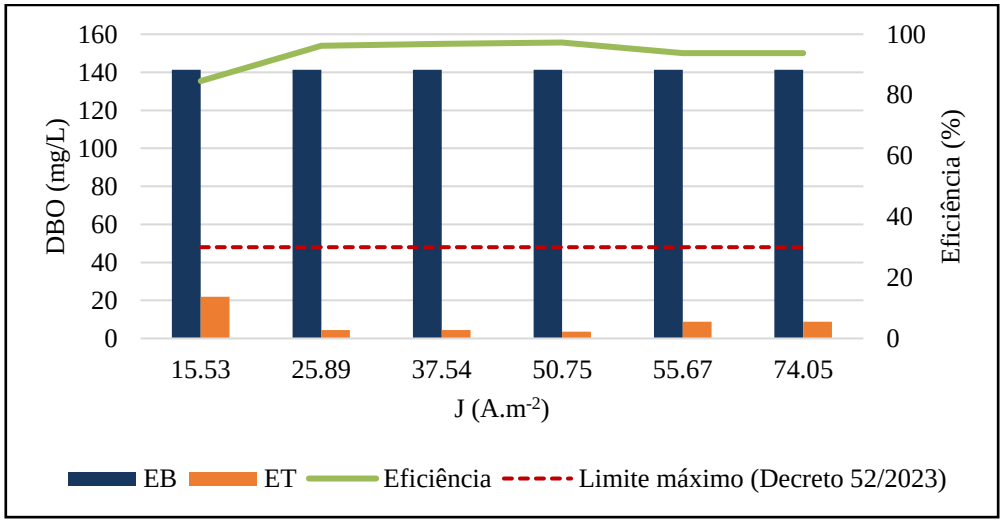


Figura 4: Eficiência de remoção de DBO

c) Remoção da Demanda Química de Oxigénio

A electrocoagulação actua por meio da coagulação e destabilização dos contaminantes, facilitando a agregação e posterior remoção das partículas orgânicas presentes no efluente, a elevada eficiência de remoção de demanda química de oxigénio que pode se observar na Figura 5 indica que grande parcela da DQO encontra se suspensa.

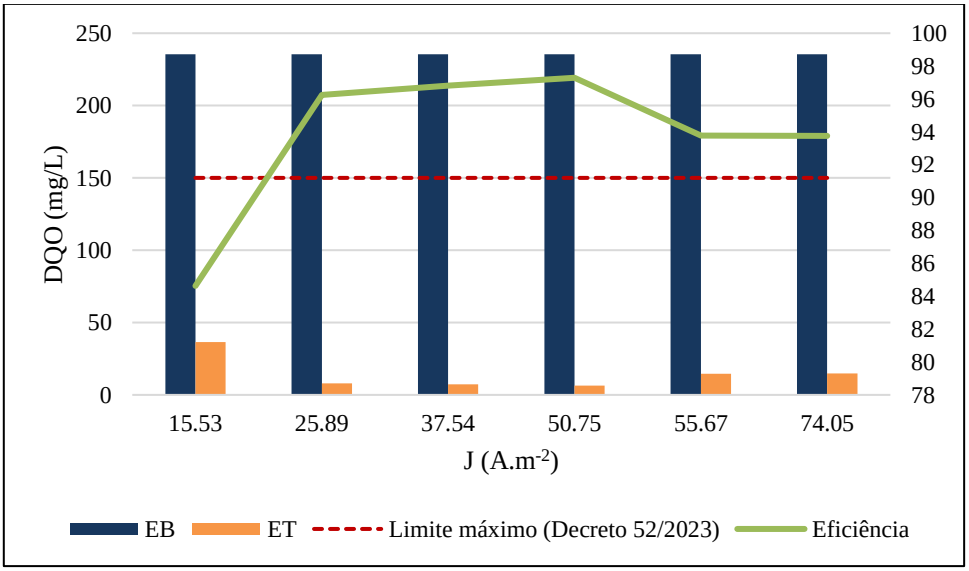


Figura 5: Eficiência de remoção de DQO

d) Remoção de Sólidos Totais Dissolvidos

Com base nos resultados obtidos e apresentados na Figura 6, verificou-se uma redução pouco significativa na concentração de sólidos totais dissolvidos. Segundo Santana (2018), esse comportamento ocorre porque a electrocoagulação actua de forma mais eficiente na remoção

de sólidos suspensos e coloidais. A redução observada está directamente relacionada ao aumento da densidade de corrente, que eleva a temperatura do sistema. Esse aumento térmico acelera a cinética dos iões, facilitando a colisão entre partículas de contaminantes e coagulantes, o que contribui para a maior eficiência na remoção dos sólidos totais dissolvidos (Brächer, 2018).

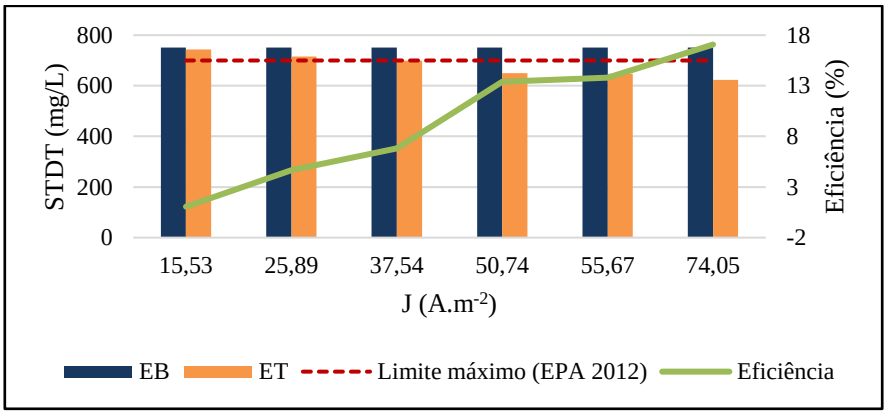


Figura 6: Remoção dos Sólidos Totais dissolvidos em função da densidade de corrente

e) Comportamento do pH

À medida que a densidade de corrente aumenta, observa-se uma elevação gradual do pH, conforme ilustrado na Figura 7. Esse comportamento é atribuído à natureza fortemente alcalina do hidróxido de alumínio, que actua como um agente coagulante.

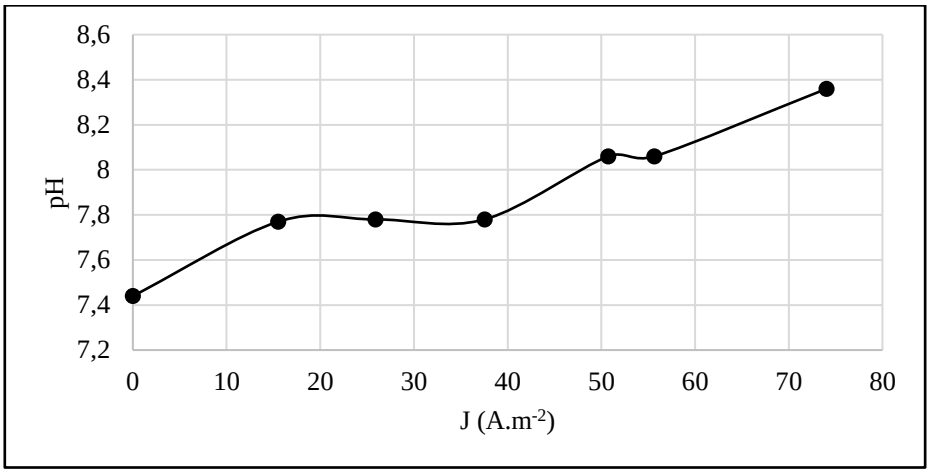


Figura 7: Comportamento do pH em função da densidade de corrente

f) Variação da Temperatura

A medição da temperatura indicou que o tratamento por electrocoagulação provoca um aumento na temperatura do efluente. De acordo com Bracher et al. (2018), esse aumento, observado na Figura 8, decorre da passagem de corrente eléctrica, que intensifica a energia cinética das moléculas e a mobilidade iónica. Esses fenómenos resultam na dissipação de energia sob a forma de calor (efeito Joule).

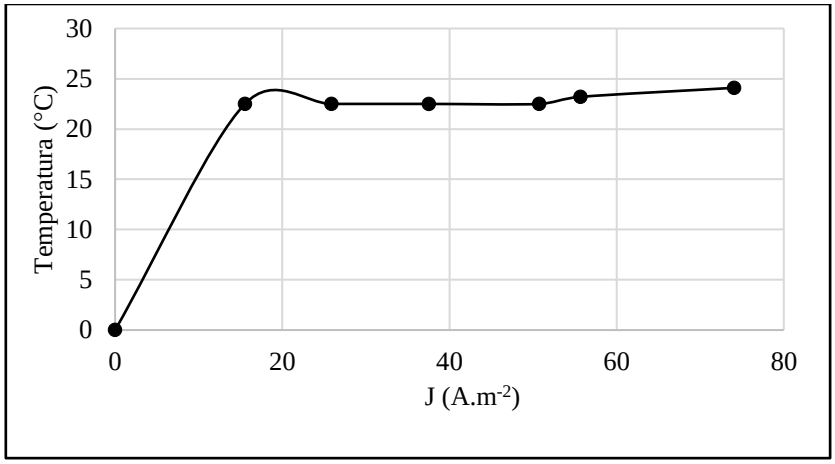


Figura 8: Variação da temperatura função da densidade de corrente

3.2.2 Determinação da densidade óptima

A determinação da densidade óptima é fundamental para a dosagem eficiente do coagulante, garantindo a máxima eficácia na remoção de impurezas e a redução de custos operacionais. O ponto óptimo foi determinado com base no ensaio que apresentou os melhores resultados de remoção. A Figura 9 apresenta os valores de turbidez obtidos para diferentes densidades de corrente. A equação quadrática indica que a relação entre turbidez e densidade de corrente não segue um padrão linear. Inicialmente, o aumento da densidade de corrente resulta na diminuição da turbidez até atingir um ponto de máxima eficiência. No entanto, após esse limite, a turbidez volta a aumentar devido ao excesso de coagulante, que provoca a reestabilização dos colóides.

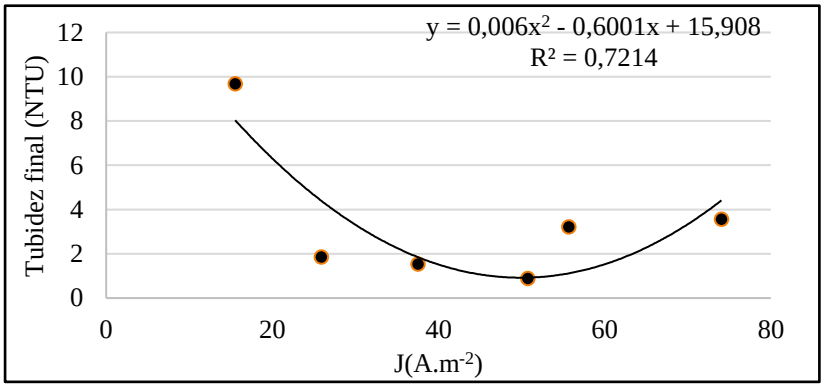


Figura 9: Variação da turbidez em função da densidade de corrente

3.2.3 Avaliação do custo operacional

A análise da Figura 10 demonstra que o custo operacional do processo de electrocoagulação é directamente influenciado pela densidade de corrente aplicada. À medida que a densidade de corrente aplicada aumenta o custo operacional também aumenta, uma vez que a tensão aplicada às placas está directamente relacionada ao consumo de energia eléctrica e ao desgaste dos eléctrodos. Para a condição óptima de operação (10 A, 1.96 V e 50.75 $A.m^{-2}$), o custo operacional foi de 17 Mt/m^3.

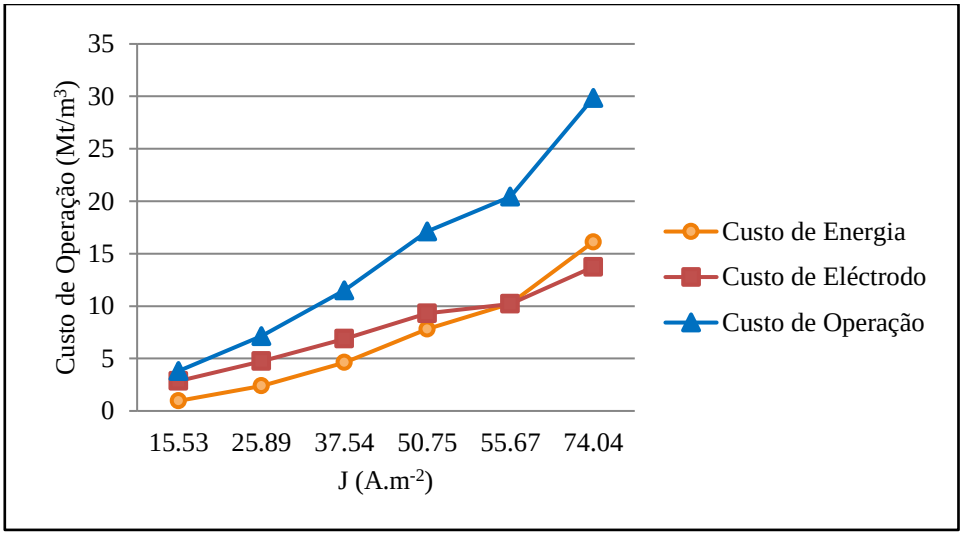


Figura 10: Avaliação do custo operacional do processo de electrocoagulação

4. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados, foi observado que em geral o efluente apresentou elevados teores de demanda química e bioquímica de oxigénio, turbidez e sólidos totais dissolvidos. A aplicação da electrocoagulação, utilizando eléctrodos de alumínio no tratamento de efluente deste efluente, mostrou-se altamente eficiente na remoção de poluentes, chegando a 98% na remoção da turbidez e 96% na remoção de DQO e DBO, esses valores evidenciam a capacidade do processo em promover a clarificação do efluente e a degradação de compostos orgânicos complexos, a remoção do sólidos totais dissolvidos foi baixa, porem foi possível enquadrar o efluente nos padrões de emissão.
A análise do custo operacional indicou que o processo de electrocoagulação apresenta um baixo custo operacional, podendo ser considerado como uma técnica alternativa e promissora a ser aplicada no tratamento de efluentes de efluentes de reciclagem de plástico**.**

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Mecânica (DEMA) e ao professor Condo pelo auxílio na construção do reactor, os autores agradecem também ao Centro de Electrónica e Instrumentação (CEI) por disponibilizar a fonte de corrente.

REFERÊNCIAS

Barbosa, I. M., Teran, F. J., & Gomes, A. C. (2009). Tratamento de efluente de indústria de reciclagem de plásticos por eletro-coagulação-flotação (ecf) .

Brächer, G. H. (2018). Análise do desempenho de um sistema de eletrocoagulação-flotação para o tratamento de esgoto doméstico visando reúso. Brasil.

Carvalho, E. H. (2018). Concepção e avaliação de reator vertical de eletrocoagulação/flotação na remoção de alquilbenzeno . GOIÂNIA.

CASALI, D. J. (2011). Tratamento do Efluente de uma Recicladora de Plástico utilizando coagulante não metálico e compostagem.

Economics, T. (Acedido em 10 de Maio de 2025). Disponível em <https:pt.tradingeconomics.com>comodity>aluminum>

EDM. (s.d.). (Acedido em 10 de Janeiro de 2025), Disponível em: https://pt.tradingeconomics.com>commodity>aluminum

EPA. (2012). Guidelines for Water reuse. Washington.

Filho, A. R. (2005). A importância de Oxigénio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos. Brasil.

Fleck, L., & Tavares, M. H. (2013). Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão. Brasília.

MARCONDES, J. G. (2012). Tratamento de Efluentes. Assis.

Menon, B. C., Lobo-Recio, M., & Nagel-Hassemer, M. E. (2020). Avaliação do processo de eletrocoagulação no tratamento de efluentes têxteis. Brasil

Nascimento, R. F., & Ribeiro, J. P. (2021). Processos Eletrolíticos Fundamentos e aplicações em matrizes ambientais. Brasil.

Parteca, S., Beckmann, M. V., & Onofre, S. B. (2007). Caracterização físico-química e microbiológica de efluentes gerados no processo de reciclagem de embalagens plásticas. Brasil.

Piovesan, M. (2017). Tratamento de efluentes industriais utilizando eletrofloculação com eletrodos de aluminio e ferro. Lages.

Pizutti, J. T. (2018). Pós-tratamento de efluente de reator UASB por eletrocoagulação e adsorção para reúso. Brasil.

Proazul. (2021). Economia Circular dos Plásticos em Moçambique: Desafios e Oportunidades.

Procópio, A. S. (2014). Avaliação da Eficiência do Sistema de Tratamento de Efluentes Tipo Muzimo Business em Canteiro de Obras em Sabara-MG. Belo Horizonte.

Rocha, É. J., Mota, S., de Sousa, S. T., & de Aquino, M. D. (2005). Caracterização das águas de lavagem de uma recicladora de plásticos e viabilidade do seu reúso. Brasil.

Rodrigues, B. M. (2008). Utilização da eletrofloculação para tratamento de água de produção. Brasil.

Rodrigues, E. G. (2013). Caracterização e tratamento do efluente de lavagem em empresa de reciclagem de plástico para fins de reúso. Paraiba.

Rodrigues, R. F. (2014). Processos Avançados de Eletroquímica para o Tratamento de Efluentes. Brasil.

Samir, A., Ajeel, M., & Alaba, P. (2018). Tratamento de águas residuais têxteis utilizando um novo projeto de reator de eletrocoagulação.

SILVA, A. A. (2009). Avaliação das técnicas de eletrocoagulação eletroflotação na recuperação de efluentesde lavagem de veículos. Brasil.

ARTIGO Nº23475

LICENÇA SOCIAL PARA OPERAR E GESTÃO DE CONFLITOS SOCIAIS – DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA MINEIRA EM MOÇAMBIQUE

Romualdo J. R. Brito[1(*)], David S. José[1]

[1]Instituto Superior Politécnico de Tete - Tete, Moçambique
[(*)] *Email:* rbrito@ispt.ac.mz

RESUMO

O objectivo deste trabalho é analisar a relação entre os impactos das actividades mineiras e a gestão dos conflitos sociais em comunidades anfitriãs à indústria mineira. Segundo Brito *et al* (2017), é difícil dissociar a engenharia de minas dos impactos ambientais, económicos e sociais que ela causa. É importante que as empresas mineiras estejam cientes que a *licença social para operar* em áreas onde actuam ou pretendam actuar é uma prioridade e deve fazer parte dos procedimentos do projecto durante todo o ciclo de vida da operação. Hoje em dia, o engenheiro deve ter noções de responsabilidade social, licença social para operar e sempre estabelecer uma boa harmonia com as comunidades locais onde o seu projecto está implantado. As comunidades locais enfrentam desafios sociais enormes nomeadamente, a falta de emprego, compensações não pagas, falta de escolas, falta de hospitais, poluição, reassentamentos mal implementados, fraco investimento social por parte das empresas, fraco desenvolvimento local entre outros. A presença duma empresa mineira traz esperanças para as comunidades, devendo a empresa de forma estratégica saber gerir essas espectativas de modo que o projecto não seja afectado por conflitos sociais que desta relação possa surgir. Da análise das práticas de responsabilidade social das empresas mineiras nota-se que algo é feito, porém há falta de uma integração efectiva de todas as partes interessadas rumo à uma efectiva *licença social para operar*.

***Palavras-chave**:* mineração, responsabilidade social empresarial, conflitos sociais, licença social para operar.

INTRODUÇÃO

A presença dum empreendimento mineiro de grande porte, traz expectactivas às comunidades locais e ao Estado, devendo em todas as fases do projecto estabelecer-se sempre um bom relacionamento com as comunidades locais. Este relacionamento cordial e a aceitação informal concedida pela comunidade é conhecida por licença social para operar (LSO) (Thomson & Boutilier, 2011). Essa aceitação é conquistada por meio de um relacionamento transparente, equitativo e de longo prazo entre a empresa mineira e as comunidades locais. A Licença social para operar, que por si, é um contrato informal, só é possível ser obtida e mantida se as empresas pautarem por uma comunicação activa com as comunidades locais e promoverem de forma eficaz os seus programas de desenvolvimento comunitário nas áreas de influência dos seus projectos (Besharati, 2012).

Segundo McMahom & Remy (2003), numa situação ideal, as comunidades locais próximas ao projecto, o governo central e a empresa mineira mantêm um diálogo permanente. Entretanto, na prática, a negociação apenas acontece entre a empresa e o governo, o que gera os conflitos sociais, visto que as comunidades sentem-se discriminadas e sem voz. De acordo com Miranda

et al. (2003), as comunidades próximas aos empreendimentos mineiros esperam serem ouvidas e que as suas condições de vida sejam melhoradas como forma de compensação pelos impactos gerados por esses projectos. A presença dum projecto mineiro traz expectativas às comunidades anfitriãs e é necessário que haja instituições credíveis e fortes para gerir os conflitos sociais, de modo que estes não atinjam contornos incontroláveis.

O Estado apresenta limitações para assegurar de forma equitativa e efectiva a distribuição dos recursos gerados pela mineração bem como garantir a mitigação e protecção das comunidades locais face aos impactos e riscos sociais dessa actividade. Hoje em dia, as organizações de sociedade civil e as comunidades locais são mais proactivas face aos desafios da actividade mineira e disso resulta a necessidade das empresas mineiras estarem abertas a adopção de medidas efectivas de engajamento das comunidades nos seus projectos.

Os projectos mineiros, pela sua natureza, estão localizados em áreas remotas e próximas a comunidades rurais em situação de extrema pobreza e por isso, as empresas para além de buscarem lucros, pagarem as taxas, impostos e gerarem empregos devem incluir nos seus programas, os investimentos sociais estratégicos que impulsionem o desenvolvimento sócio-económico local e deste modo, deixarem um legado para estas populações (Campbell, 2012).

Com base na revisão de literatura, busca-se neste ensaio, avaliar o conceito de licença social para operar e contextualizar duas estratégias de resolução de conflitos sociais que podem ser adoptados no relacionamento entre as partes interessadas no sector mineiro. No caso de Moçambique, dada a relevância da indústria extractiva no cenário econômico-social, o debate sobre a LSO e a gestão de conflitos sociais é pertinente e actual.

LICENÇA SOCIAL PARA OPERAR (LSO) – CONCEITO E APLICAÇÃO

O termo licença social para operar emergiu no contexto da indústria mineira nos anos 90, e reflecte a aceitação social dos empreendimentos mineiros pelas comunidades onde estes projectos são implantados (Prno & Slocombe, 2012). Esta aceitação informal só é possível quando a boa vontade e a confiança são estabelecidas entre as empresas e as comunidades. A LSO existe quando há uma aceitação e aprovação dos projectos pela sociedade como um todo.

No caso dos projectos mineiros, a LSO joga um papel primordial no sucesso dos mesmos. Quando esta licença social não é alcançada, vários constrangimentos podem surgir como, por exemplo, greves, bloqueios, protestos sociais, campanhas anti-mineração nos mídia e redes sociais.

A LSO pode ser vista como um conjunto de direitos, regras e procedimentos de tomada de decisão entre as empresas mineiras e as comunidades locais (Prno & Slocombe, 2012). As expectativas das empresas e das comunidades locais são negociadas, por forma que haja respeito, confiança e boa vontade entre as partes interessadas. A LSO é um processo dinâmico que segue um contexto temporal onde a negociação formal e informal jogam um papel particular. De acordo com Nelsen (2006), a LSO cria um fórum para negociações onde as partes envolvidas são ouvidas, compreendidas e respeitadas. Estas negociações podem ser do tipo formal, onde há acordos cara-a-cara ou do tipo informal, onde as empresas incorporam as expectativas da comunidade de forma implícita na cultura organizacional da empresa.

O conceito de LSO surgiu no contexto da indústria mineira, mas vem ganhando espaço em outras áreas temáticas como engenharia civil, eléctrica e de florestas, onde o desafio de responder às demandas sociais, além dos habituais desafios tecnológicos e de gestão. Para

Thomson & Boutilier (2011), a LSO baseia-se no relacionamento entre os stakeholders ou partes interessadas num clima de colaboração e engajamento de todos. A LSO é um processo de negociação contínua e complemento às licenças regulatórias, que se consegue e se mantém através da participação das partes interessadas.

Segundo Thomson & Boutilier (2011), para que se alcance uma licença social para operar efectiva é necessário que, a participação do público, a capacitação local para a tomada de decisão e a oportunidade de aprendizagens sociais na comunidade, sejam tomadas em consideração. Outros factores chave identificados são: a compreensão da cultura local, língua e história; manutenção da reputação corporativa positiva; a necessidade de educar os actores locais sobre o projecto e a garantia duma comunicação activa entre as partes interessadas.

MAPEAMENTO DAS PARTES INTERESSADAS

Por muitos anos, acadêmicos e gestores consideraram os accionistas como as partes interessadas (ou *stakeholders*) mais importantes em relação ao desempenho da empresa. No entanto, novas perspectivas académicas e pressões de outros indivíduos ou grupos estão a trazer mudanças no relacionamento entre negócios e sociedade. No ambiente competitivo de hoje, há muitos indivíduos e grupos que podem ser considerados *stakeholders*.

Freeman (1984 citado em Bazanini et al., 2020) define *stakeholders* como "Qualquer grupo ou indivíduo que pode afectar ou é afectado pela realização dos objectivos de uma empresa" (p. 46). O termo "realização dos objectivos de uma empresa" pode implicar acções, decisões, políticas, práticas ou metas tomadas pela organização envolvida. No sector de mineração, a comunidade local é vista como a principal parte interessada, por causa do relacionamento próximo, por meio de impactos e benefícios. Vale ressaltar que a mitigação dos impactos sócio-ambientais e a coexistência pacífica entre as partes interessadas são os pilares importantes para o desenvolvimento económico local e garantia das operações mineiras nas áreas anfitriãs.

CONFLITOS E DIAGNÓSTICO DE CONFLITOS

A presença duma empresa mineira traz esperanças e expectativas para as comunidades, devendo a empresa mineira, de forma estratégica, saber gerir essas espectativas de modo que o projecto não seja afectado por conflitos sociais que desta relação possa surgir. As comunidades locais enfrentam desafios sociais enormes nomeadamente, a falta de emprego, compensações não pagas, falta de escolas, falta de hospitais, poluição, reassentamentos mal implementados, fraco investimento social por parte das empresas, fraco desenvolvimento local entre outros. A empresa mineira quando chega a uma determinada região para implantar um projecto, faz promessas, cria expectativas às comunidades locais e muitas vezes não as satisfaz, isso acaba gerando conflitos sociais.

Na província de Tete e em particular em Moatize, os principais conflitos sociais associados à mineração estão ligados a usurpação de terras, compensações injustas e poluição, conforme Eusébio (2022) enfatiza que:

> Há prevalência de dois tipos de conflitos interligados: (i) os conflitos provocados pelo deslocamento compulsório e as suas consequências; e (ii) os conflitos provocados pela poluição acarretada pelo sistema de dinamitação a céu aberto, vivenciada no cotidiano pelas chuvas de poeira (p. 35).

O conflito no sector mineiro surge quando as partes envolvidas não alcançam consensos sobre as expectativas, promessas e acabam tendo pontos de vista divergentes sobre diversos assuntos

que os afectam. O conflito surge quando uma das partes entende que a outra parte afecta ou pode afectar, negativamente, alguma coisa que a primeira considera importante. (Robbins, 2005).

As partes interessadas devem estabelecem mecanismos de interacção constante e periódico, pois caso isso não aconteça, a empresa pode perder a licença social para operar, que é um acordo informal entre as comunidades locais e a empresa e, em muitos casos, esta perda acaba em conflitos sociais enormes que culminam, muitas vezes, em actos de violência. Os conflitos sociais alcançam níveis de violência e intolerância entre as partes por falta de dados ou informação, falta de respeito pelos valores ou crenças, fraco relacionamento e engajamento entre as partes, interesses divergentes e finalmente as questões estruturais que envolvem o papel de cada uma das partes interessadas (Nações Unidas, 2001, p.9).

Assim sendo, as empresas mineiras, o Estado e as comunidades locais devem estabelecer mecanismos de contacto, entendimento e diálogo inclusivo e aberto entre as partes.

ESTRATÉGIAS DE INTERVENÇÃO EM CASOS DE CONFLITOS SOCIAIS NO SECTOR MINEIRO

No presente ensaio, sintetiza-se duas estratégias de intervenção na resolução de conflitos sociais no contexto da ligação Estado-comunidades locais-empresas mineiras, nomeadamente a negociação e a mediação. Vargas (2007) aponta que a escolha duma estratégia de resolução de conflitos, depende da habilidade, o nível de confiança entre os intervenientes, a capacidade em compreender os pontos de vista de cada parte e das características do conflito em causa.

Com o intuito de obter uma licença social para operar, um bom entendimento e relacionamento entre as partes interessadas na gestão de recursos naturais é recomendável que as empresas mineiras, o Estado e as comunidades locais tenham a capacidade de identificar os pontos comuns de percepção nas suas relações.

NEGOCIAÇÃO

A negociação é um exercício competitivo e cooperativo, caracterizado por cedências mútuas visando o alcance de um acordo. No uso desta estratégia, as Nações Unidas (2001) preconizam que a vitória total num conflito é praticamente impossível pois é preciso reconhecer a realidade de força entre as partes em conflito, a interdependência entre as partes, a importância de limitar danos e as questões éticas.

De acordo com as Nações Unidas (2001) e Miranda et al. (2003), os passos para o estabelecimento de negociações produtivas são: (i) identificação do problema: as partes interessadas devem entender as preocupações da comunidades por um lado e os interesses da empresa por outro lado; (ii) engajamento das partes: reunir os representantes da empresa mineira, líderes comunitários e autoridades locais; (iii) troca de informação: deve haver fluxo de informação sobre os impactos económicos, ambientais e sociais; (iv) propostas e concessões: as partes interessadas devem estar dispostas a fazer concessões com o intuito de se chegar a um acordo aceitável e viável; (v) acordo e monitoria: deve-se formalizar um acordo e estabelecer mecanismos de fiscalização do mesmo.

As comunidades locais e as empresas mineiras podem realizar sessões de *brainstorming* e investigação ampla das possibilidades, para que depois o processo de avaliação e decisão, com a troca efectiva de propostas, seja iniciado. Portanto, o processo negocial entre as partes deve

pautar por boa vontade, ética, transparência e o espírito de *win-win,* visto que a coexistência entre as partes é inevitável.

MEDIAÇÃO

A mediação é um processo de diálogo visando o alcance de um acordo sobre uma dada disputa mas que conta com a intervenção de uma terceira parte que, ajuda as partes em conflito a ultrapassar as suas diferenças através do diálogo. O mediador não é parte do problema, é sim parte da solução. É importante optar pela escolha de mediadores externos e neutros que possam intervir para ajudar as partes a conversar construtivamente. O papel dos mediadores não é resolverem o conflito mas proporcionar um clima razoável para a comunicação activa, o diálogo e a procura de um acordo pelas partes (Nações Unidas, 2001). Este processo requer que as partes estabeleçam um clima de confiança, devendo o mediador ser imparcial e transparente. De acordo com Miranda et al. (2003), para que a mediação de conflitos sociais seja eficaz é necessário que se tome em consideração os seguintes passos: (i) identificação e escolha um mediador neutro: pode ser uma entidade governamental, um especialista independente ou uma organização da sociedade civil; (ii) criação de um ambiente seguro para o diálogo: deve haver um espaço onde as partes interessadas possam dialogar sem medo de represálias; (iii) escuta activa e identificação de interesses: o mediador deve ajudar a direccionar o diálogo e esclarecer os pontos centrais do conflito; (iv) formulação de alternativas: o mediador facilita a criação de soluções viáveis para as partes em conflito; (v) construção dum acordo sustentável: o compromisso alcançado deve ser documentado e incluir mecanismos de fiscalização.

As percepções e valores culturais das comunidades locais devem ser respeitados, devendo o Estado, comunidades locais e as empresas mineiras pautarem por um mecanismo de dialógo constante e construtivo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os conflitos sociais entre as comunidades locais e as empresas mineiras tendem a ser uma constante no dia a dia no sector mineiro, daí que surge a necessidade de haver uma maior atenção a estes desafios, que uma das soluções passa por empoderar as comunidades locais através de programas de responsabilidade social empresarial e de desenvolvimento comunitário.

A licença social para operar é um processo contínuo de diálogo aberto e bom relacionamento entre as empresas mineiras e as comunidades, desde o início do projecto e durante todo o ciclo de vida da mina. A comunidade local deve ser mantida informada e envolvida no processo de tomada de decisão. É importante que a escolha de uma das estratégias de resolução de conflitos seja de acordo com cada caso, identificando as causas dos conflitos e os principais actores envolvidos.

A negociação e a mediação podem ser adoptadas na obtenção da licença social para operar e no relacionamento entre as comunidades e as empresas mineiras, rumo a uma coexistência pacífica entre as partes interessadas. Esta coexistência pacífica neste sector, fundamenta-se num constante diálogo aberto, onde as duas estratégias aqui contextualizadas, podem ser usadas juntas: se uma negociação falha por falta de entendimento, a mediação pode ajudar a reestabelecer o diálogo. Face aos desafios actuais do sector mineiro, é recomendável que as universidades e institutos superiores, ministrem tópicos sobre sustentabilidade social nos cursos de engenharia, de modo a garantir que os seus graduados tenham capacidade de estabelecer um bom relacionamento com as comunidades locais durante o ciclo de vida dos projectos..

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pelo Instituto Superior Politécnico de Tete (ISPT) e o Centro Regional de Excelência em Estudos de Engenharia e Tecnologia de Petróleo e Gás (CSOGET) da Universidade Eduardo Mondlane.

REFERÊNCIAS

Bazanini, R., Adra, R., Rubeo, R., Lanix, T. & Barbosa, C, A Teoria dos Stakeholders nas diferentes perspectivas: Controvérsias, Conveniências e Críticas. Revista Pensamento & Realidade. Vol.35(2). pp. 43-58, 2020.

Besharati, N., Raising Mozambique: development through coal. Johannesburg: SAIIA -South African Institute of International Affairs. Policy Brief 56, 2012.

Brito, R. J. R., Mutemeri, N., Pires, P. F. P., & José, D. S., Licença social para operar e responsabilidade social empresarial: desafios para a indústria mineira em moçambique. In Proceedings CLME 2017/V CEM/ 8º CLME Maputo (pp. 4-8), 2017.

Campbell, B., Corporate Social Responsibility and development in Africa: Redefining the roles and responsibilities of public and private actors in the mining sector. Resources Policy, 37(2), pp.138–143, 2012.

Eusébio, A. J., Empresas, comunidades e conflitos: grandes projetos de mineração e conflitos ambientais em Moçambique. Revista Novos Cadernos NAEA. 25(3), pp. 35-53, 2022.

McMahon, G.& Remy, F., Principales observaciones y recomendaciones: una síntesis de los estudios de caso. Grandes minas y la comunidad, p. 1-38, 2003.

Miranda, M., Burris, P., Bingcang, J., Shearman, P., Briones, J., Mining and Critical Ecosystems: Mapping the Risks. WRI, Washington, DC, 2003.

Nações Unidas, Manual de Conflitos desenvolvido pelas Nações Unidas, 2003.

Nelsen, J., Social licence to operate. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 20(3), pp. 161-162, 2006.

Prno, J. and Slocombe, D., Exploring the origins of 'social license to operate' in the mining sector: Perspectives from governance and sustainability theories, Resources Policy, 37(3), p. 346-357, 2012.

Robbins, S.P., Comportamento Organizacional (11ª ed.). Pearson Prentice Hall, São Paulo, 2005.

Thomson, I. & Boutilier, R., SME Manual de Ingeniería Minera, capítulo 17.2, pp. 1779-1796, Sociedad de Minería, Metalurgia y Exploración, Littleton, Colorado, EEUU, 2011.

Vargas, G. M., Conflitos Sociais e Sócio-Ambientais: Proposta de um Marco Teórico e Metodológico. Revista Sociedade & Natureza, 19(2), 191-203, 2007.

ARTIGO Nº23517

ESTIMATIVA DE VAZÕES EM LOCAIS SEM DADOS NA BACIA DO PÚNGUÈ EM MOÇAMBIQUE USANDO MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO

Maibeque Francisco João[1(*)], Ubaldo Ginova Ombe Gemusse[2]
[(*)] *E-mail*: maibequefrancisco@gmail.com; ugemusse@gmail.com

RESUMO

A pesquisa aplicou os métodos de Interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW) e Polígonos de Voronoi para estimar vazões em locais sem dados na bacia do Púnguè, Moçambique. O IDW utilizou ponderação baseada na distância para interpolar valores, priorizando influências próximas, enquanto os Polígonos de Voronoi delimitaram áreas de influência exclusiva em torno de cada ponto de amostragem. A comparação com dados observacionais demonstrou a eficácia dessas técnicas, sendo o IDW mais adequado para estimativas contínuas e os Polígonos de Voronoi para regionalização e definição de domínios de influência. A combinação desses métodos com outras abordagens, como regressão e machine learning, reforçou a precisão das estimativas, destacando sua utilidade em bacias com escassez de dados.

Palavras-chave: Estimativa de vazões, IDW, Polígonos de Voronoi, interpolação geoestatística.

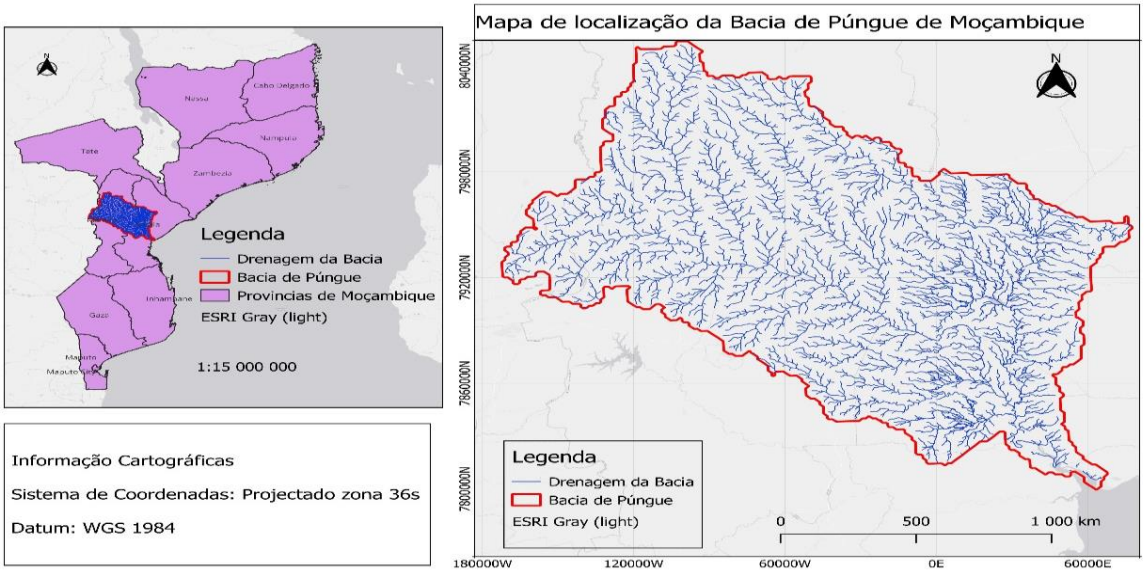
1. INTRODUÇÃO

A bacia do Púnguê, localizada em Moçambique, desempenha um papel crítico no abastecimento de água, agricultura e desenvolvimento socioeconômico da região. No entanto, a escassez de dados hidrológicos em áreas não monitoradas dificulta a gestão eficiente dos recursos hídricos. O estudo visa estimar vazões em locais sem dados na bacia do Púnguè, Moçambique, utilizando métodos de regionalização, essenciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A pesquisa busca suprir a carência de informações hidrológicas, fundamentais para o planeamento de infraestruturas, mitigação de eventos extremos (como cheias e secas) e o desenvolvimento socioeconômico da região. Aplicando técnicas de regionalização com base em estações hidrométricas existentes, o trabalho desenvolve modelos que integram características geográficas, climáticas e hidrológicas para estimar vazões com precisão em áreas não monitoradas. Além de apoiar decisões práticas—como projetos de barragens e irrigação—a metodologia contribui para o avanço da hidrologia regional, melhorando a previsão de eventos críticos e promovendo o manejo sustentável da bacia do Púnguè, estratégica para Moçambique.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A bacia do Púnguê abrange aproximadamente 31.000 km², com características topográficas variadas e um clima tropical húmido. A região inclui áreas urbanas, agrícolas e florestais, influenciando diretamente os padrões hidrológicos.



2.2. Dados Utilizados

- **Dados de vazão:** Coletados pela ARA-Centro (2013 – 2023), incluindo medições diárias e mensais.
- **Dados topográficos:** Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30 m.
- **Uso do solo:** Classificação supervisionada de imagens Landsat 8.
- **Vulnerabilidade a inundações:** Mapas gerados por análise multicritério no QGIS.

2.3. Métodos de Regionalização

- **IDW:** Interpolação baseada na proximidade dos pontos de medição.
- **Polígonos de Voronoi:** Definição de áreas de influência para estações hidrométricas.

Os métodos foram implementados no QGIS, com validação cruzada para garantir a precisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Morfométricas

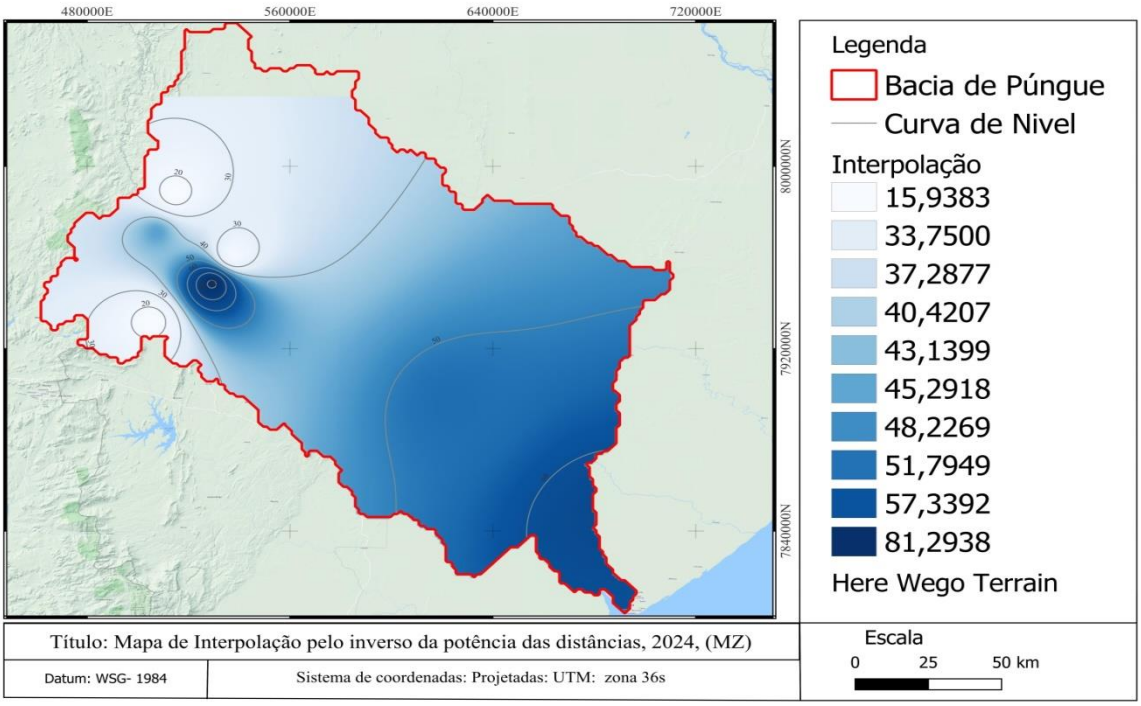
A análise morfométrica da bacia do Púnguè revela uma **topografia variada** e um sistema fluvial extenso, o que influencia o escoamento e o risco de inundações, sendo factores importantes para a gestão dos recursos hídricos.

A análise também revelou uma bacia alongada (coeficiente de compacidade = 1,65), com declividade média de 416,95 m e densidade de drenagem de 0,18 km/km². Esses fatores influenciam diretamente o escoamento e a susceptibilidade a inundações.

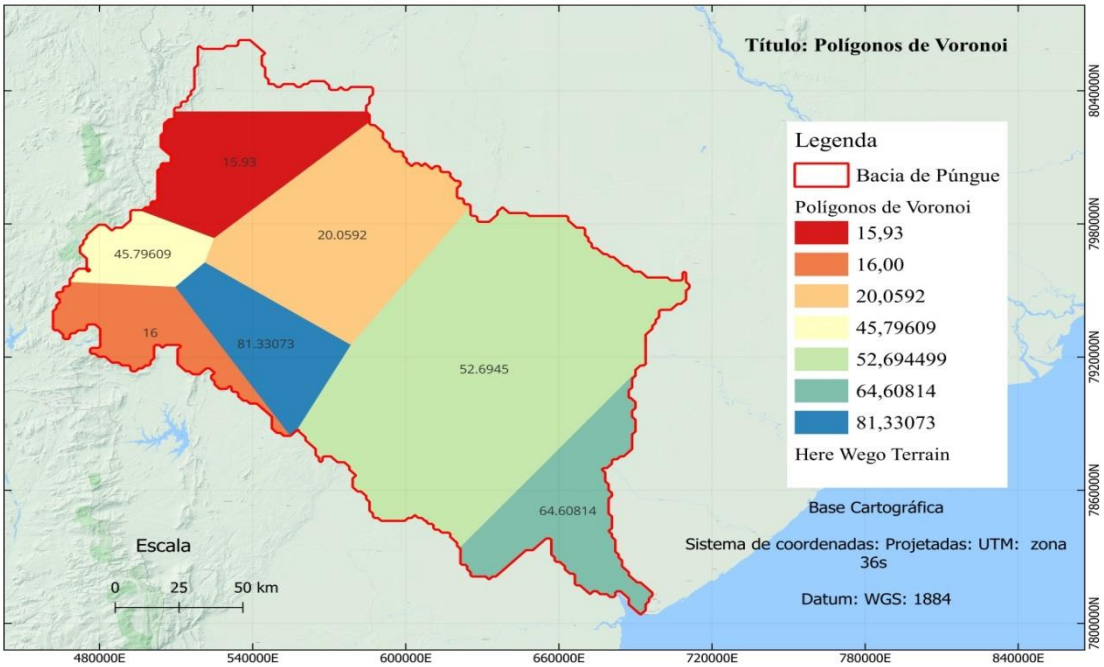
Label	Bacia do Púngue
AREA	2961047473
PERIMETER	308915.7837
Area_km2_1	31179.6254
Perimet_Km	1043.58
Alt_mean	416.95206
Alt_min	-29
Alt_max	2581
Alt_range	2610
L1_eixo_km	333.934
L_RP_km	361.5667
CT_LOT_KM	5683
N_TOTAL	10937.3
KC_I.gravi	1.6548
Kf	0.2796
Ic	0.3599
Re	0.5965
De	0.1823
Rr	0.0078
Ir	0.4758
Dh	0.3508
Lm	1.3716
Is	1.0827
T	10.4806

3.2. Estimativas de Vazão

- O método IDW produziu estimativas consistentes, com vazões variando entre 15,93 m³/s e 267,2 m³/s.

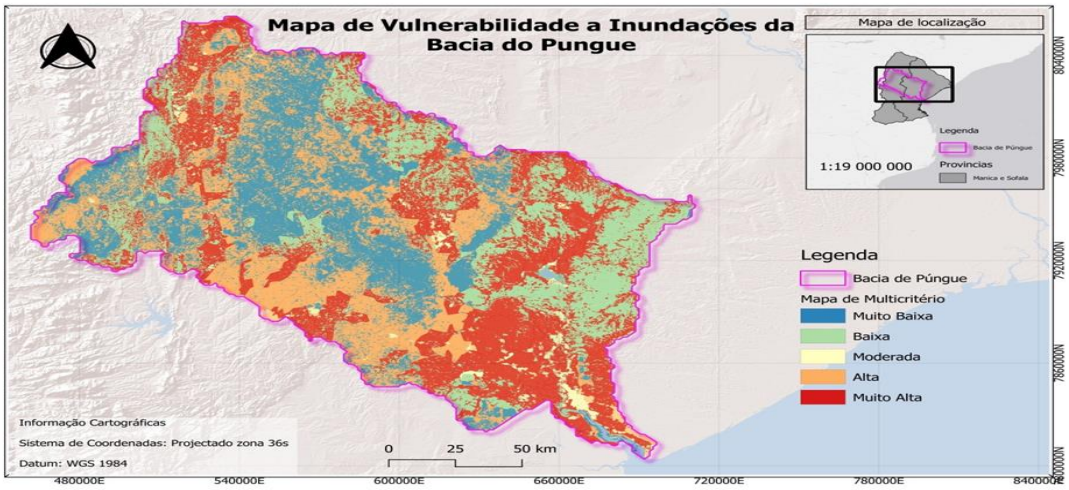


- Os polígonos de Voronoi permitiram a regionalização eficiente, destacando áreas críticas com maior variabilidade hidrológica.



3.3. Vulnerabilidade a Inundações

As áreas classificadas como "muito alta vulnerabilidade" (5% da bacia) coincidem com regiões de baixa altitude e solo impermeável, reforçando a necessidade de medidas de mitigação.



3.4. Análise dos Valores de Caudais Estimados na Bacia do Púnguè em 2024

O mapa apresenta os resultados das estimativas de vazão para locais não monitorados na Bacia do Púnguè em 2024, utilizando técnicas de interpolação. Os pontos roxos representam as novas estimativas, revelando:

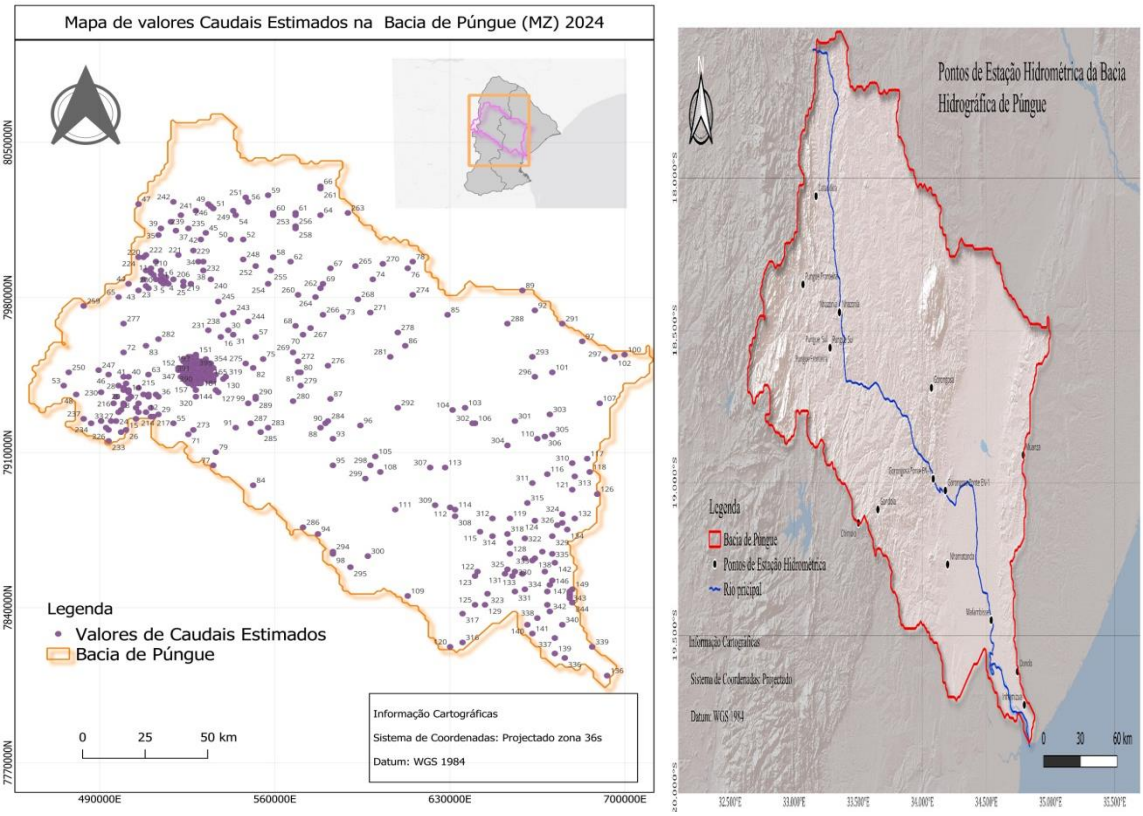
1. Variação espacial dos caudais em toda a bacia
2. Maior concentração de pontos na região sudoeste, indicando:
    - ✓ Maior complexidade hidrológica
    - ✓ Relevância socioeconômica da área
    - ✓ Necessidade de monitoramento intensivo

Estas estimativas preenchem lacunas cruciais para:

- ✓ Compreensão do comportamento hidrológico
- ✓ Planeamento de recursos hídricos
- ✓ Gestão sustentável

- ✓ Prevenção de eventos extremos (cheias e secas)

O método se mostra particularmente valioso em regiões com rede hidrométrica limitada, mas com alta demanda por dados precisos de vazão.



4. CONCLUSÕES

A aplicação dos métodos de Interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW) e Polígonos de Voronoi na bacia do Púnguè revelou resultados significativos para a estimativa de vazões em locais não monitorados. O IDW demonstrou excelente desempenho em áreas com razoável densidade de estações hidrométricas, produzindo estimativas contínuas que refletem adequadamente a variação espacial das vazões. Seu principal ponto forte reside na capacidade de ponderar a influência das estações vizinhas de forma proporcional à distância, gerando superfícies hidrológicas mais realistas.

Por outro lado, os Polígonos de Voronoi apresentaram-se como solução robusta para áreas com dados extremamente escassos, onde cada polígono representa claramente a zona de influência de uma estação específica. Este método mostrou-se particularmente útil em trechos da bacia com características hidrológicas bem definidas e distintas, permitindo uma regionalização mais precisa nestes casos.

Ambos os métodos, contudo, revelaram limitações importantes:

1. O IDW tende a subestimar picos locais de vazão devido ao efeito de suavização inerente ao método

2. Os Polígonos de Voronoi não consideram adequadamente as transições graduais entre diferentes regimes hidrológicos

3. A performance de ambos é fortemente dependente da distribuição espacial das estações de monitoramento

A pesquisa sugere que a combinação estratégica destes métodos - utilizando Voronoi em áreas com dados muito escassos e IDW em regiões melhor monitoradas - pode potencializar os resultados. Recomenda-se ainda a integração com dados auxiliares (como características morfométricas da bacia) para corrigir as principais limitações identificadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ARA-Centro pelo fornecimento de dados e aos orientadores pelo apoio técnico. Este trabalho foi financiado pelo Instituto de Bolsas de Estudo (IBE) de Moçambique.

REFERÊNCIAS

- Arnold, J. G. et al. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment. *Journal of the American Water Resources Association*, *34*(1), 73-89.
- Beven, K. J. (2012). *Rainfall-runoff modelling: The primer*. Wiley-Blackwell.
- Blöschl, G., & Sivapalan, M. (1995). Scale issues in hydrological modelling. *Hydrological Processes, 9*(3-4), 251-290.
- Collischonn, W., & Tucci, C. E. (2008). *Sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica*. Oficina de Textos.
- Gupta, H. V. et al. (2015). Model Calibration and Uncertainty Estimation. In *Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards*. Cambridge University Press.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology, 10*(3), 282-290.
- Sorooshian, S., & Gupta, V. K. (1995). Model calibration. In *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill.
- Wagener, T., & Gupta, H. V. (2005). Model identification for hydrological forecasting. *Journal of Hydrology, 316*(1-4), 142-159.

ARTIGO Nº23517

ESTIMATIVA DE VAZÕES EM LOCAIS SEM DADOS NA BACIA DO PÚNGUÈ EM MOÇAMBIQUE USANDO MÉTODOS DE REGIONALIZAÇÃO

Maibeque Francisco João[1(*)], Ubaldo Ginova Ombe Gemusse[2]
(*) *E-mail*: maibequefrancisco@gmail.com; ugemusse@gmail.com

RESUMO

A pesquisa aplicou os métodos de Interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW) e Polígonos de Voronoi para estimar vazões em locais sem dados na bacia do Púnguè, Moçambique. O IDW utilizou ponderação baseada na distância para interpolar valores, priorizando influências próximas, enquanto os Polígonos de Voronoi delimitaram áreas de influência exclusiva em torno de cada ponto de amostragem. A comparação com dados observacionais demonstrou a eficácia dessas técnicas, sendo o IDW mais adequado para estimativas contínuas e os Polígonos de Voronoi para regionalização e definição de domínios de influência. A combinação desses métodos com outras abordagens, como regressão e machine learning, reforçou a precisão das estimativas, destacando sua utilidade em bacias com escassez de dados.

Palavras-chave: Estimativa de vazões, IDW, Polígonos de Voronoi, interpolação geoestatística.

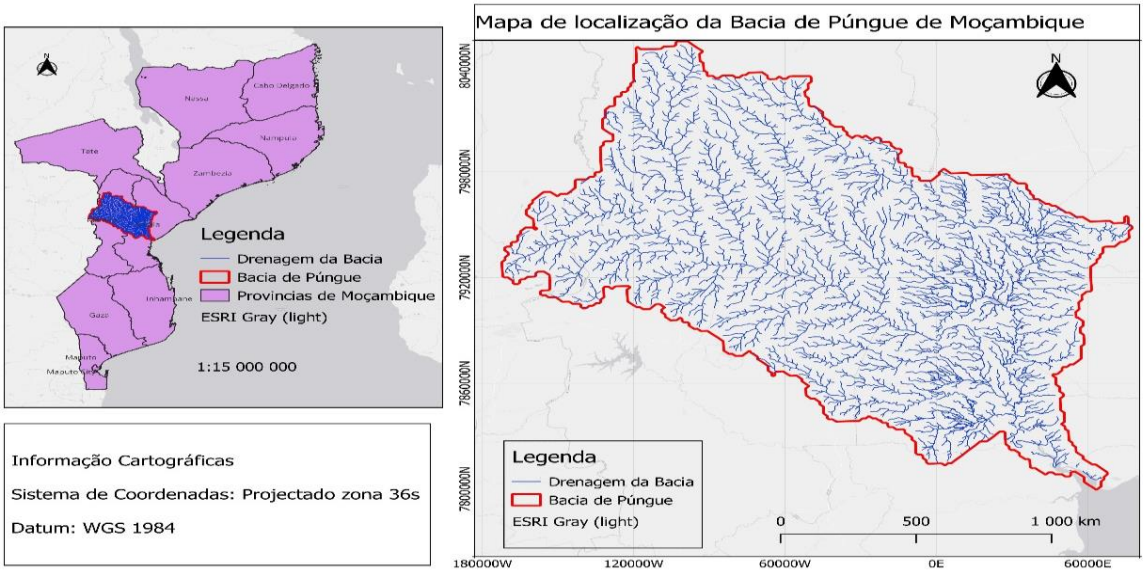
1. INTRODUÇÃO

A bacia do Púnguê, localizada em Moçambique, desempenha um papel crítico no abastecimento de água, agricultura e desenvolvimento socioeconômico da região. No entanto, a escassez de dados hidrológicos em áreas não monitoradas dificulta a gestão eficiente dos recursos hídricos. O estudo visa estimar vazões em locais sem dados na bacia do Púnguè, Moçambique, utilizando métodos de regionalização, essenciais para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A pesquisa busca suprir a carência de informações hidrológicas, fundamentais para o planeamento de infraestruturas, mitigação de eventos extremos (como cheias e secas) e o desenvolvimento socioeconômico da região. Aplicando técnicas de regionalização com base em estações hidrométricas existentes, o trabalho desenvolve modelos que integram características geográficas, climáticas e hidrológicas para estimar vazões com precisão em áreas não monitoradas. Além de apoiar decisões práticas—como projetos de barragens e irrigação—a metodologia contribui para o avanço da hidrologia regional, melhorando a previsão de eventos críticos e promovendo o manejo sustentável da bacia do Púnguè, estratégica para Moçambique.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

A bacia do Púnguê abrange aproximadamente 31.000 km², com características topográficas variadas e um clima tropical húmido. A região inclui áreas urbanas, agrícolas e florestais, influenciando diretamente os padrões hidrológicos.



2.2. Dados Utilizados

- **Dados de vazão:** Coletados pela ARA-Centro (2013 – 2023), incluindo medições diárias e mensais.
- **Dados topográficos:** Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 30 m.
- **Uso do solo:** Classificação supervisionada de imagens Landsat 8.
- **Vulnerabilidade a inundações:** Mapas gerados por análise multicritério no QGIS.

2.3. Métodos de Regionalização

- **IDW:** Interpolação baseada na proximidade dos pontos de medição.
- **Polígonos de Voronoi:** Definição de áreas de influência para estações hidrométricas.

Os métodos foram implementados no QGIS, com validação cruzada para garantir a precisão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características Morfométricas

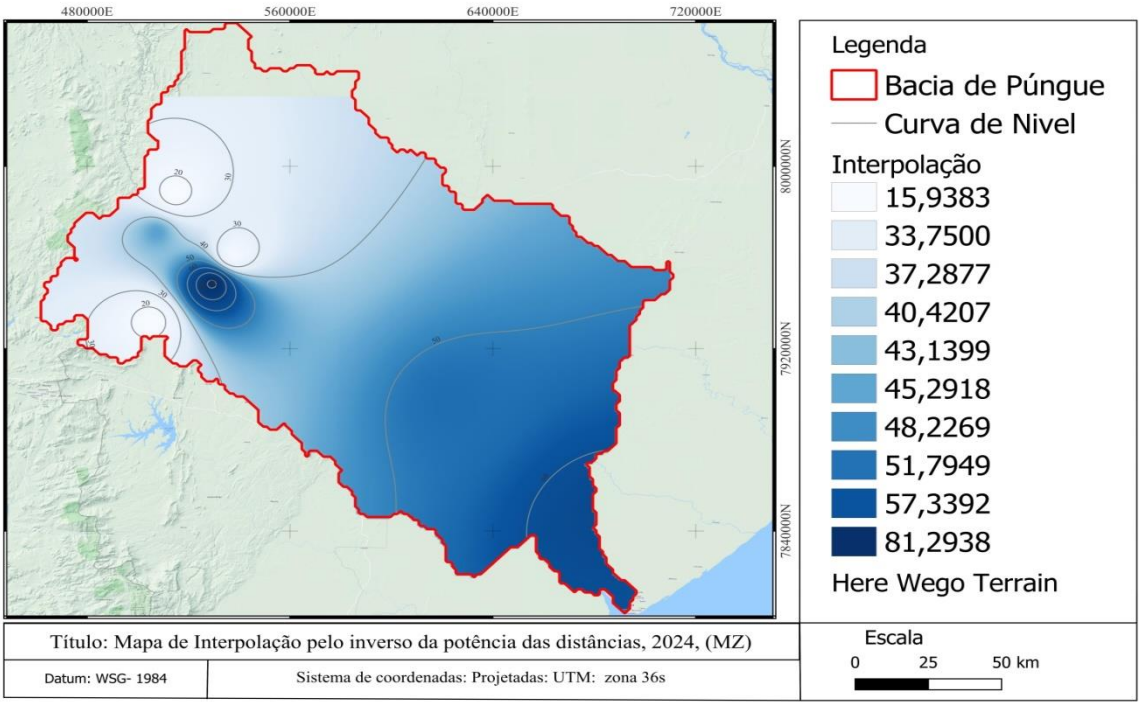
A análise morfométrica da bacia do Púnguè revela uma **topografia variada** e um sistema fluvial extenso, o que influencia o escoamento e o risco de inundações, sendo factores importantes para a gestão dos recursos hídricos.

A análise também revelou uma bacia alongada (coeficiente de compacidade = 1,65), com declividade média de 416,95 m e densidade de drenagem de 0,18 km/km². Esses fatores influenciam diretamente o escoamento e a susceptibilidade a inundações.

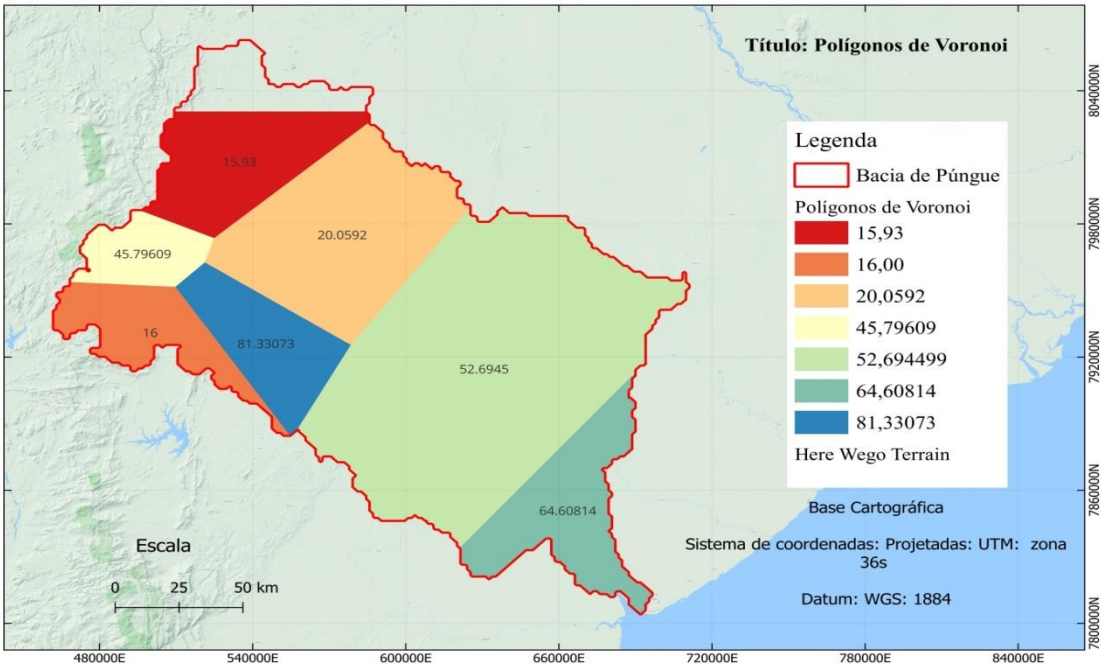
Label	Bacia do Púngue
AREA	2961047473
PERIMETER	308915.7837
Area_km2_1	31179.6254
Perimet_Km	1043.58
Alt_mean	416.95206
Alt_min	-29
Alt_max	2581
Alt_range	2610
L1_eixo_km	333.934
L_RP_km	361.5667
CT_LOT_KM	5683
N_TOTAL	10937.3
KC_I.gravi	1.6548
Kf	0.2796
Ic	0.3599
Re	0.5965
De	0.1823
Rr	0.0078
Ir	0.4758
Dh	0.3508
Lm	1.3716
Is	1.0827
T	10.4806

3.2. Estimativas de Vazão

- O método IDW produziu estimativas consistentes, com vazões variando entre 15,93 m³/s e 267,2 m³/s.

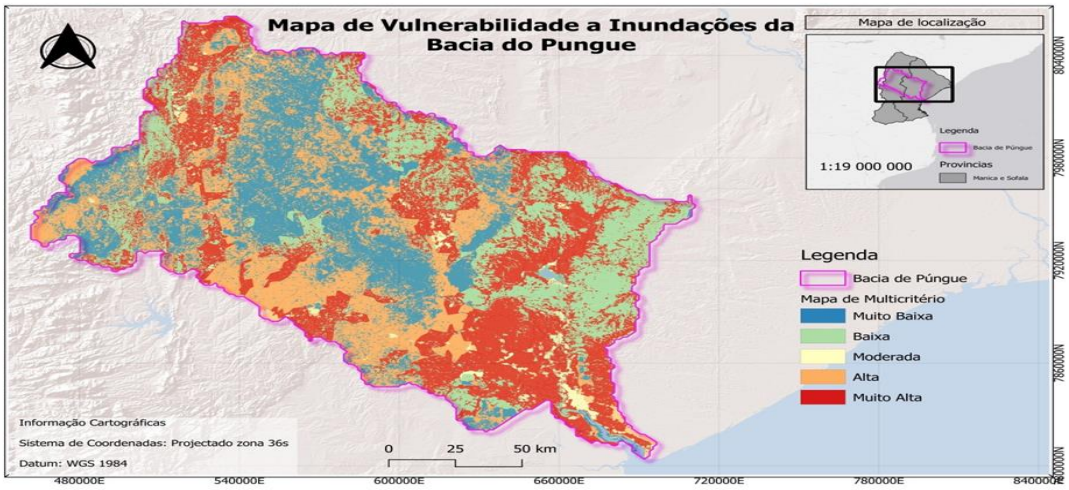


- Os polígonos de Voronoi permitiram a regionalização eficiente, destacando áreas críticas com maior variabilidade hidrológica.



3.3. Vulnerabilidade a Inundações

As áreas classificadas como "muito alta vulnerabilidade" (5% da bacia) coincidem com regiões de baixa altitude e solo impermeável, reforçando a necessidade de medidas de mitigação.



3.4. Análise dos Valores de Caudais Estimados na Bacia do Púnguè em 2024

O mapa apresenta os resultados das estimativas de vazão para locais não monitorados na Bacia do Púnguè em 2024, utilizando técnicas de interpolação. Os pontos roxos representam as novas estimativas, revelando:

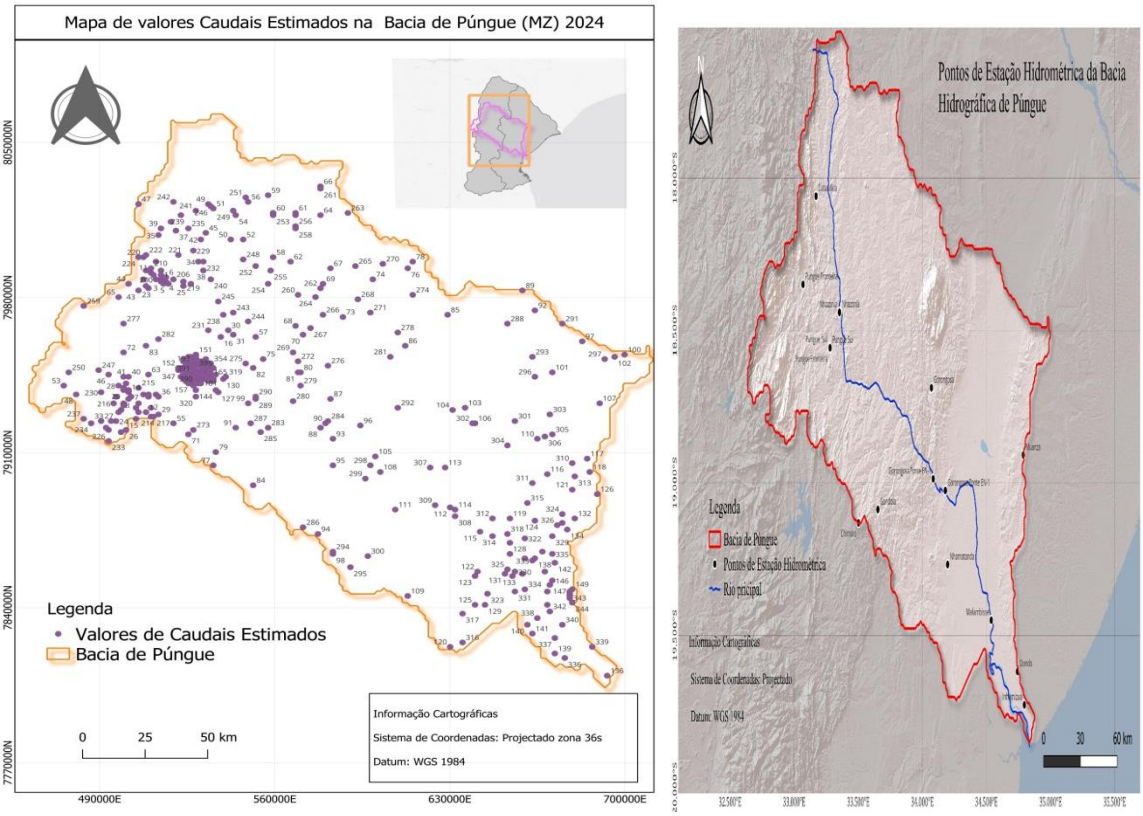
1. Variação espacial dos caudais em toda a bacia
2. Maior concentração de pontos na região sudoeste, indicando:
    - ✓ Maior complexidade hidrológica
    - ✓ Relevância socioeconômica da área
    - ✓ Necessidade de monitoramento intensivo

Estas estimativas preenchem lacunas cruciais para:

- ✓ Compreensão do comportamento hidrológico
- ✓ Planeamento de recursos hídricos
- ✓ Gestão sustentável

- ✓ Prevenção de eventos extremos (cheias e secas)

O método se mostra particularmente valioso em regiões com rede hidrométrica limitada, mas com alta demanda por dados precisos de vazão.



4. CONCLUSÕES

A aplicação dos métodos de Interpolação por Ponderação Inversa da Distância (IDW) e Polígonos de Voronoi na bacia do Púnguè revelou resultados significativos para a estimativa de vazões em locais não monitorados. O IDW demonstrou excelente desempenho em áreas com razoável densidade de estações hidrométricas, produzindo estimativas contínuas que refletem adequadamente a variação espacial das vazões. Seu principal ponto forte reside na capacidade de ponderar a influência das estações vizinhas de forma proporcional à distância, gerando superfícies hidrológicas mais realistas.

Por outro lado, os Polígonos de Voronoi apresentaram-se como solução robusta para áreas com dados extremamente escassos, onde cada polígono representa claramente a zona de influência de uma estação específica. Este método mostrou-se particularmente útil em trechos da bacia com características hidrológicas bem definidas e distintas, permitindo uma regionalização mais precisa nestes casos.

Ambos os métodos, contudo, revelaram limitações importantes:

1. O IDW tende a subestimar picos locais de vazão devido ao efeito de suavização inerente ao método

2. Os Polígonos de Voronoi não consideram adequadamente as transições graduais entre diferentes regimes hidrológicos

3. A performance de ambos é fortemente dependente da distribuição espacial das estações de monitoramento

A pesquisa sugere que a combinação estratégica destes métodos - utilizando Voronoi em áreas com dados muito escassos e IDW em regiões melhor monitoradas - pode potencializar os resultados. Recomenda-se ainda a integração com dados auxiliares (como características morfométricas da bacia) para corrigir as principais limitações identificadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à ARA-Centro pelo fornecimento de dados e aos orientadores pelo apoio técnico. Este trabalho foi financiado pelo Instituto de Bolsas de Estudo (IBE) de Moçambique.

REFERÊNCIAS

- Arnold, J. G. et al. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment. *Journal of the American Water Resources Association*, *34*(1), 73-89.
- Beven, K. J. (2012). *Rainfall-runoff modelling: The primer*. Wiley-Blackwell.
- Blöschl, G., & Sivapalan, M. (1995). Scale issues in hydrological modelling. *Hydrological Processes, 9*(3-4), 251-290.
- Collischonn, W., & Tucci, C. E. (2008). *Sistemas de informação geográfica na modelagem hidrológica*. Oficina de Textos.
- Gupta, H. V. et al. (2015). Model Calibration and Uncertainty Estimation. In *Risk and Uncertainty Assessment for Natural Hazards*. Cambridge University Press.
- Nash, J. E., & Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. *Journal of Hydrology, 10*(3), 282-290.
- Sorooshian, S., & Gupta, V. K. (1995). Model calibration. In *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill.
- Wagener, T., & Gupta, H. V. (2005). Model identification for hydrological forecasting. *Journal of Hydrology, 316*(1-4), 142-159.

ARTIGO Nº23524

CARACTERIZAÇÃO GEOESTATÍSTICA E ESTRUTURAL DE HOTSPOTS DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE-MACIA

Helton das Neves Alberto Massingue
UEM - Faculdade de Ciências - Departamento de Geologia
E-mail: manbengueajuda@gmail.com

RESUMO

A crescente procura por fontes de energia limpas e sustentáveis impulsiona o interesse global pelo hidrogénio natural (H_2) como recurso estratégico. Este estudo investigou a ocorrência de hidrogénio natural nos distritos de Manhiça e Bilene-Macia (sul de Moçambique), combinando análises geoquímicas, estruturais e geoestatísticas para identificar zonas potenciais de ocorrência de H_2. Foram identificadas concentrações variando entre 4 ppm e 9.500 ppm, com distribuição espacial controlada por falhas e fraturas regionais. A aplicação de variogramas e krigagem permitiu mapear hotspots e compreender a migração do gás. Os resultados confirmam o potencial geológico local para exploração futura, destacando a importância da geoestatística como ferramenta chave na avaliação de recursos naturais.

***Palavras-chave*:** Hidrogénio natural; geoestatística; krigagem; Moçambique; Manhiça; Bilene-Macia; prospeção

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de transição para uma matriz energética sustentável e de baixo teor de carbono constitui um dos principais desafios globais da actualidade. Neste contexto, o hidrogénio tem sido amplamente promovido como um vector energético estratégico, dadas as suas propriedades versáteis e o potencial para contribuir significativamente para a descarbonização de diversos sectores (IEA, 2019; Ball & Weeda, 2015). Entre as diferentes formas de obtenção de hidrogénio, o hidrogénio natural — também designado hidrogénio branco — destaca-se por ser uma fonte primária gerada de forma natural na crosta terrestre, oferecendo uma alternativa potencialmente mais limpa e economicamente competitiva face aos métodos industriais tradicionais (Zgonnik, 2020).

O presente estudo foi realizado nos distritos de Manhiça e Bilene-Macia, no sul de Moçambique, regiões que apresentam um contexto geológico favorável, caracterizado pela ocorrência de estruturas profundas, zonas de cisalhamento e sistemas de fraturação que podem actuar como vias preferenciais para a migração de gases (Prinzhofer et al., 2018). O principal objectivo desta investigação consiste em caracterizar a distribuição espacial das concentrações superficiais de hidrogénio, identificando zonas com maior potencial de acumulação (hotspots) através de métodos geoestatísticos rigorosos, com base em dados empíricos obtidos em campanhas de campo e análises laboratoriais.

A ocorrência de hidrogénio natural encontra-se geralmente associada a diversos processos geológicos profundos. Destacam-se a serpentinização de rochas ultramáficas, responsável pela produção de H_2 a partir de reacções entre olivina e água (Sleep et al., 2004); a radiólise da água,

induzida pelo contacto com minerais radioactivos, resultando na libertação de hidrogénio em ambientes profundos (Lin et al., 2005); e processos termogénicos envolvendo matéria orgânica submetida a elevadas pressões e temperaturas (Charlou et al., 2002). A migração e acumulação efectivas deste gás dependem de um arcabouço estrutural favorável, marcado pela presença de falhas, fraturas e zonas de fraqueza crustal, que condicionam a dinâmica ascendente dos fluxos gasosos.

As áreas estudadas apresentam depressões morfológicas de forma elíptica a circular, com margens esbranquiçadas, indicativas de processos de exsudação activa. Durante as campanhas de campo, foram colectadas amostras gasosas em pontos de exsudação superficial, posteriormente submetidas a análises cromatográficas em laboratório. As concentrações de hidrogénio variaram, atingindo valores máximos de 9.500 ppm. Além do H_2, identificaram-se metano (CH_4), hélio (He) e dióxido de carbono (CO_2), sugerindo a presença de sistemas profundos activos e complexos, possivelmente alimentados por múltiplos processos de geração e vias migratórias.

Os resultados preliminares evidenciam a existência de zonas favoráveis ao acúmulo de hidrogénio natural, sublinhando a relevância de estudos complementares para a avaliação do seu potencial económico e energético. A aplicação de técnicas geoestatísticas, incluindo modelação variográfica e krigagem ordinária, permitiu a delimitação de áreas prioritárias, oferecendo subsídios técnicos para futuras campanhas exploratórias.

A articulação entre instituições académicas, entidades governamentais e o sector privado revela-se essencial para o desenvolvimento sustentável deste recurso energético emergente. Recomenda-se, além da expansão para outras regiões com características geológicas semelhantes, a realização de perfurações exploratórias, levantamentos geofísicos adicionais (gravimetria, magnetometria e sísmica), bem como estudos estruturais detalhados, de modo a aprofundar o conhecimento sobre os mecanismos de geração, migração e acumulação do hidrogénio natural em ambientes continentais.

1.1. Objectivo Geral

O presente trabalho tem como principal objectivo mapear e caracterizar espacialmente as áreas potenciais de ocorrência de hidrogénio natural, usando análises geoestatísticas e integração com informações geológicas e estruturais.

1.2. Objectivos Específicos

- Aplicar métodos de geoestatísticos para analisar a distribuição espacial do hidrogénio natural.
- Identificar correlações entre concentrações de hidrogénio e estruturas geológicas regionais.
- Analisar características geológicas favoráveis à ocorrência de hidrogénio.
- Caracterização geológica e estrutural dos hotspots.
- Definir zonas prioritárias para futuras campanhas de prospeção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Geração de hidrogénio natural

O hidrogénio natural (ou hidrogénio branco) é produzido a partir de diversos processos naturais que ocorrem no interior da Terra, refletindo a complexidade das interações geoquímicas e geodinâmicas em subsuperfície. A sua formação depende fortemente da geologia regional, das estruturas tectónicas, da composição litológica e da circulação de fluidos profundos (Zgonnik, 2020; Prinzhofer & Deville, 2015).

Entre os principais mecanismos de geração destacam-se a serpentinização de rochas ultramáficas. A serpentinização ocorre quando rochas ultramáficas, ricas em olivina e piroxenas, reagem com água em condições hidrotermais ou em profundidade, transformando-se em minerais de serpentina e magnetite, com libertação simultânea de hidrogénio molecular (H_2).

Este processo é considerado um dos mecanismos mais importantes na formação de hidrogénio natural, sobretudo em ambientes oceânicos, margens continentais e zonas ofiolíticas (Charlou et al., 2002; Zgonnik, 2020).

$$Olivina + água \rightarrow Serpentina + magnetite + H_2$$

A produção de hidrogénio por serpentinização pode ocorrer durante milhões de anos, criando fontes contínuas de exsudação em superfície.

A radiólise consiste na dissociação das moléculas de água em hidrogénio e oxigénio, causada pela interação com radiações emitidas durante a desintegração de elementos radioativos como urânio (U), tório (Th) e potássio (K).

Este processo é relevante em ambientes graníticos ou formações ricas em minerais radioactivos, e pode gerar quantidades significativas de hidrogénio ao longo do tempo geológico (Sherwood Lollar et al., 2014; Zgonnik, 2020).

Reações redox profundas, em condições de elevada temperatura e pressão, a matéria orgânica presente em rochas sedimentares profundas pode sofrer decomposição térmica (pirolítica) em presença de fluidos aquosos, originando misturas gasosas que incluem hidrogénio, metano e outros hidrocarbonetos leves.

Estes processos redox são comuns em bacias sedimentares profundas e podem estar associados a contextos de soterramento prolongado ou metamorfismo regional (Prinzhofer & Deville, 2015; Larin et al., 2015).

Degaseificação do manto, hidrogénio também pode ter origem magmática, sendo libertado directamente do manto terrestre na forma de gases durante episódios de vulcanismo ou em zonas de rifteamento (margens continentais activas, dorsais oceânicas).

A migração de fluidos magmáticos ricos em hidrogénio ocorre através de sistemas de falhas profundas e zonas de fraturação, podendo acumular-se em reservatórios subsuperficiais ou escapar diretamente para a superfície (Prinzhofer et al., 2018; Zgonnik, 2020).

Estes mecanismos podem actuar isoladamente ou de forma combinada, dependendo das condições geológicas locais. A presença de redes de fraturas e falhas facilita a migração ascendente do hidrogénio, aumentando a probabilidade de exsudações superficiais (Prinzhofer & Deville, 2015).

A compreensão detalhada dos processos de geração e migração do hidrogénio natural é fundamental para identificar zonas favoráveis à sua ocorrência e para definir estratégias de prospeção e eventual exploração sustentável (Zgonnik, 2020; Sherwood Lollar et al., 2014).

3. METODOLOGIA

3.1. Coleta de Amostras

A Universidade Eduardo Mondlane (UEM), em colaboração com a Direcção Nacional de Geologia de Moçambique (DNGM) e a Universidade de Évora (Uev), conduziu coletas sistemáticas de concentrações de hidrogênio natural em áreas de interesse previamente identificadas através de imagens de satélite e Google Earth (Fig.1).

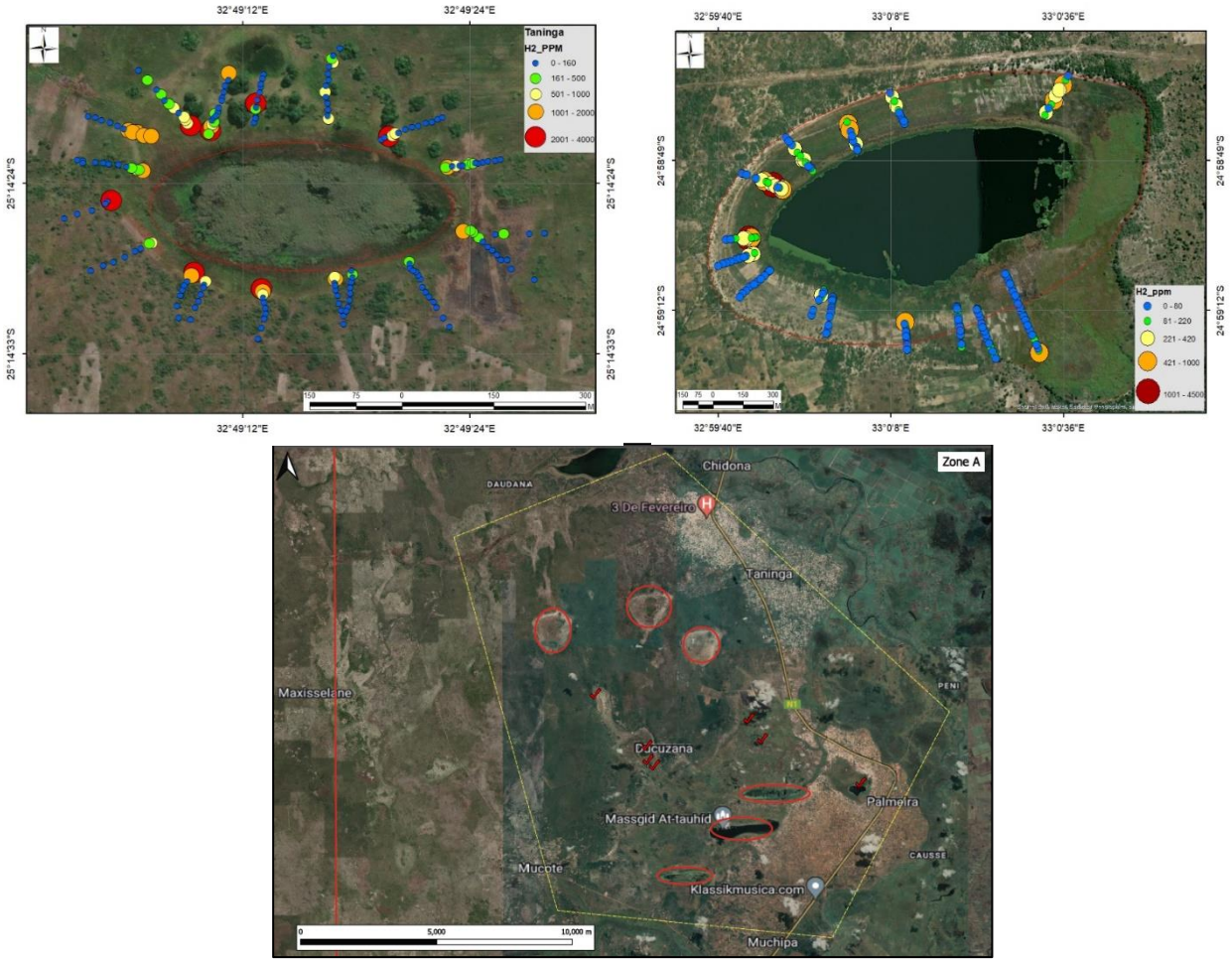


Fig. 1. Imagem de satélite da área de estudo identificando estruturas elipsoides e circulares características de áreas com potencial de hidrogênio natural.

3.2. Análise Geoestatística

Os dados coletados em campo, juntamente com análises laboratoriais e dados geológicos, foram compilados e analisados para avaliar a probabilidade de ocorrência de hotspots de hidrogênio natural na área de estudo. Métodos geoestatísticos, como Krigagem e análise de variografia (Fig2.), foram utilizados para avaliar a distribuição espacial dos elementos químicos e identificar anomalias. As estruturas geológicas, sistemas de falhas, caminhos de migração de fluidos e possíveis associações com zonas de hotspots foram interpretados. Os resultados da análise geoestatística e geológica foram integrados para identificar áreas prioritárias para exploração futura.

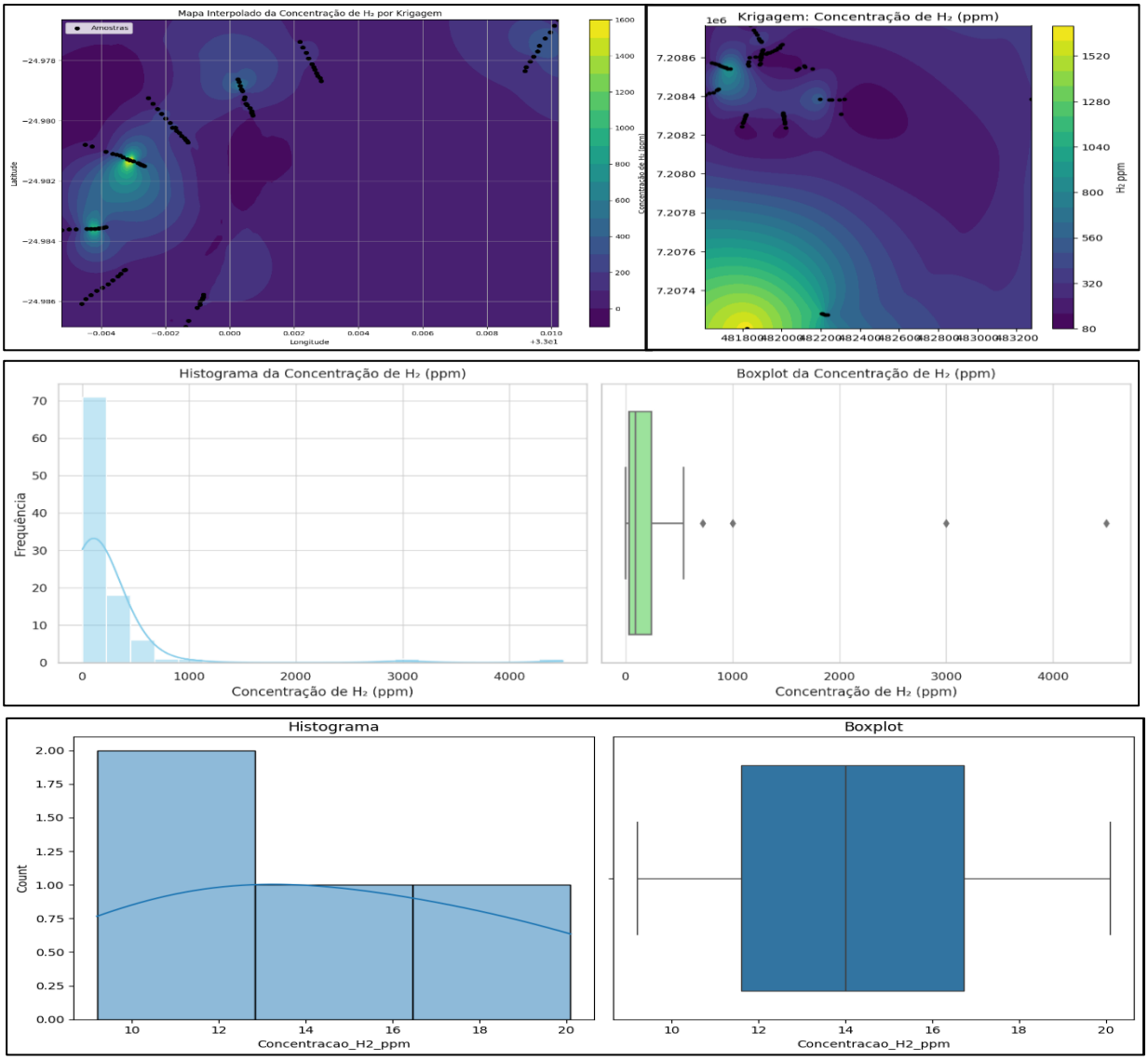


Figura 2. Mapa de interpolação da concentração de hidrogénio por Krigagem (Arivanga e Taninga), respectivamente.

3.3. Relatórios e Recomendações

Foi preparado um relatório abrangente resumindo os resultados, metodologias e conclusões da pesquisa. Recomendações foram fornecidas para atividades de exploração futura, incluindo

programas de perfuração, levantamentos geofísicos adicionais e esforços de monitoramento ambiental.

4. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

- Localização: Entre as latitudes 25°33'36.04" S e 25°33'27.45" S e longitudes 32°66'72.43" E e 33°33'47.84" E.

- Topografia: Variada, desde planícies costeiras até elevações internas.

- Clima: Tropical, com estação chuvosa no verão e seca no inverno.

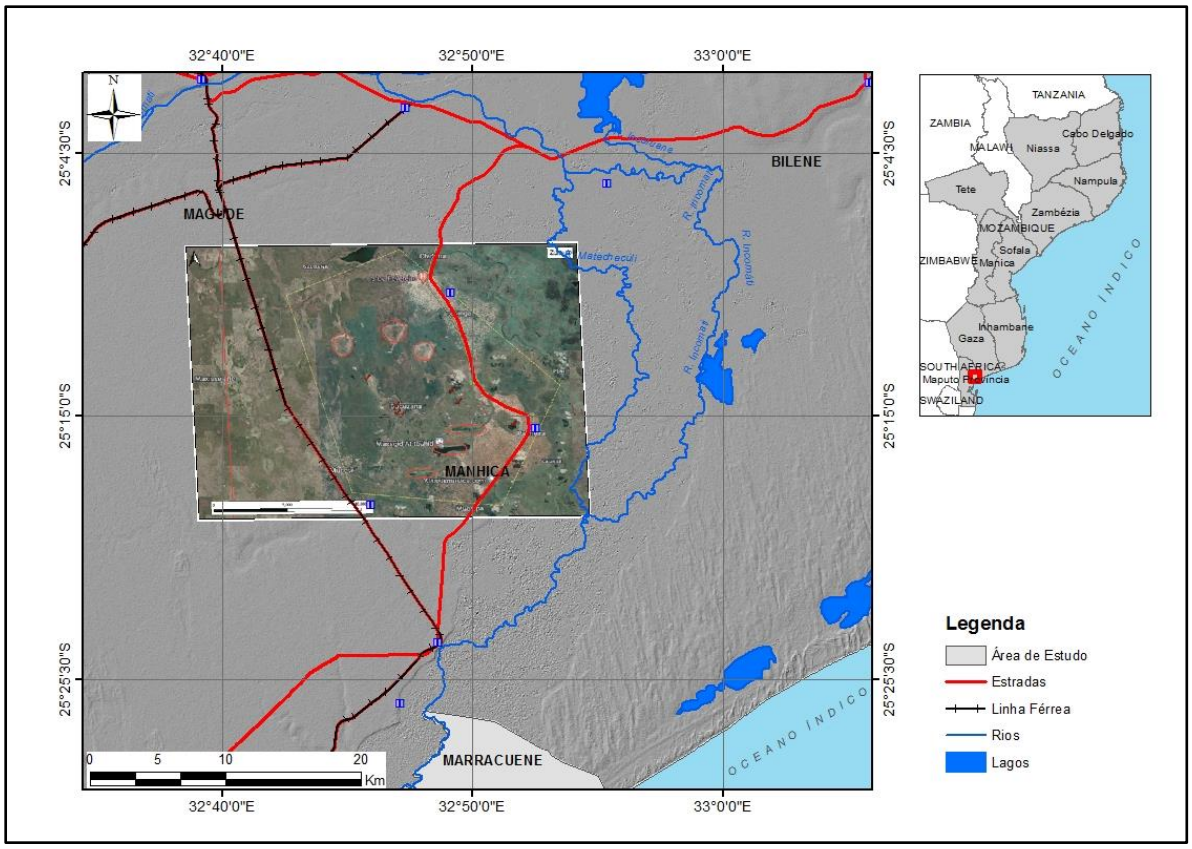


Fig.3. Ilustra a área de estudo e as principais vias de acesso.

5. ENQUADRAMENTO GEOLÓGICO

O distrito de Manhiça possui um enquadramento geológico complexo, caracterizado por uma grande diversidade de formações geológicas e estruturas que evoluíram ao longo de milhões de anos, refletindo uma longa e dinâmica história geológica (Direcção Nacional de Geologia, 2006; Grantham et al., 2008) (Fig. 4).

Complexo Basal Pré-câmbrico

O distrito de Manhiça assenta em rochas pertencentes ao Complexo Basal Pré-câmbrico, que constitui a parte mais antiga e estável da crosta terrestre. Estas rochas são compostas por granitos, gnaisses, xistos e rochas metavulcânicas, formadas por diversos processos geológicos,

como metamorfismo, magmatismo e tectonismo (Direcção Nacional de Geologia, 2006; Grantham et al., 2008).

Cinturão Moçambicano

O distrito de Manhiça localiza-se no interior do Cinturão Moçambicano, uma importante zona tectónica que se estende ao longo da costa oriental de África. O Cinturão Moçambicano é caracterizado por uma história complexa de acreção crustal, colisão e deformação, que resultou na formação de variados conjuntos litológicos e feições estruturais (de Wit et al., 2008; Grantham et al., 2003).

Bacias sedimentares

O distrito de Manhiça contém várias bacias sedimentares que se formaram em diferentes períodos geológicos. Estas bacias encontram-se preenchidas por rochas sedimentares, tais como arenitos, siltitos, argilitos e conglomerados, depositados em ambientes marinhos, fluviais, lacustres e deltaicos (Direcção Nacional de Geologia, 2006). As bacias sedimentares possuem um potencial significativo para exploração de hidrocarbonetos (Armstrong et al., 2021) e são também importantes fontes de recursos hídricos subterrâneos e minerais (Grantham et al., 2003).

Depósitos quaternários

Os depósitos quaternários, incluindo planícies aluviais, terraços fluviais e dunas costeiras, são abundantes no distrito de Manhiça. Estes depósitos são relativamente recentes, tendo-se formado durante o Período Quaternário, marcado por ciclos alternados de glaciações e períodos interglaciares (Direcção Nacional de Geologia, 2006; Partridge et al., 2010). Os depósitos quaternários contêm frequentemente recursos valiosos, como água, areia e cascalho, e desempenham um papel importante na modelação da paisagem e no suporte aos ecossistemas locais.

Feições estruturais

O distrito de Manhiça apresenta diversas feições estruturais, tais como falhas, dobras e juntas, resultantes das forças tectónicas que actuam sobre a crosta terrestre (de Wit et al., 2008). Estas estruturas controlam a distribuição das formações geológicas, influenciam os padrões de fluxo de águas subterrâneas e podem também afetar a ocorrência de depósitos minerais e reservatórios de hidrocarbonetos (Grantham et al., 2008; Armstrong et al., 2021).

Recursos minerais

O enquadramento geológico do distrito de Manhiça pode albergar importantes recursos minerais. Levantamentos geológicos e actividades de prospeção poderão identificar depósitos de minerais como ouro, tântalo, grafite, entre outros (Direcção Nacional de Geologia, 2006; Grantham et al., 2003; Armstrong et al., 2021).

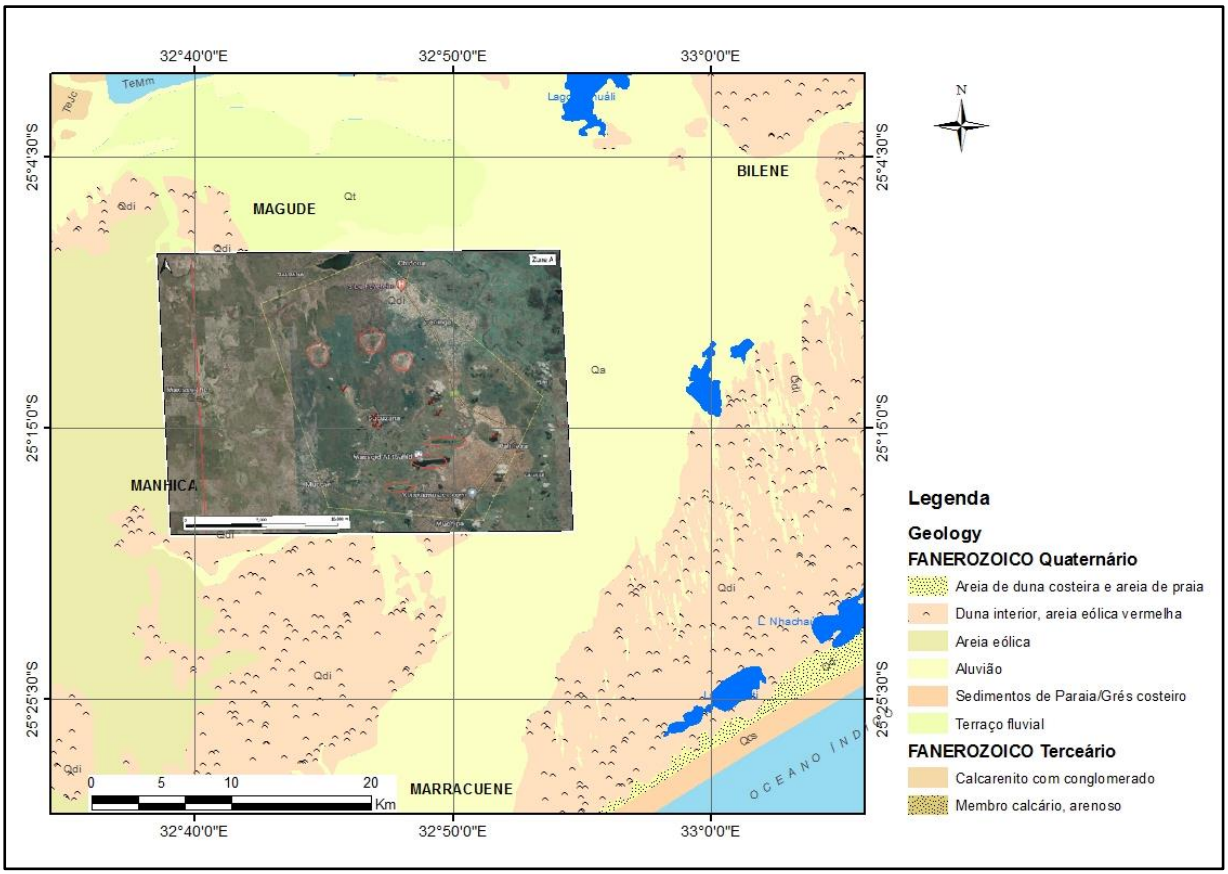


Figura 4: Mapa geológico da área de estudo

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente investigação permitiu identificar e caracterizar preliminarmente a ocorrência de hidrogénio natural nos distritos de Manhiça e Bilene-Macia, através de análises laboratoriais, interpretação estrutural e integração espacial em sistemas de informação geográfica.

As análises laboratoriais de amostras gasosas recolhidas em pontos superficiais (exsudações e perfis rasos) revelaram concentrações de hidrogénio variando entre 4 ppm e 9.500 ppm, com uma média geral de cerca de 430 ppm. Estes valores, embora preliminares, são considerados significativos em comparação com concentrações normalmente observadas em zonas de exsudação difusa (Prinzhofer & Deville, 2015; Zgonnik, 2020).

As zonas com concentrações mais elevadas coincidem com áreas caracterizadas por densa rede de fraturas sugerindo uma clara relação estrutural com a migração do gás.

6.1. Distribuição espacial e padrões estruturais

A análise geoestatística, através da elaboração de variogramas experimentais e ajuste de modelos (esférico, gaussiano e exponencial), indicou um alcance espacial médio de 2.500 m, refletindo correlação significativa entre pontos amostrados. O modelo esférico apresentou o melhor ajuste, permitindo interpolar as concentrações em toda a área de estudo com maior precisão.

Os mapas interpolados, obtidos por krigagem ordinária, evidenciaram zonas prioritárias (hotspots) para futura prospeção, localizadas principalmente em áreas próximas de falhas principais e zonas de contacto entre unidades pré-câmbricas e sedimentos quaternários. Este

padrão corrobora estudos internacionais que indicam a importância das estruturas tectónicas na condução de gases geogénicos (Larin et al., 2015; Prinzhofer et al., 2018).

6.2. Composição gasosa associada

Além do hidrogénio, foram detetados metano (CH_4) com valores até 1.200 ppm, hélio (He) até 15 ppm, e teores variáveis de dióxido de carbono (CO_2). Esta composição indica a possível coexistência de processos redox profundos e degaseificação magmática, refletindo a complexidade do sistema geológico regional.

A presença de metano e hélio reforça a hipótese de contribuição de fontes profundas, potencialmente associadas ao Cinturão Moçambicano e a zonas de atividade magmática antiga (de Wit et al., 2008; Grantham et al., 2003).

6.3. Comparação com estudos internacionais

Estudos recentes em contextos semelhantes, como no Mali (Bourdet et al., 2021) e na Austrália (Zgonnik, 2020), mostraram que zonas com exsudações superficiais podem estar ligadas a reservatórios em profundidade economicamente exploráveis. No caso moçambicano, os valores registados e a extensão das anomalias sugerem potencial comparável, destacando a importância de explorar sistematicamente a região para confirmar a viabilidade técnica e económica.

7. CONCLUSÃO

O estudo fornece evidências preliminares do potencial de ocorrência de hidrogénio natural na área de estudo, sublinhando a importância de investigações adicionais. A colaboração entre agências governamentais, instituições de pesquisa e o sector industrial é essencial para explorar de forma sustentável este recurso, considerando também a sustentabilidade ambiental e o impacto comunitário.

REFERÊNCIAS

Ball, M., & Weeda, M. (2015). The hydrogen economy — Vision or reality? International Journal of Hydrogen Energy, 40(25), 7903–7919. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.04.032

Charlou, J.L., Donval, J.P., Konn, C., Ondréas, H., Fouquet, Y., Jean-Baptiste, P., & Fourré, E. (2002). Geochemistry of high H_2 and CH_4 vent fluids issuing from ultramafic rocks at the Rainbow hydrothermal field (36°14′N, MAR). Chemical Geology, 191(4), 345–359. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00134-1

International Energy Agency (IEA). (2019). The Future of Hydrogen: Seizing Today's Opportunities. https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen

Lin, L.H., Slater, G.F., Lollar, B.S., Lacrampe-Couloume, G., & Onstott, T.C. (2005). The yield and isotopic composition of radiolytic H_2, a potential energy source for the deep subsurface biosphere. Geochimica et Cosmochimica Acta, 69(4), 893–903. https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.07.032

Prinzhofer, A., Deville, E., & Pinti, D.L. (2018). Natural Hydrogen: The Next Energy Revolution? Springer.

Sleep, N.H., Meibom, A., Fridriksson, T., Coleman, R.G., & Bird, D.K. (2004). H_2-rich fluids from serpentinization: Geochemical and biotic implications. Proceedings of the National Academy of Sciences, 101(35), 12818–12823. https://doi.org/10.1073/pnas.0405289101

Zgonnik, V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. Earth-Science Reviews, 203, 103140. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140

Charlou, J.L., Donval, J.P., Konn, C., Ondréas, H., Fouquet, Y., Jean-Baptiste, P., & Fourré, E. (2002). High production and fluxes of H_2 and CH_4 and evidence of abiogenic hydrocarbon synthesis by serpentinization in ultramafic-hosted hydrothermal systems on the Mid-Atlantic Ridge. *Chemical Geology*, 191(4), 345–359.

Larin, N.V., Karpov, I.K., Taylors, L.A., & Kalinin, A.Y. (2015). Natural hydrogen: A new primary energy source for the future of the planet. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(19), 6596–6606.

Prinzhofer, A., & Deville, E. (2015). Hydrogen: A future energy carrier. *Philippe Lavoisier Publishing*.

Prinzhofer, A., Battani, A., & Deville, E. (2018). Geochemical methods for exploration of natural hydrogen. *Elements*, 14(4), 271–276.

Sherwood Lollar, B., et al. (2014). The contribution of geologic hydrogen to subsurface microbiology and global hydrogen cycling. *Nature Geoscience*, 7(6), 423–427.

Zgonnik, V. (2020). The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review. *Earth-Science Reviews*, 203, 103140.

Armstrong, R., Grantham, G.H., de Wit, M.J., & Tucker, R.D. (2021). The tectonic evolution of southern Mozambique and implications for natural resources. *Journal of African Earth Sciences*, 178, 104185.

Direcção Nacional de Geologia. (2006). *Carta Geológica de Moçambique à escala 1:1 000 000*. Maputo: Ministério dos Recursos Minerais.

Grantham, G.H., Macey, P.H., Roberts, M.P., & Armstrong, R.A. (2003). Proterozoic geology of the Mozambique Belt in central and southern Mozambique, and comparisons with adjacent terranes in southern Africa and Sri Lanka. *Precambrian Research*, 123(1-4), 195–218.

Grantham, G.H., Macey, P.H., & Roberts, M.P. (2008). The geology of Mozambique: an overview and regional correlations. *South African Journal of Geology*, 111(1), 89–108.

Partridge, T.C., Demenocal, P.B., Lorentz, S.A., Paiker, M.J., & Vogel, J.C. (2010). Orbital forcing of climate over South Africa: A 200,000-year rainfall record from the Pretoria Saltpan. *Quaternary Science Reviews*, 29(9-10), 1202–1213.

de Wit, M.J., Ashwal, L.D., & Thomas, R.J. (2008). *Tectonic evolution of southern Africa*. Johannesburg: Council for Geoscience.

Instituto Nacional de Estatística (INE), 2022. Gabinete Central Do Recenseamento. Indicadores Socio - Demográficos Distritais Província De Gaza.

ARTIGO Nº23526

SÍNTESE DE ZEÓLITAS DE BAIXA RAZÃO Si/Al A PARTIR DE CINZAS DE CARVÃO MINERAL PARA ADSORÇÃO DE CU^{2+}

Afonso T. S. Mapire [1(*)], Miguel M. Uamusse[1], Estevão A. J. Pondja[1], Jonas V. Matsinhe [1,2]

[1]Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, UEM – Maputo, Moçambique
[2]Centro de Estudos de Engenharia – Unidade de Produção, UEM – Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* afonsomapire@gmail.com

RESUMO

As cinzas de combustão do carvão mineral têm sido objecto de muitos estudos para síntese de zeólitas. No entanto, existem dois tipos de cinzas, pesadas e volantes, e as cinzas pesadas têm recebido menos atenção, quando comparado com as cinzas volantes. No presente estudo procurou formas de sintetizar zeólitas a partir de cinzas pesadas de carvão mineral, com baixa proporção de silício para alumínio, e sem a adição de alumínio externo para formação dos tetraedros, e no fim as zeólitas sintetizadas foram aplicadas para adsorver íons de cobre. A síntese da zeólita foi realizada por meio de um método de duas etapas usando fusão, com todas as variáveis de síntese mantidas constantes, exceto o tempo de síntese e a temperatura. Os resultados dos testes de remoção de íons de cobre mostraram que as zeólitas sintetizadas a 100 ºC e um tempo de síntese de 16 horas exibiram a maior taxa de remoção, enquanto uma temperatura de 80 ºC teve um efeito menor na dissolução dos precursores da zeólita. A zeólita A1 foi selecionada (com base em sua percentagem de remoção) para prosseguir com o estudo de adsorção. O modelo de Langmuir descreveu melhor o processo de adsorção com um valor R^2 de 0,892, com o pequeno desvio atribuído à presença de uma mistura de zeólitas. A capacidade máxima de adsorção foi de 34,24 mg/g para a zeólita A1, e o equilíbrio foi atingido em 100 minutos, indicando que esse adsorvente poderia ser usado para tratar água contaminada com íons de cobre. O modelo cinético de pseudo-segunda ordem descreveu melhor a cinética de adsorção, pois os valores de qe calculados estavam mais próximos dos valores de qe experimentais, indicando assim que o processo de adsorção é quimissorção.

***Palavras-chave**:* zeólitas, cinzas de carvão mineral, adsorção.

INTRODUÇÃO

O carvão mineral é um dos combustíveis mais usado na produção de energia eléctrica e térmica, a utilização deste combustível no sector energético deve-se à factores, como poder calorifico, abundância, distribuição geográfica (em todos continentes)(Aquino, 2018; José e Sampaio, 2011). Apesar desta grande importância na matriz energética ao queimar este combustível gera-se dióxido de carbono e cinzas de carvão como principais subprodutos. Cinzas de carvão mineral são resíduos sólidos remanescentes após a eliminação de compostos voláteis do carvão mediante a sua queima (Izidoro, 2013). Estes resíduos sólidos possuem aplicações na construção civil, no entanto, a taxa de geração destes resíduos ultrapassa a taxa de utilização neste sector, assim fazendo com que uma parte destes seja descartada em lagoas, aterros sanitários, gerando problemas ambientais e económicos (Querol et al., 2002). Para minimizar os problemas causados por cinzas de carvão, os cientistas e investigadores vêm estudando outras possibilidades de aplicação de cinzas, neste contexto a síntese de zeólitas a partir de cinzas tem chamado atenção aos investigadores. A literatura comprova que as cinzas volantes vêm sendo mais exploradas, e estas obtêm-se quando se queima o carvão pulverizado, contudo,

existe sistemas que ainda queima o carvão não pulverizado, assim dificultando a distinção entre as duas cinzas (cinzas volantes e pesadas), portanto, a cinza que fica depositada no fundo podendo ser pesada ou mistura das duas cinzas.

As zeólitas são aluminossilicatos microporosos com uma estrutura tridimensional que apresenta poros uniformes. As zeólitas podem ser naturais, aquelas encontradas nas regiões onde existe ativação de rochas vulcânica (Maesen e Marcus, 2001). Estas zeólitas possuem limitações quanto aplicação devido as impurezas que elas possuem, portanto, as zeólitas começaram a ser sintetizadas (Ferret, 2004). Segundo Izidoro (2013) as zeólitas mais importantes industrialmente são zeólitas A, faujasitas, ZSM-5 e ZSM11. As zeólitas podem ser empregadas como catalisadores, assim como adsorventes. A capacidade de adsorção e actividade catalítica de zeólitas está relacionada com a razão Si/Al, e essas grandezas crescem à medida que a razão diminui, no entanto, a estabilidade térmica diminui a medida que a razão Si/Al diminui, por este motivo as zeólitas de baixa razão silício alumínio são usadas como adsorventes e de alta razão Si/Al são usadas como catalisadores (Cabral, 2003).

Outro problema antropológico que tem causado poluição ambiental é a extração e o uso de metais pesados, alguns destes metais pesados são importantes na nossa vida, porém, a medida que o homem emprega estes metais para o desenvolvimento tecnológico, aumenta concentração deste na superfície e nas águas (Qiu e Zheng, 2009). Neste estudo sintetizou-se zeólitas de baixa razão Si/Al sem adição de alumínio da fonte externa a partir de cinzas de carvão mineral para adsorção de Cu2+. O estudo da adsorção foi efectuado não só com objectivo de descrever o processo de adsorção, mas também, para estudar a influência dos parâmetros de síntese (temperatura de síntese e tempo de síntese) com base nas percentagens de remoção de iões de cobre. E também avaliou-se o modelo que descreve a cinética de adsorção dos iões de cobre pelas zeólitas sintetizadas

Nomenclatura:

T – Temperatura
h – Hora
$\mathbf{q_{máx}}$ – Capacidade máxima de adsorção (mg g^{-1})
$\mathbf{q_e}$ – É a quantidade adsorvida no equilíbrio (mg/g)
$\mathbf{q_e}$ **cal** – É a quantidade adsorvida no equilíbrio obtida através cálculos (mg/g)
$\mathbf{q_e}$ **exp** – É a quantidade adsorvida no equilíbrio obtida através de dados experimentais (mg/g)
$\mathbf{K_L}$ – É Constante de Langmuir relacionada a energia de adsorção.
K – É a constante de velocidade de adsorção de pseudo segunda ordem, g/(mg.min)

PARTE EXPERIMENTAL

A cinza utilizada neste trabalho foi extraída na fábrica de CDM, localizada na Cidade de Maputo, bairro Jardim. Durante a extração observou-se que a cinza gerada nesta fábrica, CDM, contém carvão que não sofreu a combustão, por este motivo foi necessário separar carvão não queimado da cinza.

Caracterização da matéria prima

Para analisar a granulometria da matéria prima, cinzas de carvão mineral, pesou-se inicialmente 400g de cinzas, empregando-se uma série de peneiras, com abertura de 19mm a 0,075mm, peneirou-se a cinza previamente pesada. A peneiração foi efectuada manualmente com uma duração máxima de 4min por cada peneira e registando-se a massa retida. Após a analise granulométrica juntou-se as cinzas retidas nas peneiras de 1,19 mm a 0,075 mm, destas cinzas uma amostra foi retirada e moída no almofariz em seguida foi submetida a caracterização química mediante FRX. Importa referir que as cinzas retidas nas peneiras com abertura maior ou igual a 2,38mm foram descartadas devido ao alto teor de carvão.

Preparação da matéria e síntese de zeólitas

As cinzas retidas nas peneiras de 1,19 mm a 0,075 mm foram moídas durante 90 min através de moinho de bolas da marca Imperial Lab Equipament com bolas de aço de várias dimensões, com peso total de 8,6kg. O fluxograma abaixo descreve o procedimento experimental de síntese de zeólitas e este foi baseado nos modelos de (IZA, 2016) e (Izidoro, 2013). Os parâmetros como temperatura de fusão, tempo de fusão, razão cinza/NaOH e razão Água/cinzas foram mantidos constantes e os valores estão apresentado nos respectivos unidades de fluxograma (Figura 1). O tempo de tratamento hidrotérmico e a temperatura de síntese foram as variáveis do processo dependedo da amostra o tempo poderia ser de 16h ou 24h, e a temperatura de 80º C ou 100º C. lavagem foi efectuada até que o valor de pH ~ 7. Após a lavagem secou-se na estufa durante 8h a 105ºC, o produto foi arrefecido no dessecador e armazenado no frasco.

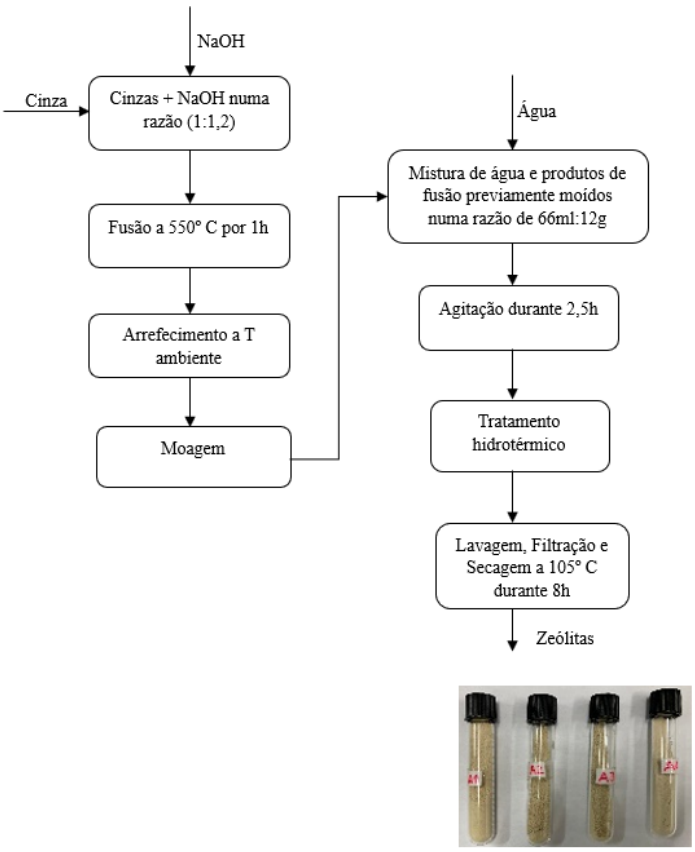


Figura 1 – O fluxograma de processo de síntese de zeólitas a partir de cinzas.

Planeamento estatístico

Com o objectivo de analisar, em simultâneo, a influência dos parâmetros de síntese de zeólitas tomados como variáveis neste trabalho foi efectuado um planeamento estatístico de experimentos de dois factores (n) e dois níveis (2). A Tabela 6 mostra o planejamento estatístico de dois factores (temperatura e tempo de síntese).

Tabela 6 – Planeamento estatístico de síntese de zeólitas.

Ensaio	Factores	
	Temperatura d'síntese (ºC)	Tempo d'síntese (h)
A1	100	16
A2	100	24
A3	80	16
A4	80	24

Curva de calibração em espetrofotómetro UV-VIS

Com a finalidade de conhecer a relação que existe entre a concentração de iões de Cu2+ e absorbância preparou-se uma solução de 400mg/L que foi diluída em várias concentrações a Tabela 7 apresenta os dados da diluição feita. Uma solução de iões de Cu2+ apresenta uma coloração azul, no entanto, a concentrações muito baixas não apresenta a coloração assim dificultando a leitura de absorbância no espectrofotómetro UV-VIS, então para dar uma coloração a solução foi necessário reagir a solução de cobre com solução de NaOH a 4M numa proporção volumétrica de 1:2, respectivamente, esta reacção forma um complexo, $[Cu(OH)4]2-$, que apresenta uma coloração azul.

Tabela 7 – Concentrações das soluções usadas para fazer a curva de calibração.

Ensaio	Concentração (mg/L)
1	25
2	50
3	75
4	100
5	150
6	200
7	250

Percentagem de remoção dos iões de Cu^{2+} das zeólitas sintetizadas

Todas as amostras foram testadas a fim de escolher a zeólita com maior percentagem de remoção de iões de cobre e também para estudar o efeito de parâmetros de síntese (temperatura e tempo de síntese), para este efeito empregou-se 0.2g do adsorvente zeolítico sintetizado que foi misturado com 50 mL de uma solução de iões de cobre a uma concentração de 200mg/L, o valor de pH foi mantido no intervalo de 4.8 a 5,2 e a mistura adsorvente-solução foi agitada

durante uma hora. Manteve se as condições de adsorção para todas amostras.

Isoterma de adsorção

Para obter a isoterma de adsorção os ensaios foram realizados seguindo a metodologia descrito pelo Matsinhe (2017). Inicialmente preparou-se uma solução de concentração 200 mg/L em um bequer de 400ml em seguida colocou-se 40mL da solução preparada num bequer de 100ml, pesou-se 0,1g de adsorvente zeolítico adicionou-se no bequer de 100ml que continha solução previamente preparada. A mistura zeólita-solução foi agitada, terminado agitação filtrou-se e a solução filtrada foi armazenada para posterior determinação de concentração. Repetiu-se o procedimento variando as massas do adsorvente. A Tabela 8 ilustra as condições experimentais.

Tabela 8 – Condições experimentais para determinação da isoterma.

Factores	Valores correspondentes
Concentração (mg/L)	200
Massa de zeólitas (g)	0.1; 0.2; 0.3; 0.4; 0.6
Volume da solução (mL)	50
Agitação	-
Tempo d'agitação (h)	1
Temperatura (ºC)	Temperatura ambiente
pH	(4.8 a 5.2)

Cinética de adsorção

Preparou-se 25 ml de uma solução de 200mg/l de CuSO4.5H2O foi misturada com 0,1g de zeólita em seguida agitou-se. Todas as condições e as variáveis foram mantidas constantes exceptuando o tempo como vem na Tabela 11, e a variação foi de 20min dum ensaio para outro.

Tabela 9 – Tempo gasto por cada ensaio durante estudo da cinética de adsorção.

Ensaio	Tempo (min)
1	20
2	40
3	60
4	80
5	100

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise da distribuição granulométrica da cinza

A curva da distribuição granulométrica de cinza de carvão mineral está apresentada na Figura 2, a partir desta nota se que cerca de 65% da cinza apresenta uma granulometria maior que 2.38mm, constatou-se que as massas retidas nas peneiras com abertura maior ou igual 2,38mm apresentam maior conteúdo de carvão não queimado.

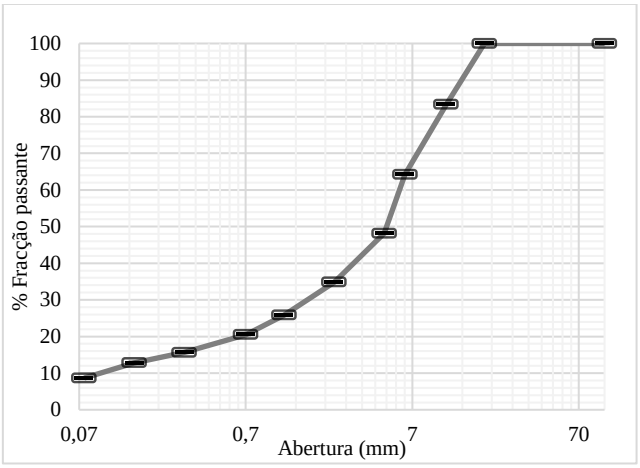


Figura 2 – Curva de distribuição granulométrica da cinza.

De acordo com Lacerda (2015) a cinza volante apresenta uma granulometria menor que 0.10mm; Ghassemi et al. (2004) estabelecem que a granulometria de cinzas volantes está compreendida entre 0.001 e 0.1mm, portanto, a cinza com granulometria menor que 0.1mm foi considerada volante e com granulometria maior que 0.1mm foi considerada pesada. Como se vê na Figura 2, a cinza volante constitui uma fracção menor que 10%.

A peneiração permitiu não só a análise gramométrica da cinza, mas também, observar que a cinza gerada pela CDM contém alto teor de carvão o que não é condizente com a literatura (Izidoro, 2013); Prado, 2018), isso deve se a granulometria de carvão usado pela CDM, por ser o carvão não pulverizado o grau de conversão é baixo devido a menor superfície de contacto, assim dificulta o uso deste resíduo, cinzas, na sua totalidade como na síntese de zeólitas, na construção civil. Porém o processo de peneiração mostrou ser eficaz na separação do carvão não queimado da cinza devido a diferença de granulometria, onde observou-se altos teores de carvão nas peneiras com malhas maior ou igual 2,38mm. Portanto as cinzas com granulometria maior que 2,38mm foram descartadas devido a alto teor de carvão não queimado.

Fluorescência de raios x

A composição química da cinza de carvão mineral foi determinada através de FRX e a Figura 3 mostra os resultados obtidos.

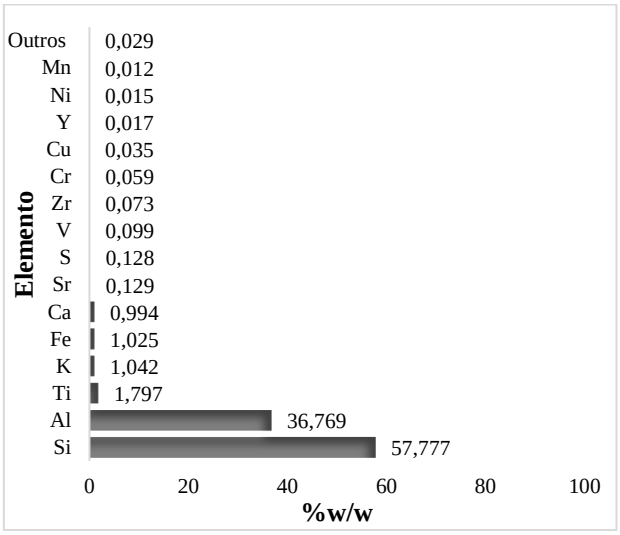


Figura 3 – Composição química da cinza obtida a partir de FRX.

A partir destes resultados, observa se que SiO2 e Al2O3 são principais constituintes da cinza analisada, os dois constituintes totalizam 94,5% da composição da cinza, esta quantidade está próxima a quantidade encontrada pelos Chang e Shih (1998), SiO2 + Al2O3 = 93,65%. Porém muitos autores relatam uma quantidade de SiO2 e Al2O3 < 90% (Molina e Poole, 2004; Park e Choi, 1995; Zen, 2016), estes componentes (SiO2 e Al2O3) são constituintes principais da estrutura das zeólitas. O teor de óxido de ferro é menor que 1,1% esta composição é menor que encontrado pelos Querol et al. (2001); Lee et al. (2003) ; Matsinhe (2017), sendo este último trabalhou com cinzas pesadas e restantes com cinzas volantes. Segundo Querol et al. (2002) o oxido de ferro constitui uma fase não reactiva para síntese de zeólita, portanto, menor quantidade de óxido de ferro beneficia a síntese de zeólitas.

A razão molar de silício-alumínio, Si/Al = 1,50, esta razão está dentro de intervalo de razão molar encontrado pelos autores Zen (2016), Hui e Chao (2006), Vollmann (2016) , Izidoro (2013) , Chigondo et al. (2013) e (Koshlak (2023) que sintetizam vários tipos de zeólitas tais como 4A, X, P, Sodalita, entre outros. Portanto esta cinza apresenta uma boa relação silício-alumino que nos permitem a sua aplicabilidade como matéria prima para síntese de zeólita de baixa sílica. Segundo Querol et al. (2002) uma das limitações de zeólitas na sua aplicação como adsorção de catiões de águas resíduas é presença de elemento tais como Mo, As, Cr, V, no entanto, o resultado de FRX mostra que o somatório das composições em termo mássico desses elementos da amostra de cinza analisada é menor que 0.65%.

Percentagem de remoção de Cu^{2+}

A Figura 4 apresenta os resultados do teste de remoção de iões de cobre, desta vê se que a zeólita A1 apresenta maior percentagem de remoção, isto é, maior capacidade de troca iónica e a zeólita A3 é de menor capacidade de troca iónica.

Efeito da temperatura e tempo de síntese: Da Figura 4 as zeólitas sintetizadas a 100º C tem maiores taxas de remoção, este facto está relacionado ao tipo de zeólita sintetizada, o que significa que a temperatura 100º C favorece a formação de zeólitas com maior capacidade de troca iónica, como zeólita A, X, P1. Segundo Chen et al. (1993) as taxas de nucleação e cristalização de Zeolite A aumentam como o aumento da temperatura, no entanto, esse aumento deve ser dentro de um intervalo, uma vez que segundo Andrades (2018) certas zeólitas são sintetizadas em faixa especifica de temperatura. A zeólita A2 apesar de ter sido sintetizada a 100º C ela possui uma taxa de remoção de iões de cobre menor que A1, isto deve a diferença de tempo de síntese. uma vez que a zeólita A2 teve um tempo longo de síntese que A1 pode ser que algumas fases desta zeólita, como zeólita A ou zeólita X, converteram-se em zeólitas mais estáveis e isto esta em conformidade com regra de Ostwald citado pelo (Souza, 2021).

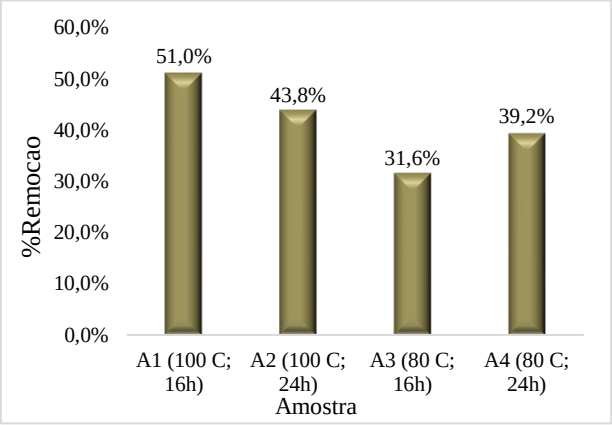


Figura 4 – Percentagem de remoção de Cu2+ em função do tipo da amostra.

Zeólitas A3 e A4 aprestaram menores percentagem de remoção de iões de cobre em relação a A1 e A2, com isto pode se dizer que a temperatura de 80º C, tem menor efeito de dissolução dos compostos obtidos depois da fusão de cinza misturada com NaOH. contudo, a zeólita A4 apresenta maior percentagem de remoção em comparação com A3, a partir desta observação pode se dizer que a dissolução dos reagentes é muito lenta a esta temperatura, portanto necessitando longo de reacção. Estes resultados podem ser comparados aos de Chang e Shih (2000) que sintetizou misturas de zeólitas A e X com o tempo de síntese de 3 dias a temperatura de 60ºC.

Isoterma de adsorção

A zeólita A1 foi usada para proceder com estudo de adsorção, esta escolha foi baseada na percentagem de remoção de iões de cobre. A curva de isoterma de adsorção referente à remoção de iões de cobre esta apresentada na Figura 5.

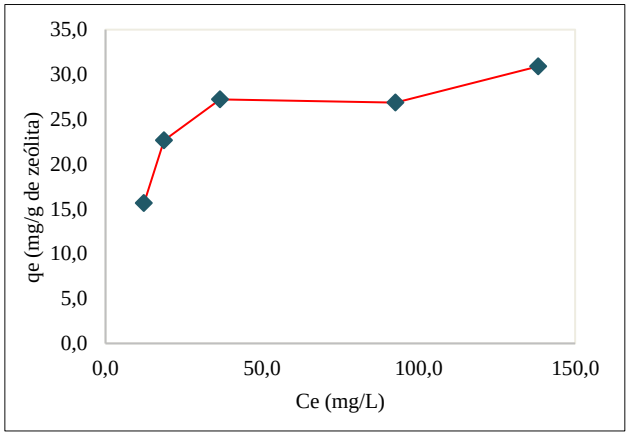


Figura 5 – Isotermas de adsorção de iões de cobre em zeólitas A1.

A Figura 6 e Figura 7 apresentam a linearização dos dados usando modelo de Langmui e Freundlich, respectivamente. Dos coeficientes de correlação vê que os dados se adequam mais ao medelo de Langmuir que o de Freundlich.

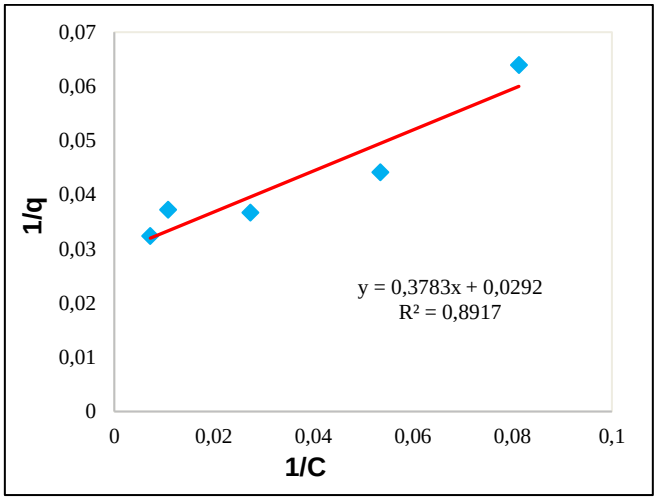


Figura 6 – Linearização dos dados experimentais usando o modelo de Langmuir.

A adsorção de iões por zeólitas é feita através de troca iónica (Aguiar e Novaes, 2002), portanto espera-se os dados se adequem ao modelo de langmuir, uma vez que esse modelo parte do princípio de que existe um número de sítios limitados para adsorção, e também considera

inexistência de sobreposição de camadas. No entanto, o valor de R^2 apresentado pelo modelo de Langmuir tem um desvio considerável, cerca de 0,11, esse desvio atribui-se a existência de misturas de zeólitas.

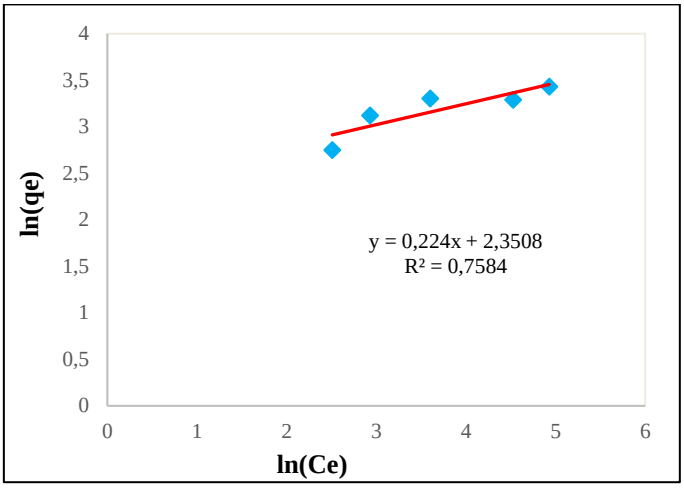


Figura 7 – Linearização dos dados experimentais usando o modelo de Freundlich.

As constantes de Langmuir (Tabela 10) são menores que encontradas pelo Andrades (2018)que teve 65mg/g e 1,287g/L e Lee et al. (2003) que teve capacidade máxima de adsorção de 50,8gmg/g a pH= 5.5. Essa diferença deve estar relacionada ao tipo de zeólita e as condições de adsorção. Andrades (2018) empregou uma mistura de zeólitas A e SOD, porém, não está especificada as condições de adsorção e também o autor defende que a remoção de iões pode ter sido influenciada, em parte, pela precipitação de iões de cobre. Lee et al. (2003) empregou uma mistura de zeólitas (faujasita, analcima, SOD, NaP1, Cancrinita) e as condições de adsorção foram: pH= 5.5 (próximo ao valor utilizado neste trabalho 4.8 a 5.2) e temperatura ambiente, porém, o coeficiente de correlacao foi de 0.688. Wang et al. (2003) empregou uma mistura de zeólitas (NaP1, analcima e chabasita) e obteve a capacidade de adsorção de 9,95mg/g, e condições de adsorção foram: pH = 7 e temperatura ambiente. Portanto, baixa capacidade em relação ao Lee et al. (2003) e Andrades (2018) pode ser atribuída a existência de zeólitas do tipo SOD e valores de pH baixos. Alta capacidade de adsorção em relação ao Wang et al. (2003) pode ser atribuída ao tipo de zeólita, uma vez que a mistura de zeólitas empregada por este autor não continha as zeólitas de maior capacidade de troca iónica, como Zeólita A e Zeólita do tipo faujasita.

Tabela 10 - Constantes de Langmuir.

Amostra	qmáx (mg/g)	KL (g/L)	R2
Langmuir	34.247	0.01105	0.892

Um outro factor que pode ter influenciado a capacidade de adsorção é o método usado para medir a concentração, pois, dos trabalhos mencionados a medição da concentração foi feita através espectrofotómetro de absorção atómica, ao passo que neste trabalho foi empregue espectrofotómetro UV-VIS por se tratar de um equipamento que mede a concentração através da absorbância, a existência de substâncias que podem absorver a luz no mesmo comprimento de onda interferem na medição de absorvância assim fornecendo altos valores de absorbância.

Como pode ser visto que a capacidade de adsorção esta relacionada ao tipo de zeólitas e as condições de adsorção. Apesar de não ter sido feito DRX, pode se dizer que o tipo de zeólita

sintetizado não é puramente A, ou X, mas sim, uma misturas de zeólitas de baixa sílicas (A, X, P1, Chabasita, SOD).

Cinética de adsorção

A curva referente a quantidade adsorvida em função de tempo de contacto está apresentada na Figura 8. Do gráfico observa se que no intervalo de 80 a 100min a quantidade adsorvida em função do tempo é quase constante, isso quer dizer que em 100min o equilíbrio é atingido. Esses resultados são semelhantes com os do Lee et al. (2003) em que o equilíbrio foi atingido em 2 horas.

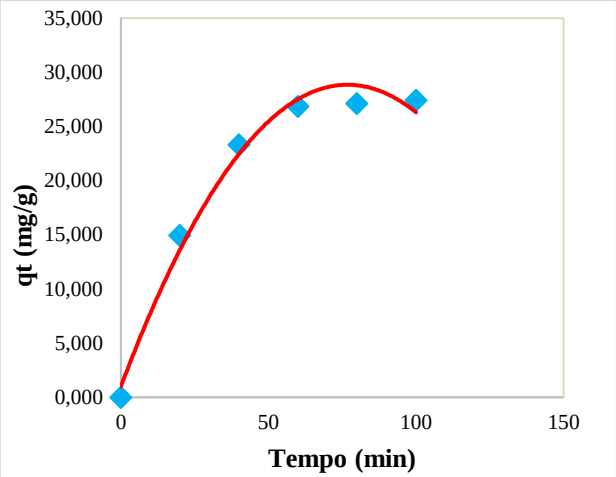


Figura 8 – Quantidade adsorvida em função do tempo de contacto.

Os dados foram linearizados usados os modelos cinéticos de pseudo primeira ordem (Figura 9) e modelo pseudo segunda ordem (Figura 10), e os parâmetros desses modelos estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 11 – As constantes dos modelos pseudo primeira ordem e pseudo segunda ordem.

	Pseudo primeira ordem				Pseudo segunda ordem			
Amostra	K	qe cal.	qe expe.	R2	K	qe cal.	qe exp.	R2
A1	0.067	47.82	27.42	0.969	0.0014	34.13	27.42	0.984

O modelo cinético pseudo segunda ordem descreve melhor a cinética de adsorção desta amostra, A1, visto que os valores de coeficiente de correlação (**Error! Reference source not found.**) fornecidos pelo modelo pseudo segunda ordem são superiores em relação aos fornecidos pelo modelo pseudo primeira ordem (a Figura 9 e Figura 10 mostram os dados linearizados usando modelos pseudo primeira e segunda ordem), além disso as capacidades de adsorção no equilíbrio calculados são próximas as capacidades experimentais. Portanto, o tipo de adsorção é adsorção química, pois acordo com Ho e Mckay (2000) este modelo descreve bem o processo de adsorção química, envolvendo a troca ou a doação de electrões entre o adsorvato e o adsorvente, como forças covalentes e de troca iônica.

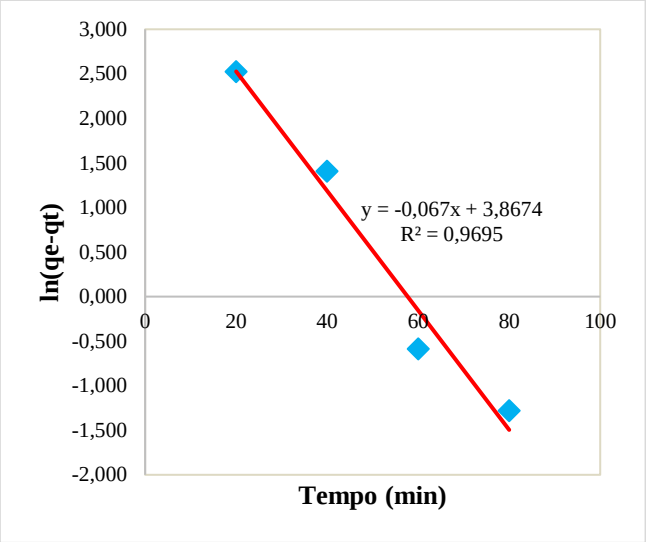


Figura 9 – Modelo cinético de pseudo primeira ordem para zeólita A1.

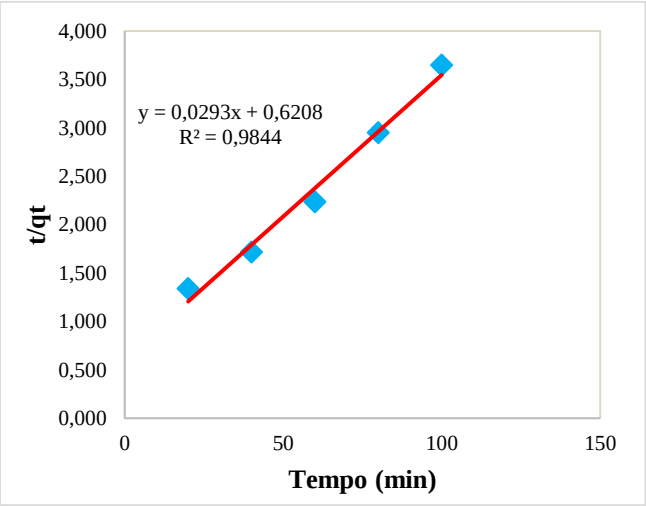


Figura 10 – Modelo cinético de pseudo segunda ordem para zeólita A1.

CONCLUSÕES

A cinza empegada como matéria-prima para síntese de zeólitas deve ser precedida por uma operação unitária que permita separar o carvão da cinza, portanto não é possível o uso desta cinza na sua totalidade. E a analise granulométrica permitiu concluir que esta cinza se trata de mistura de cinzas volantes, cinzas pesadas e escórias, sendo cerca de 10% cinzas volante e 90% cinzas pesadas e escórias;

Dos resultados de fluorescência de raio x, verificou-se que o teor de SiO2 e Al2O3 é, extremamente, elevado, mais de 94% da cinza é composta por SiO2 e Al2O3, e também razão molar Si/Al = 1,5, com isso, pode se dizer que esta cinza é ideal para síntese de zeólita de baixa sílica (Zeólita A, X, P1, chabasita);

As zeólitas sintetizadas a temperatura de 100º e tempo de síntese de 16h apresentam maiores percentagens de remoção, portanto, estas condições de síntese têm maior efeito na dissolução das fases obtidas após a fusão de cinzas com NaOH, consequentemente maior rendimento. O

tempo de síntese maior que 16 horas leva a diminuição da capacidade de troca iónica, e a temperatura de 80º C tem menor efeito na dissolução dos compostos obtidos após a fusão. Portanto, zeolitização é mais rápida a 100º C, assim a esta temperatura quando o tempo for maior que 16 horas as zeólitas instáveis se transforma em outras zeólitas mais estáveis.

O modelo de isoterma de adsorção que melhor descreveu a remoção de iões de cobre foi de Langmuir com R2 = 0,892, o pequeno desvio atribui-se a existência de misturas de zeólitas. A capacidade máxima de adsorção foi de 34,24 mg/g da zeólita A1 e em 100min o equilíbrio foi atingido, o que mostra que este adsorvente pode ser empregue para tratamento de águas contaminadas por iões de cobre.

E o modelo cinético pseudo segunda ordem descreve melhor a cinética de adsorção, pois os qe's calculados aproximam mais aos qe's experimentais, portanto, o tipo de adsorção é quimissorção.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar, M. R. M. de, & Novaes, A. C. (2002). Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. Quim. Nova, 25(6B), 1145–1154.

Andrades, R. C. (2018). Síntese de zeólita A e aplicação em adsorção em metais pesados. Universidade de São Paulo.

Aquino, T. F. de. (2018). Síntese de zeólitas do tipo x a partir de cinzas volantes e de fundo de carvão mineral para a captura de co2. Universidade Federal de Santa Catarina.

Cabral, R. P. B. (2003). "Síntese e caracterização de catalisadores de ferro e rutênio suportado na zeólita beta." Universidade Federal de Campina Grande.

Chang, H. L., & Shih, W. H. (2000). Synthesis of zeolites A and X from fly ashes and their ion-exchange behavior with cobalt ions. Industrial and Engineering Chemistry Research, 39(11), 4185–4191.

Chang, H.-L., & Shih, W.-H. (1998). A General Method for the Conversion of Fly Ash into Zeolites as Ion Exchangers for Cesium. Ind. Eng. Qui. Res., 36, 71–78.

Chen, W. H., Hu, H. C., & Lee, T. Y. (1993). Transient crystallization and crystal size distribution of zeolite A. Chemical Engineering Science, 48(21), 3683–3691.

Chigondo, M., Guyo, U., Shumba, M., Chigondo, F., Nyamunda, B., Moyo, M., & Nharingo, T. (2013). Synthesis and Characterisation of Zeolites From Coal Fly Ash (CFA). An International Journal (ESTIJ, 3(4), 2250–3498.

Ferret. (2004). zeólitas de cinzas de carvão: síntese e uso.

Ghassemi, M., Andersen, P. K., Ghassemi, A., & Chianelli, R. R. (2004). Hazardous Waste from Fossil Fuels. In Encyclopedia of Energy (Vol. 3, pp. 119–131).

Ho, Y. S., & Mckay, G. (2000). The kinetics of sorption of divalent metal ions onto sphagnum moss peat. Wat. Res., 34(3), 735–742.

Hui, K. S., & Chao, C. Y. H. (2006). Effects of step-change of synthesis temperature on synthesis of zeolite 4A from coal fly ash. Microporous and Mesoporous Materials, 88(1–3), 145–151.

IZA. (2016). Synthesis commission of the IZA (3rd ed.). https://doi.org/http://www.iza-online.org/synthesis/default.htm

Izidoro, J. de C. (2013). Síntese e caracterização de zeólita pura obtida a partir de cinzas volantes de carvão.

José, D. S., & Sampaio, C. H. (2011). Estado da arte da mineração em Moçambique: caso carvão de moatize, Tete. http://www.africatoday.com

Koshlak, H. (2023). Synthesis of Zeolites from Coal Fly Ash Using Alkaline Fusion and Its Applications in Removing Heavy Metals. Materials, 16(13).

Lacerda, L. V. (2015). Síntese e caracterização de zeólita tipo sodalita obtida a partir de cinzas volantes de carvão mineral utilizado na usina termoelétrica de Candiota-RS. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul .

Lee, M.-G., Cheon, J.-K., & Kam, S. (2003). Heavy metal adsorption characteristics of zeolite synthesized from fly ash. 9(2), 174–180.

Maesen, T., & Marcus, B. (2001). The zeolite Scene - An overview. Studies in Surface Science and Catalysis, 137, 1–9.

Matsinhe, J. V. (2017). Síntese de zeólitas do tipo faujasita a partir de cinzas pesadas de carvão mineral e aplicação na adsorção de tiofeno. Universidade Federal Santa Catarina.

Molina, A., & Poole, C. (2004). A comparative study using two methods to produce zeolites from fly ash. Minerals Engineering, 17(2), 167–173.

Park, M., & Choi, J. (1995). Ynthesis of phillipsite from fly ash. Clay Science, 9, 219–229.

Prado, P. F. (2018). Síntese de zeólitas a partir de cinzas de carvao em sistemas abertos para adsorção de manganês. Universidade Federal do Rio de Janeiro .

Qiu, W., & Zheng, Y. (2009). Removal of lead, copper, nickel, cobalt, and zinc from water by a cancrinite-type zeolite synthesized from fly ash. Chemical Engineering Journal, 145(3), 483–488.

Querol, X., Moreno, N., Umaña, J. C., Alastuey, A., Hernández, E., López-Soler, A., & Plana, F. (2002). Synthesis of zeolites from coal fly ash: an overview. International Journal of Coal Geology, 50, 413–423.

Querol, X., Umana, J. C., Plana, F., Alastuey, A., Lopez-Soler, A., Medinaceli, A., Valero, A., Domingo, M. J., & Garcia-Rojo, E. (2001). Synthesis of zeolites from fly ash at pilot plant scale. Examples of potential applications. Fuel , 80, 857–865.

Souza, G. S. de. (2021). Desenvolvimento de compósito zeólita Na-LTA/polidimetilsiloxano aplicado para separação CO2/N2 por adsorção. Universidade Federal de Santa Catarina.

Vollmann, K. (2016). Obtenção de zeólita 4a a partir de caulim proveniente da região do juazeirinho (paraíba) e aplicação na remoção de arsênio de soluções aquosas. Universidade Federal de Santa Catarina.

Wang, Y., Hesheng, C., & Querol, X. (2003). SCIENCE IN CHINA (Series D) Synthesis of zeolites using fly ash and their application in removing heavy metals from waters (Vol. 46, Issue 9).

Zen, B. P. (2016). Síntese de zeólitas a partir de cinzas de carvão e aplicação como adsorventes. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Painel VII: Reabilitação Urbana

22186 COMPÓSITOS DE HIPS E CASCA DE AÇAÍ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS. Cirlene F. Bandeira; Izabel de O. da Mota; Bruna A. M. e Silva; Daniel dos S. Aguiar; Jorge L. Rosa; Sérgio R. Montoro. 729

22187 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO MERSOCARPO DO COCO VERDE TRATADO COM NaBH4 EM SOLUÇÃO DE NaOH. Izabel de O. da Mota; Cirlene F. Bandeira; Bruna A. M. e Silva; Daniel dos S. Aguiar; Jorge L. Rosa; Sérgio R. Montoro. 737

22197 IMPACTO DO PRÉ-CONDICIONAMENTO NA CARBONATAÇÃO A SECO DE ESCÓRIA DE FORNO DE ARCO ELÉTRICO: UM CAMINHO PARA MATERIAIS MAIS SUSTENTÁVEIS. G.B. Silva Junior; J. Castro-Gomes; Manuel Magrinho. 747

22649 À REDESCOBERTA DO EDIFICADO DA ILHA DE MOÇAMBIQUE: resultados de uma experiência coletiva de caracterização. Isequiel Alcolete; J. Mendes da Silva; Luís Lage; Lídia Catarino. 759

23463 PROPRIEDADES ESTÉTICAS E MECÂNICAS DO BETÃO BRANCO: UM NOVO PARADIGMA NA CONSTRUÇÃO. Málik Boane; Daniel Mazive; Alexandra Neves. 779

23484 REFORÇO SÍSMICO DE PILARES DE BETÃO ARMADO. Humberto Varum; Camila Carobeno; José Melo; António Arêde. 781

ARTIGO Nº22186

COMPÓSITOS DE HIPS E CASCA DE AÇAÍ: AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS E MORFOLÓGICAS

Cirlene F. Bandeira[1(*)], Izabel de O. da Mota[1], Bruna A. M. e Silva[1], Daniel dos S. Aguiar[1], Jorge L. Rosa[2], Sérgio R. Montoro[1,2]

[1]Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) – Volta Redonda, Brasil.
[2]Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba (CEETEPS)- Pindamonhangaba, Brasil.
(*) *Email:* cirlenefourquet@yahoo.com.br

RESUMO

Os compósitos de poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçados com biomassa de açaí (BA) apresentam-se como uma promissora alternativa para a produção de materiais sustentáveis. O objetivo deste trabalho é o estudo reológico de compósitos de HIPS reforçados com 5, 10, 20 e 30% (m/m) de biomassa de açaí, bem como suas características morfológicas. Apresenta-se uma abordagem baseada na reologia dos materiais e interferências decorrente da inserção de reforços para avaliação do índice de fluidez (IF) e caracterizações morfológicas via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios-X (DRX). Com isso, o IF demonstra que é viável a injeção de peças até a porcentagem de 30% de BA. O MEV permitiu verificar superfícies irregulares no reforço que aumentam o grau de ancoragem e o DRX apresentou picos cristalinos atribuídos à presença de celulose na sua composição. Sendo assim, concluí-se que os compósitos estudados, podem ser considerados uma alternativa para aplicações sustentáveis diversas na manufatura de "compósitos verdes".

***Palavras-chave**:* fluidez, MEV, DRX, injeção de peças.

ABSTRACT

High-impact polystyrene (HIPS) composites reinforced with açaí biomass (BA) are a promising alternative for the production of sustainable materials. The objective of this work is to study the rheology of HIPS composites reinforced with 5, 10, 20 and 30% (w/w) of açaí biomass, as well as their morphological characteristics. An approach based on the rheology of the materials and interferences resulting from the insertion of reinforcements is presented to evaluate the flow index (FI) and morphological characterizations via Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD). Thus, the FI demonstrates that it is feasible to inject parts up to 30% BA. The SEM allowed to verify irregular surfaces in the reinforcement that increase the degree of anchorage and the XRD showed crystalline peaks attributed to the presence of cellulose in its composition. Therefore, it was concluded that the composites studied can be considered an alternative for various sustainable applications in the manufacture of "green composites".

Keywords: fluidity, SEM, XRD, injection of parts.

INTRODUÇÃO

Após o final do século XVIII, a revolução industrial, que teve origem na Inglaterra, marcou uma transformação profunda na sociedade, alterando radicalmente os processos produtivos (Silva et al., 2023).

Sendo assim a mecanização da manufatura, em contraste com a produção manual anterior, resultou em um aumento significativo na escala de fabricação, mas também intensificou o consumo de recursos naturais (Lima, 2009, Silva et al., 2023).

Cenário esse, que foi impulsionado pela necessidade crescente de novos materiais que atendam a demanda do mercado com eficiência e qualidade, trouxe grandes avanço tecnológico e econômico para várias regiões (Carvalho, 2019, Silva, 2024, Silva et al., 2023).

Entretanto, surgiram também uma série de problemas ambientais que estão presente em todas as cadeias produtivas. Por conta desses fatores, várias processos e metodologias vêm sendo desenvolvidas no sentido de mitigar estes impactos negativos (Gonçalves, 2024).

Nesse contexto, o desenvolvimento e o uso de materiais compósitos tem crescido exponencialmente, buscando aliar melhores propriedades e responsabilidade socioambiental (Carvalho, 2019, Mulinari, 2009, Aguiar et al., 2023).

Diante da modernização tecnológica e da urgência das responsabilidades socioambientais, indústrias e grupos de pesquisa estão intensificando seus esforços na busca por inovações no desenvolvimento de novos produtos.

Como é o caso do trabalho de Gonçalves (2024) que estuda PEAD (Polietileno de Alta Densidade) reforçado com fibra de coco que, apesar de não alterar significativamente as propriedades mecânicas dos compósitos e nem o índice de fluidez do polímero, apresenta potencial sustentável, sendo economicamente viável e permitindo que o mesmo tenha aplicabilidade em vários seguimentos.

Pereira (2016) estudou compósitos de HIPS (Poliestileno de alta densidade) reforçados com fibra da casca do coco verde para uso em peças automobilística com melhores resistência ao impacto, mas com bom índice de fluidez para as peças com 10% de reforço.

Além desses, Silva (2024) estudou compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da castanha do brasil com melhora nas propriedades mecânicas e térmicas.

Mediante o que foi dito, é possível observar que uma das estratégias cruciais para mitigar o descarte precoce de produtos e, consequentemente, reduzir o impacto ambiental, é o aumento da qualidade dos materiais utilizados em sua produção. Isso implica em desenvolver materiais com maior resistência e durabilidade, sem comprometer a funcionalidade do produto final (Costa, 2018, Custódio, Junqueira, Manrique, 2024, Silva, 2024).

A utilização de polímeros com fibras naturais exemplifica essa abordagem, oferecendo benefícios ambientais significativos e proporcionando maior vida útil e eficiência aos materiais (Cinquetti, 2004). Essa vertente de pesquisa e desenvolvimento se alinha à crescente demanda por uma economia circular, onde os resíduos são vistos como recursos e não como lixo (Custódio, Junqueira, Manrique, 2024).

Tendo foco na redução de custos e de impactos ambientais, materiais a partir de matérias-primas renováveis, têm ganhado destaque no mercado. Isso se reflete no crescente interesse em desenvolver compósitos reforçados (Custódio, Junqueira, Manrique, 2024, Gonçalves, 2024).

Os “compósitos verdes” têm se tornado uma alternativa viável na confecção de produtos comerciais, contribuindo na geração de renda e na redução do impacto ambiental atribuídos a agroindústria. Nestes compósitos, pelo menos um dos componentes tem de ser de origem renovável (Costa, 2018).

Estes reforços renováveis, apresenta inúmeras vantagens frente aos reforços sintéticos tais como a toxicidade, biodegradabilidade, baixa densidade, abrasividade e baixo custo (Aguiar et al., 2023, Silva et al., 2023).

No Brasil, o crescimento no consumo de açaí tem gerado uma quantidade considerável de resíduos de sua casca, um subproduto que antes era majoritariamente descartado. O avanço das tecnologias de combinação de polímeros com fibras naturais abre portas para o tratamento desses resíduos, permitindo que sejam transformados em fibras capazes de reforçar compósitos (RORIZ, 2012, Carvalho, 2019). Essa abordagem inovadora não só agrega valor a um material que seria descartado, mas também contribui para a redução do volume de lixo e para o desenvolvimento de cadeias produtivas mais sustentáveis (Silva et al. 2023).

Entretanto, estudos geológicos e morfológicos em compósitos se fazem necessários para melhor entender a formação, estrutura e propriedades desses materiais, além de avaliar seu comportamento em diferentes ambientes e aplicações. Esses estudos auxiliam no desenvolvimento de novos materiais compósitos com propriedades otimizadas, melhorando sua aplicação em diversas áreas, como engenharia civil, aeroespacial, automotiva e biomédica (Silva et al., 2023).

Neste contexto, o presente estudo visa investigar a influência do teor de biomassa lignocelulósica proveniente da casca do açaí nas propriedades reológicas de compósitos de HIPS (Poliestireno de Alto Impacto), através de uma análise das características reológicas e morfológicas desses compósitos, buscamos entender como a incorporação da casca de açaí afeta o comportamento de fluxo do HIPS e a microestrutura do material resultante de forma a contribuir, não apenas, com a otimização dos processos de fabricação, mas também, com o desenvolvimento de novos materiais poliméricos com menor impacto ambiental e maior sustentabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Neste trabalho, foram empregados compósitos com 5%, 10%, 20% e 30% (m/m) processados em um homogeneizador termocinético da marca Dryser (modelo MH-50H da MH Equipamentos).

Como reforço, utilizou-se a casca do fruto do açaí que é proveniente do açaizeiro (*Euterpe oleracea*) e foi coletado nas ruas de Belém do Pará, região norte do Brasil (Figura 1).

Esta palmeira tem grande importância, em termos econômicos, culturais e sociais da região amazônica (Carvalho, 2019).

O aproveitamento desta palmeira é, praticamente, integral. Utiliza-se o caule para fornecimento de palmito e na construção de casas, as raízes como vermífugo e as folhas são como cobertura de residências e na produção de artesanato (Carvalho, 2019).

Já como matriz, utilizou-se o HIPS 825 da marca Innova que apresenta temperatura de massa extrusão entre 210 e 240 °C, resistência à tração na ruptura de 527 MPa e resistência à flexão de 178 MPa (Pereira, 2016).

Após a mistura, as famílias de compósitos foram trituradas em um moinho de facas (V top Voges) e injetadas para obtenção de corpos de provas.



Figura 1. Resíduos de açaí descartados nas ruas de Belém/PA.

Metodologia

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Para a análise detalhada das amostras, empregou-se um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) LEO 1450VP. Este equipamento, dotado de um filamento de tungstênio, operou com uma tensão de aceleração de elétrons de 1,0 kV, em modo de alto vácuo (HV). As observações foram realizadas com aumentos de 500x e 1000x.

Previamente à análise, as superfícies das amostras de biomassa de açaí, foram preparadas com um revestimento de uma fina camada de ouro. Esse processo de metalização foi conduzido em um sistema BAL-TEC, modelo MED 020 Coating System, que integra o sistema de controle MCS 010 Multi Control System.

Difração de Raio X (DRX)

As amostras de açaí, foram submetidas à análise de difração de raios-X, em um difratômetro da marca Shimadzu (XRD-6100), operando com radiação Cu-Kα. A varredura foi realizada a uma velocidade de $2°(2\theta).min^{-1}$, abrangendo o intervalo de 0° a 40°.

Utilizou-se, neste caso, o método de Segal para avaliar a celulose. Este método empírico, considerou a razão entre as alturas dos picos do plano cristalino de maior intensidade ($2\theta = 22{,}6^{o}$) e o vale amorfo de menor intensidade que pode ser encontrado entre $18^{o} \leq 2\theta \leq 19^{o}$ para as celuloses tipo I (in natura) (Dahlem Jr., 2021).

Determinação do índice de fluidez

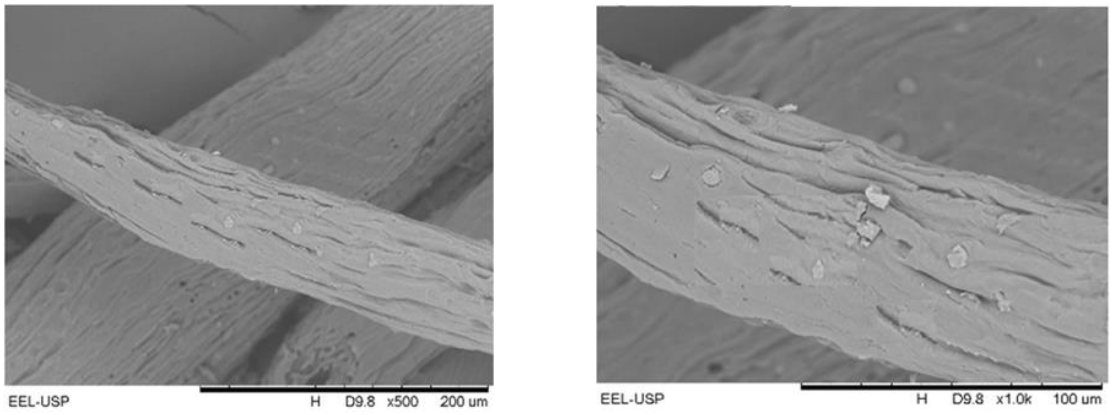
Os índices de fluidez foram realizados em um aparelho da marca CEAST e se baseou na norma ASTM D 1238 (2013), usando-se o método A, com peso de 3,8 kg, temperatura de 230 °C e tempo de corte de 5 s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Microscópio Eletrônico de Varredura

As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram cruciais para investigação morfológica das fibras.

Ao analisar as imagens das fibras (Figura 2), pode-se observar que apesar da existência de uma camada superficial lisa decorrente do revestimento protetor (ceras, extrativos e de componentes amorfos - hemicelulose e lignina), há pontos de ancoragem na superfície.



A1 A2

Figura 2. MEV da biomassa de açaí com: (A1) 500x e (A2) 1000x de aumento.

Difração de Raio X (DRX)

Os difratogramas de raios-X da biomassa de açaí (Figura 3), mostram picos bem definidos em aproximadamente 18,5º e 22,6º que são característicos de celulose tipo I (Dahlem Jr., 2021).

Nesta amostra, observa-se a predominância de estruturas amorfas na região analisada (0º a 40º) resultantes da presença de hemicelulose e lignina presentes na composição da casca de açaí, dando predominância a estruturas amorfas e não as cristalinas (Gallindo et al., 2019, Gonçalves, 2014).

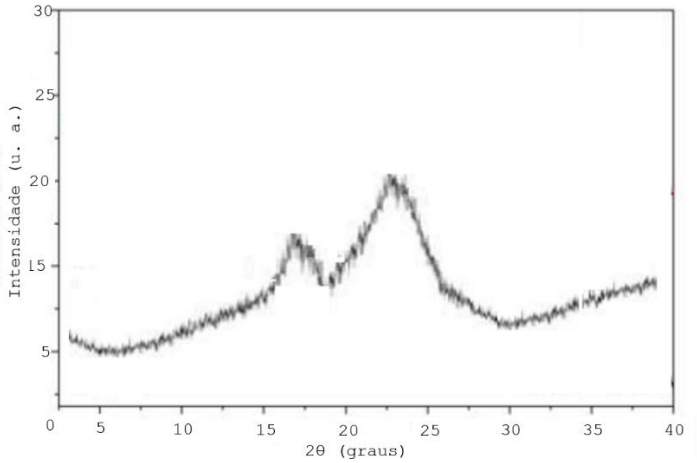


Figura 3. Difratograma de raios-X das amostras de açaí.

Determinação do índice de fluidez

Os índices de fluidez dos compósitos com adição de 5%, 10%, 20% e 30% biomassa da casca do açaí (Tabela 1) não provocaram alterações significativas no IF se comparados ao do

HIPS puro, sendo possível manter sua utilização, mesmo inserindo até porcentagem de 30% de reforço.

Tabela 1. Índice de fluidez do HIPS e das famílias de compósitos.

Amostras	IF ($g.10min^{-1}$)
HIPS puro	14,7 ± 3,0
HIPS + 5 % casca de açaí	16,9 ± 3,1
HIPS + 10 % casca de açaí	17,2 ± 2,9
HIPS + 20 % casca de açaí	17,6 ± 3,1
HIPS + 30 % casca de açaí	15,5 ± 3,2

CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou o potencial dos compósitos de poliestireno de alto impacto (HIPS) reforçados com biomassa de açaí (BA) como uma alternativa promissora para o desenvolvimento de materiais sustentáveis. A investigação reológica, focada no índice de fluidez (IF), em conjunto com as caracterizações morfológicas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios-X (DRX), forneceu *insights* valiosos sobre o comportamento desses materiais.

Os resultados indicaram que as incorporações da biomassa de açaí, mesmo em concentrações de até 30% (m/m), não comprometem significativamente o índice de fluidez do HIPS, o que sugere a viabilidade da injeção de peças com essas formulações.

As análises por MEV revelaram superfícies irregulares na biomassa de açaí, o que é um fator positivo, pois tende a aumentar o grau de ancoragem e a interação interfacial entre a matriz polimérica e o reforço.

Complementarmente, a DRX confirmou a presença de picos cristalinos atribuídos à celulose na composição da biomassa, reforçando sua natureza lignocelulósica.

Em suma, os compósitos de HIPS/BA investigados neste trabalho apresentam características que os qualificam como uma opção sustentável para diversas aplicações, contribuindo para a manufatura de "compósitos verdes". A capacidade de incorporar um resíduo agroindustrial, como a casca de açaí, em um material polimérico de alto impacto, oferece uma rota para a redução de impactos ambientais e para a criação de produtos com valor agregado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Fundação Oswaldo Aranha e ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) e a empresa iTECH Analytics pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

Aguiar, D. S., Silva, B. A. M., Gonçalves, R. D., Pereira, A. C. C., Mota, I. O., Bandeira, C. F.; Rosa, J. L., Montoro, S. R. Verificação do potencial da biomassa proveniente da fibra de coco como possível reforço em compósitos poliméricos via caracterização morfológica por MEV

após tratamento alcalino na presença de NaBH4. Anais do 2º. Congresso Tudo é Ciência do UniFOA. Volta Redonda-RJ, 2023.

Cinquetti, H. S**.** Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos. https://doi.org/10.1590/0104-4060.344, 2004.

Costa, A. C. A., Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia. 81f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2018.

Carvalho, J. A. L. Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí: Obtenção e caracterização. 103f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

Custódio, M. M., Junqueira, J. C., Manrique, J. I. T. Resíduo zero para a economia circular: a importância dos municípios e de suas políticas públicas de economia circular. https://doi.org/10.18623/rvd.v21.2656-ptbr.

Dahlem Jr., M. A., avaliação do tratamento com líquido iônico em diferentes rotas de obtenção de nanocelulose a partir de resíduos de erva-mate. 111f. Mestrado - UFRGS, Porto Alegre, 2021.

Gallindo, A. A. S., Lima, E. G., Barros, S. R. R. C., Galdino, P. O., Rodrigues. M. G. F. Avaliação da composição da casca de coco verde in natura e pós-tratamento químico como biomassa adsorvente. Anais do IV Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências – Campina Grande - PB, 2019.

Gonçalves, F. A.; Ruiz, H. A.; Nogueira, C. C.; Santos, E. S.; Teixeira, J. A.; Macedo, G. R. Comparison of delignified coconuts waste and cactos for fuel-ethanol production by the simultaneous and semi-simultaneous saccharification and fermentation strategies. Fuel, v. 131, p. 66-76, 2014.

Gonçalves, R. D., Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos de PEAD reforçados com fibras de coco: comparação entre fibras in natura e após tratamento alcalino na presença de borohidreto de sódio - $NaBH_4$. 65f. Mestrado - UniFOA - UniFOA, Volta Redonda, 2024.

Lima, A. C. Caracterização e propriedades de compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno reciclado. 113f. Mestrado - UENF, Campos dos Goytacazes, 2019.

Mulinari, D. R. Comportamento térmico, mecânico e morfológico dos compósitos de polietileno de alta densidade reforçados com fibras de celulose do bagaço de cana de açucar. 112f. Doutorado - UNESP, Guaratinguetá, 2009.

Pereira, G. C., Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana de açúcar para possível aplicação na indústria de pet shop. 53f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2016.

Silva, B. A. M., Aguiar, D. S., Mota, I. O., Bandeira, C. F.; Montoro, S. R. Avaliação das características reológicas de compósitos de matriz termoplástica de HIPS reforçados com biomassa lignocelulósica proveniente da casca do açaí. Anais do 2º. Congresso Tudo é Ciência do UniFOA. Volta Redonda-RJ, 2023.

Silva, J. O., Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da *Bertholletia excelsa*. 58f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2024.

ARTIGO Nº22187

CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DO MERSOCARPO DO COCO VERDE TRATADO COM $NaBH_4$ EM SOLUÇÃO DE NaOH

Izabel de O. da Mota[1(*)], Cirlene F. Bandeira[1], Bruna A. M. e Silva[1], Daniel dos S. Aguiar[1], Jorge L. Rosa[2], Sérgio R. Montoro[1,2]

[1]Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) – Volta Redonda, Brasil.
[2]Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba (CEETEPS)- Pindamonhangaba, Brasil.
(*) *Email:* cirlenefourquet@yahoo.com.br

RESUMO

A biomassa do coco verde tem despertado interesse como alternativa sustentável para reforço em compósitos poliméricos, devido à sua ampla disponibilidade e propriedades naturais. Este estudo tem como objetivo analisar as alterações morfológicas dessa biomassa antes e após tratamento alcalino com NaBH4, utilizando técnicas avançadas como Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Difração de Raios-X (DRX). As amostras, após o tratamento alcalino, apresentaram perda de massa decorrente da retirada de materiais lignocelulósicos, comprovando que o processo foi efetivo, resultando em fibras com maior rugosidade superficial, potencial de adesão aprimorado e menor tendência a vazios e *pull-out*. Além disso, o aumento dos picos cristalinos observados por DRX confirma a maior presença de celulose nas fibras tratadas. Com isso, conclui-se que a biomassa do coco verde tratada pode ser uma alternativa viável e eficiente para aplicações em compósitos poliméricos sustentáveis.

***Palavras-chave**:* reforço, MEV, DRX, material lignocelulósico.

ABSTRACT

Green coconut biomass has attracted interest as a sustainable alternative for reinforcement in polymer composites, due to its wide availability and natural properties. This study aims to analyze the morphological changes of this biomass before and after alkaline treatment with $NaBH_4$, using advanced techniques such as Scanning Electron Microscopy (SEM) and X-ray Diffraction (XRD). After alkaline treatment, the samples showed mass loss due to the removal of lignocellulosic materials, proving that the process was effective, resulting in fibers with greater surface roughness, improved adhesion potential, and less tendency to voids and pull-out. In addition, the increase in crystalline peaks observed by XRD confirms the greater presence of cellulose in the treated fibers. Thus, it is concluded that treated green coconut biomass can be a viable and efficient alternative for applications in sustainable polymer composites.

Keywords: reinforcement, SEM, XRD, lignocellulosic material.

INTRODUÇÃO

Com a crescente busca por soluções sustentáveis, a necessidade de materiais menos poluentes e a reciclagem têm impulsionado a pesquisa em tecnologias limpas, com foco em fontes renováveis. Nesse cenário, as fibras lignocelulósicas ganham destaque devido às suas inúmeras vantagens, como baixa densidade e abrasividade, biodegradabilidade e custo atrativo (Aguiar et al., 2023, Bandeira, 2015).

Diversos estudos têm explorado o tratamento dessas fibras para otimizar suas propriedades como reforço, como evidenciado pelos trabalhos de Costa (2018) com biomassa de macadâmia que demonstram que esta fibra, quando acrescida à resina benzoxazina não afeta suas propriedades térmicas, podendo ser utilizada para fabricação compósitos.

Carvalho (2019) e Rosa (2019) usaram fibras de açaí. O primeiro utilizou resina benzoxazina que apresentou resultados favoráveis, nos quais as temperaturas de degradação não sofrem modificações acentuadas e as transições vítreas aumentam com o acréscimo de fibras. Com isso, diminuindo a quantidade de matriz polimérica, o custo da peça final e contribuindo com o meio ambiente. Já Rosa manufaturou um compósito cuja matriz era de polietileno de alta densidade. Neste, foi observado que, com o aumento da biomassa, ocorreu um aumento na massa especifica dos compósitos, redução da resistência máxima à tração e diminuição da resistência térmica que, no entanto, não afeta seu uso como um material com até 30% menos polímero.

Além destes, Silva (2024) produziu compósitos com fibras da casca da castanha do brasil que apresentaram aumento do módulo elástico e da tensão de escoamento com o aumento do percentual de biomassa em comparação ao polímero puro, contribuindo para a diminuição do uso de material de origem no petróleo e reduzirão descarte de resíduos da agroindústria.

No entanto, a procura por novos materiais que atendam a essa demanda e contribuam para a redução do impacto ambiental da agroindústria é contínua (Aguiar et al., 2023, Gonçalves, 2024).

A utilização de fibras naturais como alternativa às sintéticas em produtos comerciais, não só gera valor econômico, mas também mitiga o impacto ambiental da produção e descarte de bens de consumo, aproveitando o vasto potencial agrícola brasileiro (Carvalho, 2019, Costa, 2018).

Embora as fibras vegetais apresentem vantagens como baixo custo, baixa densidade, biodegradabilidade, baixa abrasividade e não toxicidade (Benini, 2011), elas também possuem desvantagens em comparação às fibras sintéticas. Um dos desafios reconhecidos no uso de fibras lignocelulósicas é a dificuldade de compatibilização com matrizes poliméricas hidrofóbicas, além da tendência de formarem aglomerados durante o processamento (Costa, 2018).

Para superar esses desafios, tratamentos químicos superficiais são essenciais, visando melhorar a adesão fibra/matriz e alterar características como hidrofilicidade e rugosidade superficial, visto que as fibras naturais contêm muitos grupos hidroxila que conferem alta hidrofilicidade (Brigida et al., 2010, Carvalho, 2019, Gonçalves et al., 2014, Pereira, 2016).

Entre os tratamentos, a mercerização, também conhecida como tratamento alcalino, é, provavelmente, a técnica de modificação de fibras naturais mais difundida. Ela atua na limpeza da superfície da fibra, removendo constituintes amorfos e aumentando a rugosidade (Albinante, Pacheco, Visconte, 2013, Pereira, 2016, Razera, 2006, Troedec et al., 2008), enquanto o branqueamento eleva a alvura e, principalmente, remove a lignina residual, essencial para a transferência de carga em compósitos (Arantes et al., 2021, Gonçalves, 2024, Saha et al., 2010).

Como as biomassas lignocelulósicas não formam ligações químicas diretas com a matriz polimérica, tratamentos superficiais são fundamentais para otimizar a adesão interfacial (Aguiar et al., 2023).

O tratamento alcalino com hidróxido de sódio (NaOH), um dos mais comuns, rompe ligações de hidrogênio e aumenta a rugosidade, mas pode diminuir a resistência mecânica da

fibra se for muito severo (Moraes, 2010). Contudo, a adição de agentes redutores como o boroidreto de sódio ($NaBH_4$) pode prevenir a degradação da estrutura da celulose (Aguiar et al., 2023).

Esse processo de "quebra-e-reinteração" de ligações expõe grupos que antes eram de difícil acesso a agentes químicos, tornando-os disponíveis para formar ligações de hidrogênio inter e intramoleculares. Consequentemente, após o tratamento alcalino, as fibras apresentam uma maior área de contato, o que melhora significativamente sua interação com outros materiais e sua capacidade de reforço em compósitos (Gonçalves, 2024).

A literatura indica que tratamentos com 5% de NaOH e 1% de NaBH4 são eficazes na redução da composição amorfa e no aumento da cristalina (Albinante, Pacheco, Visconte, 2013, Arantes et al., 2021, Merlini et al., 2012).

Diante desse contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo analisar as alterações morfológicas dessa biomassa proveniente da fibra de coco, antes e após tratamento via solução alcalina na presença de boroidreto de sódio (NaBH4), visando sua aplicação como reforço em compósitos poliméricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais

Neste estudo, empregou-se a biomassa extraída do mesocarpo e epicarpo do coco (*Cocos nucifera* L.). Esse material foi coletado nas ruas de Volta Redonda, Rio de Janeiro, originário dos descartes de quiosques que comercializam água de coco. A palmeira de coco (*Cocos nucifera* L.) é amplamente encontrada em todo o litoral brasileiro, com a região Sudeste figurando como um grande polo consumidor. Especificamente, cidades como o Rio de Janeiro e seus arredores são abastecidas por plantações localizadas em Itaguaí, no mesmo estado.

Além disso utilizou-se borohidreto de sódio ($NaBH_4$ PA, na forma de pó com 98% de pureza) e hidróxido de sódio (NaOH PA, em lentilhas PA com 98% de pureza), ambos da marca Neon.

Metodologia

Obtenção da biomassa de coco

Para a obtenção da biomassa de coco in natura, inicialmente, os cocos foram cortados em pedaços menores. Essa etapa facilitou a separação da copra e da casca rígida, e a redução do tamanho foi realizada com uma serra de fita modelo SF1 da marca Sepeoli (Figura 1).

A seguir, a biomassa passou por um processo de limpeza manual, utilizando ferramentas simples como facas e pequenas colheres.

Após essa limpeza, o mesocarpo e o epicarpo foram submetidos à secagem em uma estufa microprocessada Quimis, modelo Q317M-33, por 72 horas a 60 ºC.

Posteriormente, as cascas secas foram moídas em uma única passagem em um moinho de facas V-top Voges, equipado com um motor trifásico de 1730 rpm da Plastmax.

Adicionalmente, o material foi triturado e peneirado. A fração que passou pela peneira de 50 mesh foi a selecionada para este trabalho.

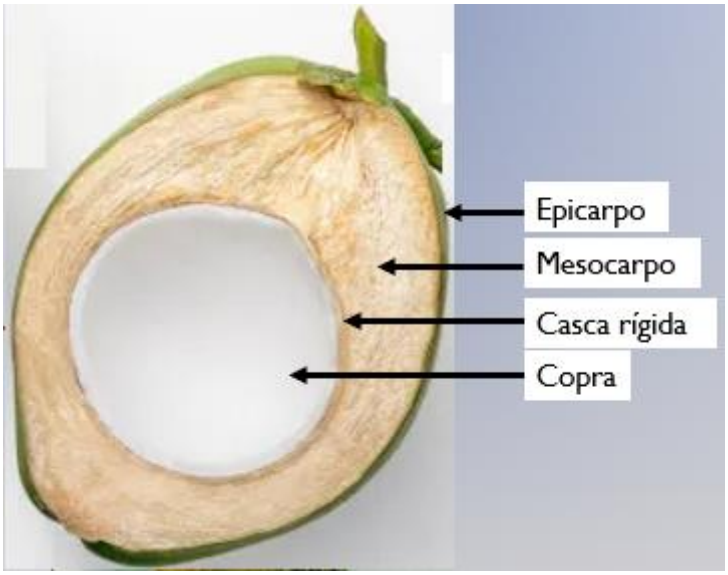


Figura 1. Seção transversal do coco verde.

Fonte: Adaptado de Pereira, Almeida, Paula, 2021

Tratamento Alcalino da Biomassa de Fibra de Coco

Para a execução do tratamento alcalino na biomassa de fibra de coco, este estudo baseou-se em metodologias previamente estabelecidas. As abordagens foram inspiradas nos trabalhos de Moraes (2009 e 2010), que detalham o tratamento superficial de fibras de sisal e nas dissertações de Gehlen (2014) e Gonçalves (2024), a qual descrevem o tratamento de fibras de açaí, curauá e coco, respectivamente.

Neste processo foram pesadas 60 g de biomassa de coco seco para o tratamento com 5% NaOH + 1% $NaBH_4$ e preparada uma solução contendo 396 g de NaOH e 79,2 g de $NaBH_4$ em 8,0 litros de água destilada.

Em seguida, 60 g da biomassa de coco foram agitadas nessa solução alcalina recém-preparada e, posteriormente, mantidas imersas por um período de 24 horas a uma temperatura de 25°C.

Concluída a fase de tratamento, a biomassa de coco foi filtrada e lavada abundantemente com água destilada.

Por fim, o material foi transferido para uma estufa com circulação de ar e seco a 60°C por 24 horas e novamente pesado.

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) - Análise

Para a execução destes ensaios foram realizados análise em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) LEO 1450VP que possui um filamento de tungstênio, com uma tensão de aceleração dos elétrons de 1,0 kV, modo de alto vácuo (HV) e aumento de 1000x e 2000x.

As superfícies das amostras de biomassa de coco *in natura* e tratadas foram revestidas por uma fina camada de ouro utilizando-se uma metalizadora, marca BAL-TEC, modelo MED 020 Coating System, provida com o sistema MCS 010 Multi Control System.

Difração de Raio X (DRX) - Análise

As amostras de coco in natura e tratadas alcalinamente foram analisadas no difratômetro de raio X da marca Shimadzu, modelo XRD-6100, com radiação Cu-Kα, varredura à velocidade de $2º(2\theta).min^{-1}$ entre 0º a 40º.

Utilizou-se, neste caso, o método de Segal para avaliar a celulose. Este método empírico, considerou a razão entre as alturas dos picos do plano cristalino de maior intensidade e o vale amorfo de menor intensidade que pode ser encontrado entre $18º \leq 2\theta \leq 19º$ e $13° \leq 2\theta \leq 15°$ para as celuloses tipo I (in natura) e II (após tratamento) respectivamente (Dahlem Jr., 2021).

O índice de cristalinidade (ICr) foi calculado usando-se a equação 1 (Gallindo et al, 2019), no qual o índice de cristalinidade (ICr) pode ser calculado dividindo-se o resultado da subtração da intensidade do pico na posição 2θ que corresponde a intensidade máxima (Ic), em unidades arbitrárias, de difração da estrutura da intensidade máxima do pico 2θ que se caracteriza por ser a intensidade de difração amorfa nas mesmas unidades (Iam) pelo Ic. Para que o resultado seja percentual, o resultado do cálculo, é, então, multiplicado por 100.

$$ICr = \left(\frac{Ic - Iam}{Ic}\right) * 100 \quad (1)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tratamento alcalino da biomassa de coco

A fibra de coco tratada e seca foi pesada obtendo-se uma massa final de 47,5 g.

Ao comparar este valor com a massa inicial (60 g), verificou-se uma perda de 12,5 g ou 20,8% do total, comprovando que o tratamento foi efetivo.

Essa diminuição na massa era um resultado previsto, uma vez que o tratamento alcalino tem como efeito a remoção parcial de lignina, hemicelulose e outros componentes, como ceras e extrativos, que estão naturalmente presentes na biomassa (Gonçalves, 2024).

Além disso, o boroidreto de sódio ($NaBH_4$) foi incluído na formulação com a função específica de agente protetor, visando minimizar a degradação da fibra de coco em um ambiente aquoso e alcalino, em comparação com tratamentos que utilizam apenas NaOH sob condições similares (Moraes, 2009).

Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

As análises realizadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV) buscaram caracterizar a morfologia e o aspecto superficial das fibras, tanto em seu estado natural quanto após o tratamento químico. Além disso, o objetivo foi avaliar os efeitos do tratamento alcalino na superfície dessas fibras. As micrografias correspondentes à biomassa in natura e à tratada estão apresentadas na figura 2.

Ao observar as imagens das fibras in natura (Figuras 2 A1 e A2), notou-se a presença de uma camada superficial lisa. Essa camada é atribuída à existência de ceras, extrativos, e também aos componentes amorfos como a lignina e a hemicelulose, que revestem a fibra.

Por outro lado, após o tratamento alcalino com NaOH + $NaBH_4$ (Figuras 3 A1 e A2), as fibras mais externas exibiram uma superfície notavelmente mais rugosa, com as fibrilas visivelmente mais soltas e expostas. Essa mudança é um resultado direto da remoção da lignina. Considerando que a lignina atua como um agente ligante entre as fibrilas, sua retirada induziu um processo de fibrilação, modificando a estrutura superficial das fibras (Aguiar et al., 2023).

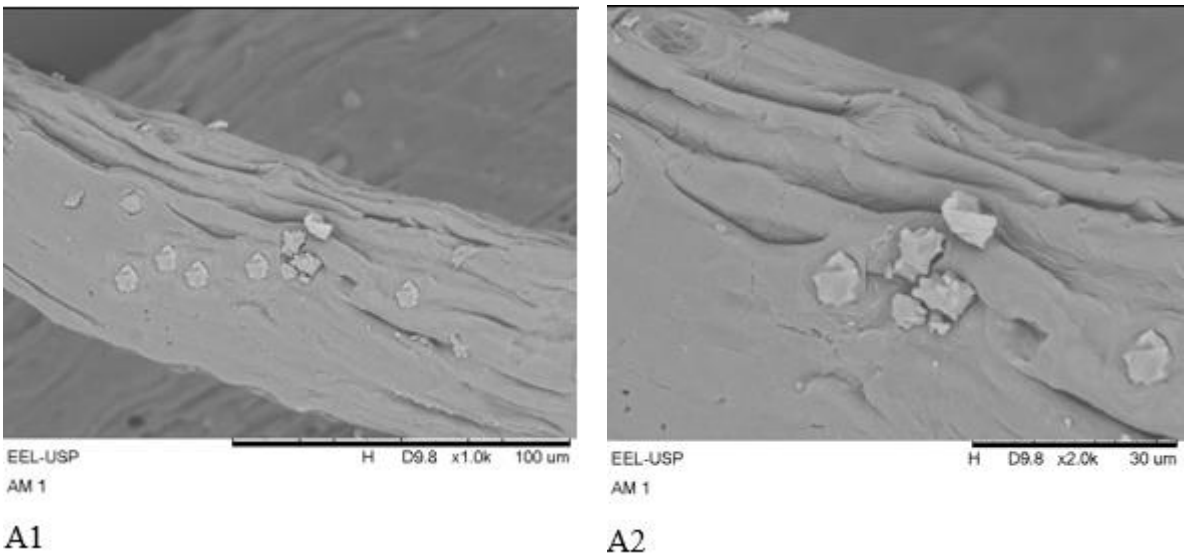


Figura 2. MEV da biomassa de coco: (A1) in natura com 1000x de aumento e (A2) in natura com aumento de 2000x.

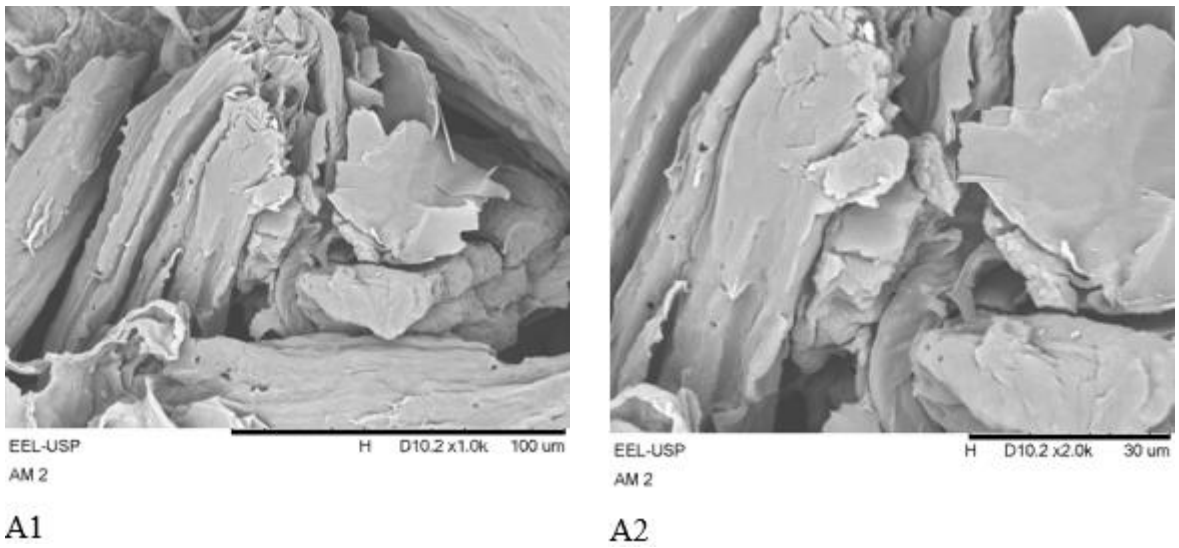


Figura 3. MEV da biomassa de coco: (A1) tratada com 1000x de aumento e (A2) tratada com aumento de 2000x.

É relevante destacar que resultados semelhantes foram observados em outros estudos. Benini (2011), Arantes et al. (2021) e Gonçalves (2024) também constataram alterações na morfologia e no aspecto superficial de fibras lignocelulósicas submetidas a tratamentos químicos como mercerização e branqueamento, que também visam a remoção da lignina.

Difração de Raio X (DRX)

Os difratogramas de raios-X da biomassa de coco verde, tanto em seu estado original (Figura 4A) quanto após o tratamento alcalino (Figura 4B), revelam informações cruciais sobre suas características estruturais.

É possível observar, que a amostra *in natura*, apresenta picos em torno de 2θ =15°, 2θ =23°e 2θ =35° que são característicos de celulose tipo I (Dahlem Jr., 2021).

Já, na amostra tratada alcalinamente, é possível observar que houve o aparecimento de picos por volta de 2θ =13º, 2θ =21º, característicos da celulose tipo II (French, 2014; Liu et al. 2015).

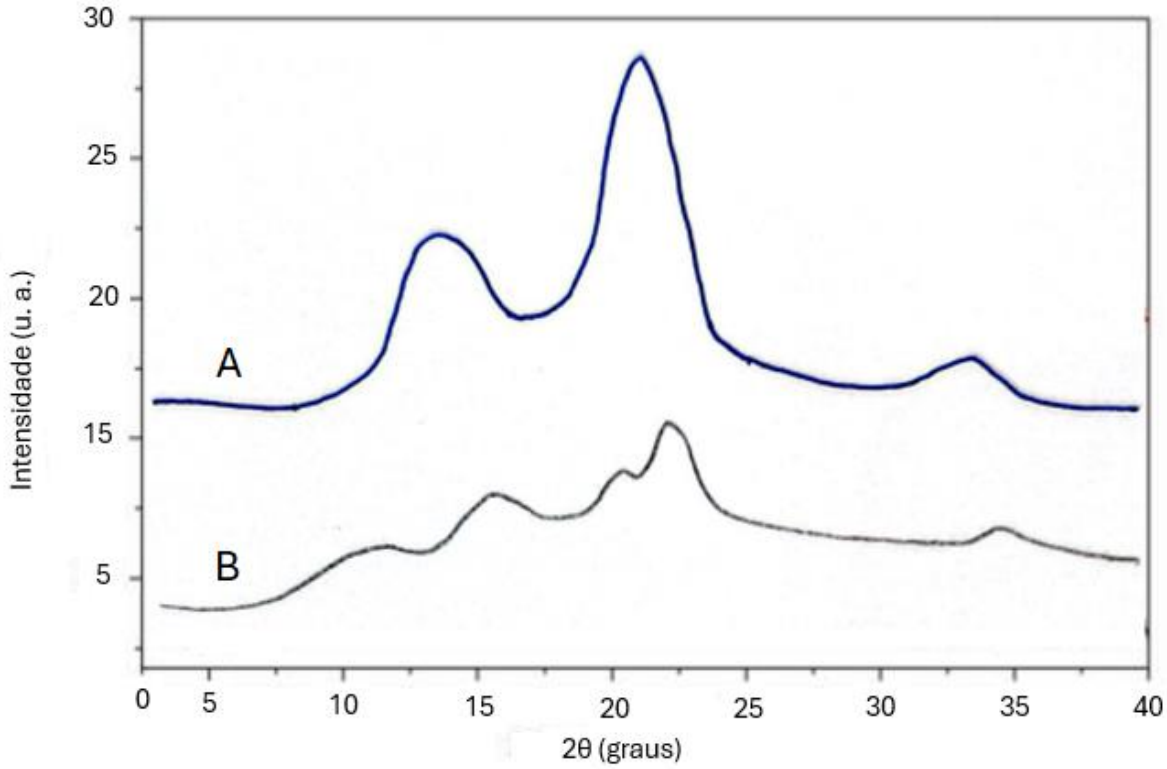


Figura 4. Difratograma de raios-X das amostras de biomassa de coco in natura (A) e sem tratamentos (B).

É possível observar que os picos da amostra *in natura* são mais intensos que o da amostra tratada. Isso ocorre pelo inchamento da celulose I que passa para celulose II. Além disso, observa-se que a celulose não sofreu mudança completa de sua estrutura pois são visíveis os picos de celulose do tipo I (Dahlem Jr., 2021; Zhang et al, 2014).

Além disso, na amostra *in natura* (Figura 4A), observa-se uma predominância de uma estrutura física amorfa na faixa de 2θ analisada (0° a 40°), com apenas um pico de intensidade máxima (em unidades arbitrárias) evidente em, aproximadamente 23°, o que está em consonância com dados reportados na literatura (Gallindo et al., 2019).

Essa característica pode ser atribuída à composição do coco verde, que é rica em lignina e hemicelulose, ambos componentes amorfos, resultando em uma maior fração amorfa em detrimento da cristalina (Gonçalves et al., 2014).

Para a amostra tratada, evidencia-se que ocorreu modificação estrutural (Figura 4B).

Para quantificar a cristalinidade, aplicou-se a Equação 1 do índice de cristalinidade (Gallindo et al, 2019), utilizando os valores de intensidade obtidos por DRX nos ângulos de 23° e 15° (Figura 4).

Os resultados, apresentados, indicam que o índice de cristalinidade foi de 71% para a amostra *in natura* e 38% para a amostra tratada (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de cristalinidade das amostras de coco in natura e tratados.

Material	ICr (%)
Biomassa de coco in natura	70,59
Biomassa de coco tratada	37,50

Essa redução no índice de cristalinidade após o tratamento é consistente com estudos anteriores e pode ser explicada pelo tratamento químico que diminui a cristalinidade do material lignocelulósico, sendo eficaz na remoção da fração de lignina (Dahlem Jr., 2021; Gallindo et al., 2019).

CONCLUSÕES

Este trabalho focou em avaliar o tratamento químico alcalino na biomassa de fibra de coco. O principal objetivo foi melhorar a compatibilidade desse material natural quando usado como agente de reforço em compósitos poliméricos.

Após a secagem e pesagem da biomassa de coco tratada, foi possível verificar a eficácia do tratamento químico pela perda de massa, que pode ser atribuída à remoção parcial de lignina, hemicelulose e outros componentes presentes na biomassa natural.

As imagens de MEV revelaram que as fibras apresentaram uma superfície mais rugosa. Essa alteração é um efeito direto da remoção da lignina. Como a lignina age como um ligante entre as fibrilas, sua retirada causou um processo de fibrilação.

No difratograma do DRX, observou-se o surgimento de picos de celulose do tipo II resultantes do o inchamento que a celulose que ocorre durante o tratamento químico.

No entanto, observa-se que a celulose não sofreu transformação completa de sua estrutura pois são visíveis os picos de celulose do tipo I.

Além disso, os picos cristalinos observados por DRX confirmam a maior presença de celulose nas fibras tratadas.

Como esperado, a amostra tratada apresenta menor ICr (38 %) que a amostra in natura (71 %).

Com isso, conclui-se que a biomassa do coco verde tratada pode ser uma alternativa viável e eficiente para aplicações em compósitos poliméricos sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Fundação Oswaldo Aranha e ao Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA) e a empresa iTECH Analytics pelo suporte técnico.

REFERÊNCIAS

Aguiar, D. S., Silva, B. A. M., Gonçalves, R. D., Pereira, A. C. C., Mota, I. O., Bandeira, C. F.; Rosa, J. L., Montoro, S. R. Verificação do potencial da biomassa proveniente da fibra de coco como possível reforço em compósitos poliméricos via caracterização morfológica por MEV após tratamento alcalino na presença de NaBH4. Anais do 2º. Congresso Tudo é Ciência do UniFOA. Volta Redonda-RJ, 2023.

Albinante, S. R., Pacheco, E. B. A., Visconte, L. L. Y. Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas. Quim. Nova, v. 36, n. 1, p. 114 – 122, 2013.

Arantes, S. P., Pereira, F. P., Pereira, A. C. C., Bandeira, C. F., Montoro, S. R. Avaliação do tratamento da biomassa de bambu via solução alcalina na presença de $NaBH_4$ para aplicação como reforço em compósitos de matrizes termoplásticas. Anais do XV Colóquio Técnico-Científico do UniFOA. Volta Redonda-RJ, 2021.

Bandeira, C. F., Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina/fibra de carbono. 201f. Doutorado - UNESP, Guaratinguetá, 2015.

Benini, k. C. C. C., Desenvolvimento e Caracterização de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Lignocelulósicas: HPIS/Fibra da Casca do Coco Verde e Bagaço de Cana de Açúcar. 125f. Mestrado - UNESP, Guaratinguetá, 2011.

Brigida, A. I. S., Calado, V. M. A., Gonçalves, L. R. B., Coelho, M. A. Z. Effect of Chemical Treatments on Properties of Green Coconut Fiber. Carbohydrate Polymers, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.

Carvalho, J. A. L., Compósitos de resina benzoxazina / biomassa extraída do resíduo da lavagem do açaí: Obtenção e caracterização. 103f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

Costa, A. C. A., Obtenção e caracterização de compósitos de benzoxazina reforçados com fibra da casca de noz-macadâmia. 81f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2018.

Dahlem Jr., M. A., avaliação do tratamento com líquido iônico em diferentes rotas de obtenção de nanocelulose a partir de resíduos de erva-mate. 111f. Mestrado - UFRGS, Porto Alegre, 2021.

French, A. D. Idealized powder diffraction patterns for cellulose polymorphs. Cellulose, v. 21, p. 885-896, 2014.

Gallindo, A. A. S., Lima, E. G., Barros, S. R. R. C., Galdino, P. O., Rodrigues. M. G. F. Avaliação da composição da casca de coco verde in natura e pós-tratamento químico como biomassa adsorvente. Anais do IV Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências – Campina Grande - PB, 2019.

Gehlen, L. R., Efeito da utilização de fibras lignocelulósicas (açaí e curauá) em compósitos com matriz de resina poliéster insaturado. 104f. Mestrado - UFPR, Curitiba, 2014.

Gonçalves, F. A.; Ruiz, H. A.; Nogueira, C. C.; Santos, E. S.; Teixeira, J. A.; Macedo, G. R. Comparison of delignified coconuts waste and cactos for fuel-ethanol production by the

simultaneous and semi-simultaneous saccharification and fermentation strategies. Fuel, v. 131, p. 66-76, 2014.

Gonçalves, R. D., Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos de PEAD reforçados com fibras de coco: comparação entre fibras in natura e após tratamento alcalino na presença de borohidreto de sódio - $NaBH_4$. 65f. Mestrado - UniFOA - UniFOA, Volta Redonda, 2024.

Liu, Z.; Sun, X.; Hao, M.; Huang, C.; Xue, Z.; Um, T. Preparation and characterization of regenerated cellulose from ionic liquid using different methods. Carbohydrate Polymers, v. 117, p. 99-105, 2015.

Merlini, C., Al–Qureshi, H. A., Salmória, G. V., Barra, G. M. O.; Pires, E. N. Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi. Polímeros, v. 22, n. 4, p. 339 – 344, 2012.

Moraes, A. G. O., Abreu, T. M., Silva, H. S. P., Sierakowski, M. R., Amico, S. C. Análise de Weibull para o caráter protetor do íon boroidreto no tratamento alcalino superficial de fibras de sisal. Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros - Foz do Iguaçu, 2009.

Moraes, A. G. O., Estudo do íon borohidreto como agente protetor no tratamento alcalino de fibras de sisal. 81f. Mestrado - UFRGN, Porto Alegue, 2010.

Pereira, G. C., Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana de açúcar para possível aplicação na indústria de pet shop. 53f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2016.

Pereira, A. A., Almeira, G. R., Paula, K. S. Análise da viabilidade da utilização da fibra de coco como biossorvente e biorremediador em acidentes com derivados de petróleo. 57f. Monografia - UniFOA, Volta Redonda, 2021.

Razera, I. A. T., Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica. 167f. Doutorado - USP, São Carlos, 2006.

Rosa, V. V. S., Compósitos de polietileno de alta densidade (PEAD) reforçados com biomassa da casca do açaí. 56f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2019.

Saha, P., Manna, S., Chowdhury, S. R., Sen, R., Roy, D., Adhikasri, B. Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment. Bioresource Technology, v. 101, p.3182-3187, 2010.

Silva, J. O., Obtenção e caracterização de compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com biomassa da casca da Bertholletia excelsa. 58f. Mestrado - UniFOA, Volta Redonda, 2024.

Troedec, M. L., Sedan, D., Peyratout, C., Bonnet, J. P., Simith, A., Guinebretirre, R., Gloaguen, V., Krausz, P. Influence of various chemical treatments on the composition and structure of hemp fibres. Composites: Part A, v.39, p. 514-522, 2008.

Zahng, J.; Wang, J.; Zahng, L.; Zahng, R.; Liu, G.; Cheng, G. Understanding changes in cellulose crystalline structure of lignocellulosic biomass during ionic liquid pretreatment by XRD. Bioresource Technology, v. 151, p. 402-405, 2014.

ARTIGO Nº22197

IMPACTO DO PRÉ-CONDICIONAMENTO NA CARBONATAÇÃO ACELERADA A SECO DE ESCÓRIA DE FORNO DE ARCO ELÉTRICO: UM CAMINHO PARA MATERIAIS MAIS SUSTENTÁVEIS

Silva Junior, G.B[1] (*); Castro-Gomes, J[1]; Manuel Magrinho[1]

[1]C-MADE, Centre of Materials and Building Technologies, University of Beira Interior, Covilhã, Portugal.
(*) *Email:* geovane.junior@ubi.pt

RESUMO

O objetivo deste estudo é investigar a influência do pré-condicionamento em amostras à base de escória de forno de arco elétrico submetidas à carbonatação acelerada a seco. Para isso, foi conduzido um estudo exploratório no qual foram avaliadas as propriedades mecânicas e a capacidade de absorção de CO_2 do material carbonatado após sua exposição a diferentes condições ambientais: SS1 (5 dias em câmara úmida), SS2 (24 h em câmara úmida), SS3 (24 h em estufa) e SS4 (sem pré-condicionamento). Com base nos dados obtidos, o grupo SS1 se destacou por apresentar a maior resistência à compressão (73,13 MPa), apesar de não ter exibido o maior grau de carbonatação. Esse desempenho pode estar relacionado à sinergia entre os produtos de hidratação (tais como C–S–H e $Ca(OH)_2$) e os produtos de carbonatação, resultando em um equilíbrio adequado entre a umidade interna e o grau de carbonatação. O grupo SS2, por sua vez, apresentou o maior grau de carbonatação, atingindo 15,15%, e uma resistência à compressão de 67,23 MPa, valor 8,07% inferior ao do grupo SS1. Além disso, as amostras do grupo SS4 evidenciaram uma carbonatação mais homogênea entre o centro (12,73%) e as extremidades (13,30%) dos espécimes analisados, com resistência à compressão de 60,30 MPa. Por fim, o grupo SS3 apresentou baixa resistência à compressão e baixo grau de carbonatação.

***Palavras-chave**:* pré-condicionamento, carbonatação acelerada, absorção de CO_2, escória.

INTRODUÇÃO

A carbonatação acelerada direta é um método de mineralização de carbono que utiliza matérias-primas, como minerais ou resíduos industriais, ou suas suspensões aquosas, para reagir com o dióxido de carbono em sua forma gasosa. Esse processo resulta na formação de minerais como a calcita ($CaCO_3$) e a magnesita ($MgCO_3$) que promove a melhoria mecânicas dos resíduos, além da absorção do CO_2 (Silva Junior et al., 2025). A rota seca desse método normalmente opera com uma proporção de água para material sólido inferior a 0,2 (Lim et al., 2010);(Ferrara et al., 2023).

O pré-condicionamento ou pré-cura consiste em uma etapa de preparação à carbonatação, na qual se criam condições ideais de umidade e aeração, fatores determinantes para maximizar a mineralização após a desmoldagem do material. Nessa etapa, o controle da umidade é fundamental, pois o excesso dificulta a difusão do CO_2, enquanto a escassez inviabiliza a reação de carbonatação (Zhang et al., 2017).

A maioria dos estudos aborda a pré-cura ao trabalhar com materiais cimentícios, com o objetivo de reduzir a água livre, criar canais porosos que favorecem a penetração do CO_2 e abrir espaço para a formação dos produtos da carbonatação (Xian et al., 2021). O estudo de (Wei et al., 2018)

demonstrou que a pré-cura também pode ser empregada para estabilizar a mistura de cinza volante e reduzir o teor de umidade, preparando o material para posterior carbonatação seca.

Além disso, a carbonatação de escórias tem sido objeto de diversos estudos devido sua capacidade de sequestro de CO_2 e ao seu potencial como ligante alternativo ao cimento (Grünhäuser Soares et al., 2022);(Mo et al., 2016), uma vez que esse processo contribui para a melhoria das propriedades mecânicas dos resíduos, viabilizando seu uso como materiais de construção (Mo et al., 2016).

Diversas iniciativas industriais também têm explorado esse potencial. A (DARKCO2, 2024), por exemplo, desenvolveu blocos de 50x25x20cm e 25kg, utilizando escória, esgoto e CO_2. A (Carbicrete, 2024) criou blocos de carbono negativo a partir de escória e CO_2, capazes de absorver 3kg de CO_2 por unidade. Já a (Carbon8, 2022) desenvolveu agregados artificiais, denominados CircaBuild, a partir da carbonatação de resíduos industriais com CO_2.

Diante desse contexto, o presente artigo tem como objetivo analisar o efeito do pré-condicionamento de materiais à base de escória, submetendo-os a diferentes condições ambientais, antes da carbonatação, com o intuito de maximizar suas propriedades e promover seu uso sustentável em processo de carbonatação acelerada seca.

MATERIÁIS E MÉTODOS

O material utilizado no estudo foi escória de forno a arco elétrico (EAFS) obtida da indústria siderúrgica nacional localizada em Maia e Aldeia de Paio Pires, Seixal, Portugal, com a granulometria de 50% das partículas menores que 5,63mm. Antes do uso, o material foi dividido em 4 lotes de 900g, em seguida os lotes foram moídos por 14 minutos, no modo no reverso, usando um moinho de disco vibratório RS 300 (Retsch).

O processo resultou na transformação dos pedriscos em partículas de pó SS1, SS2, SS3 e SS4 com granulometria D50 SS1 de 6.12 µm, SS2 de 6.06 µm, SS3 de 6.88 µm e SS4 de 7.83 µm e distribuídas conforme as Figura 1 e Figura 2.

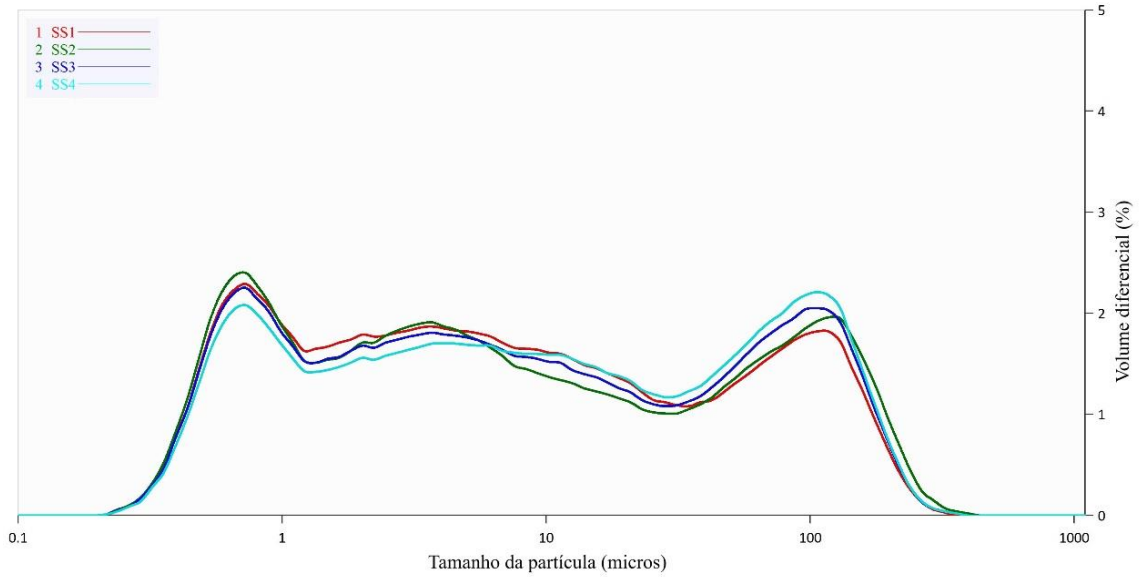


Figura 1: Volume diferencial.

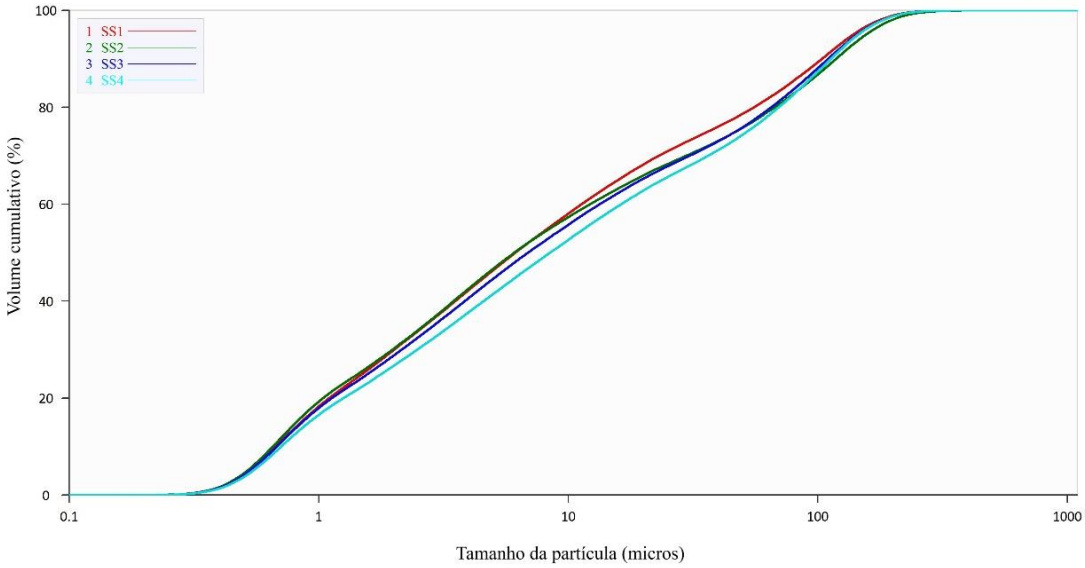


Figura 2: Volume cumulativo.

O material passou por análise de espectroscopia de raios X por dispersão de energia (SEM-EDX) usando um S-3400N (Hitachi) obtendo como resultado a composição química dos óxidos e carbonatos com a seguir: 12% de Al_2O_3, 34,2% de CaO, 2,7% de Cr_2O_3, 29,1% de Fe_2O_3, 4,1% de MgO, 4,0% de MnO, 13,9% de SiO_2.

Para a realização dos testes foi utilizada apenas EAFS e água desmineralizada na proporção de massa água-sólido de 0,08. Os elementos foram misturados manualmente com auxílio de uma espátula, por 3 minutos, até se obter uma mistura homogênea.

Em seguida, a mistura homogeneizada foi introduzida em um molde no formato de prisma e compactada sob uma pressão de compactação estática de 30Mpa por 3 minutos, resultando na formação de espécimes cúbicos com bordas de 40mm.

Todo processo foi repetido até se obter 4 lotes com 5 espécimes frescos moldados. Após a moldagem, cada lote de espécimes foi submetido a diferentes condições ambientais de pré-condicionamento, como forma de pré-preparação para cura. Os espécimes do lote SS1 foram inseridos em uma câmara com umidade relativa de 90% por 5 dias e temperatura ambiente de ~20 ± 2°C; os espécimes SS2 foram inseridos em uma câmara com umidade relativa de 90% por 24 horas e temperatura ambiente de ~20 ± 2°C; os espécimes SS3 foram inseridos em uma estufa por 24 horas e temperatura de 60°C; por fim, os espécimes SS4 não foram inseridos em tais ambientes, são espécimes frescos, sem qualquer pré-condicionamento.

Decorrido este tempo, os espécimes foram colocados em uma câmara pressurizada para a cura por carbonatação acelerada. O processo de cura teve duração de 24 horas, conduzidos a uma temperatura de 65 ± 2 ºC e com uma concentração de CO_2 superior a 99%. Antes de iniciar a pressurização com CO_2 foi aplicado um vácuo na câmara com uma pressão parcial de -0,2 bar para retirada de ar residual. Após esse processo, a câmara foi cheia com CO_2 industrial a uma pressão parcial de 0,8 bar e manutenção de uma umidade relativa ~ 85%. Após o período de cura, os espécimes foram transferidos para a estufa a (~60 ± 2°C e 20 ± 5% UR) por 24 horas. Em seguida, os espécimes são retirados e resfriados em condições de laboratório (~20 ± 2°C e 60 ± 5% UR) por 30 minutos antes de avaliar sua resistência à compressão. A Figura 3 ilustra cada etapa percorrida desde a moagem até a avaliação de compressão.

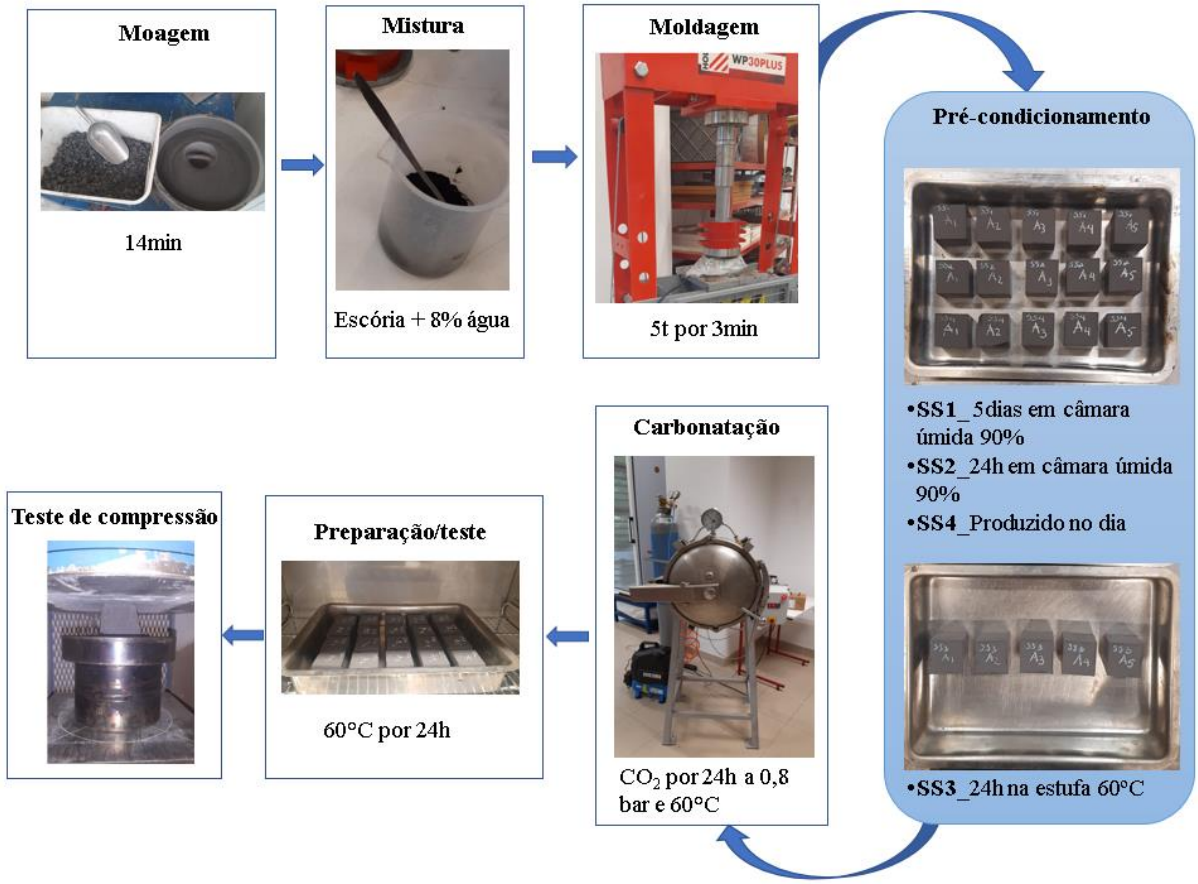


Figura 3: Etapas do processo de carbonatação a seco.

Os testes de resistência à compressão foram realizados em uma máquina de compressão ELE International, modelo ADR Touch 3000BS EN, equipada com leitura digital e placas autocentrantes, operada a uma taxa de carga constante de 0,5 kN/s.

Após esse teste, amostras das extremidades (SS1_E, SS2_E, SS3_E e SS4_E) e dos centros (SS1_C, SS2_C, SS3_C e SS4_C) dos espécimes foram submetidas a análises TG-DTG, realizadas em um equipamento TA Instruments, modelo SDT Q-50, submetendo-se o material a um aquecimento progressivo da temperatura ambiente (20 ± 2°C) até 1000°C, a uma taxa de 20°C/min, sob fluxo de nitrogênio. O material analisado passou por um estágio de secagem de 24 horas a 60°C, sendo utilizada uma amostra com aproximadamente 15 mg.

Para a determinação do grau de adsorção de CO_2 e carbonatação das amostras, foi adotada a metodologia descrita por (Grünhäuser Soares et al., 2022), a qual estima a adsorção teórica de CO_2 (TCO_2) com base na fórmula proposta por (Huntzinger et al., 2009) (Eq. 1).

Tal abordagem considera que os óxidos MgO, CaO, K_2O e Na_2O contribuem para o sequestro de CO_2, enquanto SO_3, $CaCO_3$ e KCl não participam desse processo. Adicionalmente, assume-se que todo o MgO disponível forma $MgCO_3$; que o CaO, excetuando-se aquele associado a $CaSO_4$ e $CaCO_3$, forma $CaCO_3$; que o Na_2O forma Na_2CO_3; e que o K_2O forma K_2CO_3.

$$(1)\ TCO_2(\%) = 0{,}785(A–0{,}56B–0{,}7C) + 1{,}091D + 0{,}71E + 0{,}468(F–0{,}632G)$$

Onde: A é a % em peso de CaO; B é a % em peso de $CaCO_3$; C é a % em peso de SO_3; D é a % em peso de MgO; E é a % em peso de Na_2O; F é a % em peso de K_2O; G é a % em peso de KCl.

Sendo que o percentual em massa de $CaCO_3$ presente na matéria-prima (SS Natural) foi estimado em 2,65% por meio das análises TG-DTG (Figura 4). Para essa estimativa, considerou-se a perda de massa de 1,16% em peso referente ao CO_2 liberado, observada na faixa de temperatura entre 558°C e 687°C, correspondente à região de decomposição do $CaCO_3$ (Li et al., 2017). Posteriormente, TCO_2 da matéria-prima foi estimado em 30,16%.

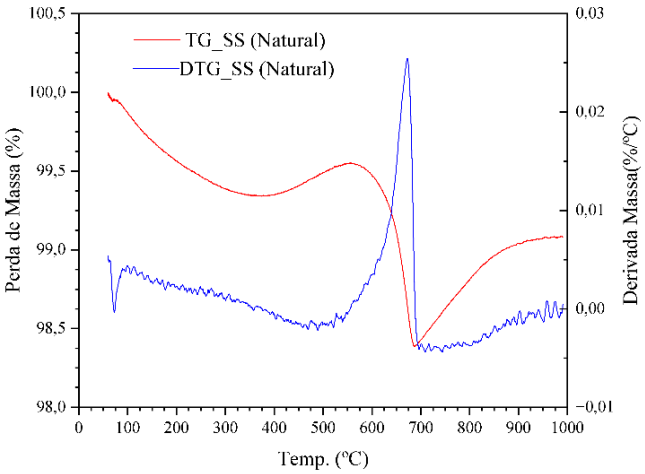


Figura 4: TG e DTG do material antes da carbonatação.

Além disso, a análise TG-DTG foi empregada para estimar a quantidade de CO_2 adsorvido (UCO_2) em % de peso das composições das misturas, conforme a Eq. (2) de (He et al., 2018). O grau de carbonatação (DCO_2) foi determinado com base na fórmula proposta por (Shi et al., 2012) (Eq. 3).

$$(2)\ UCO_2(\%) = [(M_1 - M_2 - M_3)/M_c] \cdot 100\%$$

$$(3)\ DCO_2(\%) = UCO_2(\%)/TCO_2(\%)$$

Onde: M_1 é a massa residual antes da decomposição dos carbonatos; M_2 é a massa residual após a decomposição dos carbonatos; M_3 é a massa do conteúdo inicial de CO_2 no material não carbonatado; e M_c é a massa do ligante do material.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 5 mostra a aparência dos corpos de prova após o processo de cura por carbonatação e antes dos testes de resistência à compressão.



Figura 5: Aparência dos espécimes após a carbonatação e antes dos testes de compressão.

Pode-se observar que a coloração dos espécimes SS3 é ligeiramente mais clara em comparação com a coloração dos espécimes SS1, SS2 e SS4. Isso sugere que os espécimes SS3 contêm menos umidade e obteve menor mineralização em comparado aos outros.

Resistência à compressão

Após os testes de resistência à compressão, os resultados médios obtidos para os espécimes SS1, SS2, SS3 e SS4 foram, respectivamente, 73,13; 67,23; 7,43 e 60,30 MPa, com desvios padrão de 1,20; 1,86; 0,43 e 2,89 Mpa, conforme ilustrado na Figura 6 e apresentado na Tabela 1.

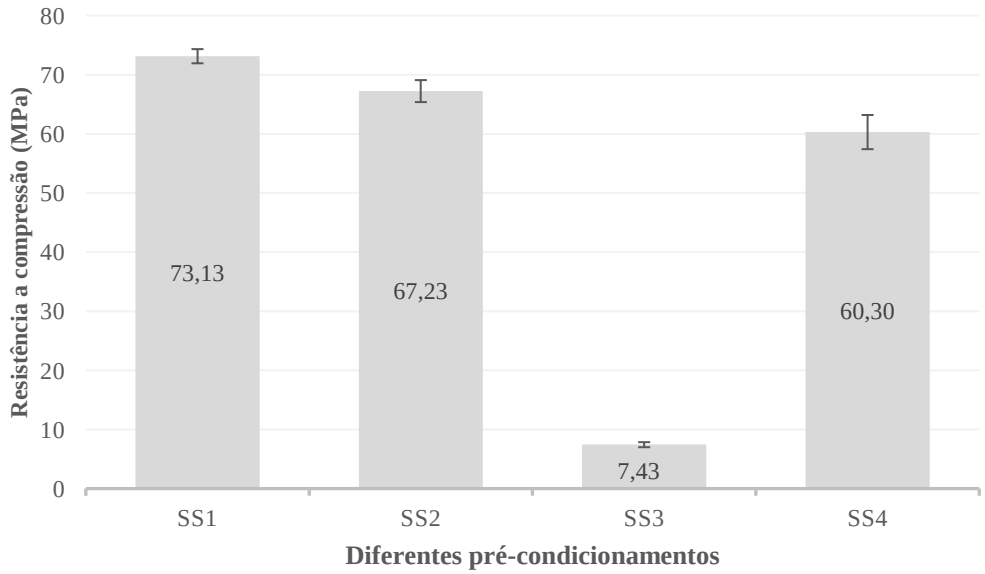


Figura 6: Resistência a compressão versus diferentes pré-condicionamentos; SS1 (5 dias em câmara úmida), SS2 (24 h em câmara úmida), SS3 (24 h em estufa) e SS4 (sem pré-condicionamento).

Tabela 1: Resumo dos testes de compressão e desvio padrão.

Resultados observados	**Resistência à compressão (MPa)**			
	SS1	**SS2**	**SS3**	**SS4**
Resistência à compressão Média	73,13	67,23	7,43	60,30
Desvio Padrão	1,2	1,86	0,43	2,89
Variação em relação à SS1 em %	-	-8,07	-89,84	-17,54

Os espécimes SS1, SS2 e SS4 apresentaram maior rigidez e compactação em suas superfícies externas em comparação com seus volumes internos. Foi observada uma camada superficial extremamente endurecida de aproximadamente 5 mm, indicando maior dissolução de CO_2 nas regiões mais externas. A parte interna, por sua vez, encontrava-se bem consolidada, provavelmente devido à umidade retida durante a fase de pré-condicionamento.

A heterogeneidade na carbonatação entre a parte interna e externa dos corpos de prova pode estar relacionada à baixa pressão de CO_2 empregada, a qual limita a difusão do gás e sua dissolução na água interna, comprometendo a formação de carbonato de cálcio, essencial para a melhoria das propriedades cimentícias dos ligantes da EAFS. Apesar dessa limitação, os espécimes SS1, SS2 e apresentaram resistências à compressão significativamente superior à do grupo SS3. Entre todos, o grupo SS1 destacou-se por apresentar o maior valor médio de resistência (73,13 Mpa).

A Figura 7 ilustra alguns espécimes após o ensaio de compressão, exibindo padrão característico de dois cones invertidos, comportamento semelhante ao observado em corpos de prova de concreto submetidos a esse tipo de ensaio.

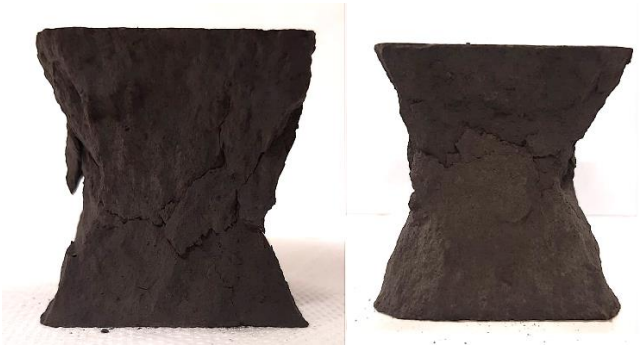


Figura 7: Padrão dos espécimes após o ensaio de compressão.

Em contraste, os espécimes SS3 apresentaram baixa rigidez e compactação tanto na superfície externa quanto no núcleo, além de extrema fragilidade, indicando comportamento típico de pré-cura. Essa condição pode ser atribuída à baixa umidade residual resultante do pré-condicionamento em estufa a 60°C por 24h, que reduziu significativamente a água disponível para a dissolução do CO_2. O valor médio de resistência à compressão foi de apenas 7,43 MPa, aproximadamente 90% inferior ao observado no grupo SS1.

Tg-dtg

A Figura 4 ilustra o TG e DTG do material antes da carbonatação (SS_Natural). As Figura 8 a e b mostram as curvas TG e DTG dos espécimes SS1, SS2, SS3 e SS4 após a cura com CO_2, analisadas nas regiões do centro (C) e da extremidade (E). Em todas as amostras (SS_Natural, SS1_C, SS1_E, etc.), observam-se picos endotérmicos em torno de 700°C, o que corresponde à decomposição de $CaCO_3$ (Mo et al., 2016).

As curvas de TG revelam que próximo de 130ºC ocorre desidratação de água livre; entre 130-200ºC, ocorre a desidratação dos géis C–S–H (gel de silicato de cálcio hidratado) (Kourounis et al., 2007). Nesta faixa, os espécimes SS1_C e SS1_E apresentaram perdas de massa em torno de 0,40%, sugerindo que as reações de hidratação foram ativadas na presença de umidade durante a pré-cura. A formação de gel C–S–H confere coesão e densidade estrutural, contribuindo para a resistência mecânica (Mo et al., 2016). Isso explica por que, mesmo com menor perda de massa na faixa de 500−750°C (associada à decomposição de $CaCO_3$), SS1 apresentou resistência à compressão superior (73,13 MPa) à de SS2 (67,23 MPa), cuja perda na faixa C–S–H foi de aproximadamente 0,36%.

A Tabela 2 apresenta um resumo das perdas de massa observadas nas faixas de temperatura analisadas por TGA:

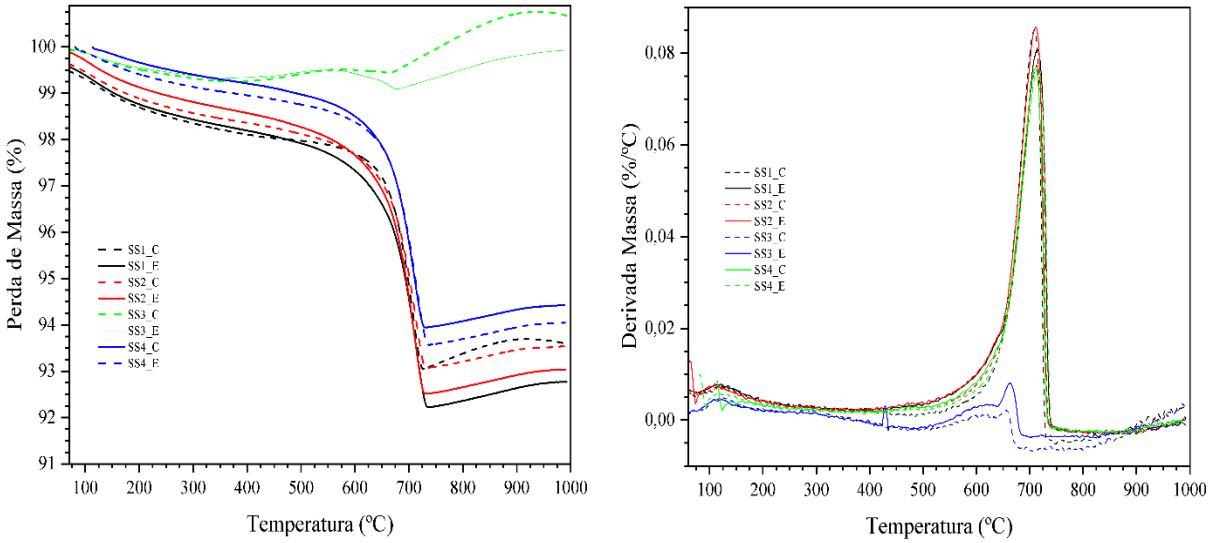
- 15-500ºC (perda de massa associada à desidratação de água livre, água quimicamente ligada e decomposição de hidróxidos (como C-S-H, de $Ca(OH)_2$) (Grünhäuser Soares & Castro-Gomes, 2022);(Ferrara et al., 2023);
- 500-750ºC ocorre decomposição de $CaCO_3$ (Mo et al., 2016);
- 750-1000ºC está principalmente associada a reações de oxidação quando ocorrem ganho de massa durante o aquecimento (Bernal et al., 2016).

Adsorção de CO_2 e carbonatação das amostras

Analisando esses resultados, as extremidades SS2_E, SS1_E e SS4_E apresentaram os maiores graus de carbonatação (15,15%; 14,99% e 13,30%, respectivamente), em comparação às regiões centrais SS2_C, SS1_C e SS4_C (12,80%; 12,14% e 12,73%). Isso reforça a limitação de difusão do CO_2 para o interior das amostras durante a carbonatação. Apesar disso, os resultados de SS4_C e SS4_E se revelaram próximos, o que indica uma carbonatação mais homogênea.

Por outro lado, apesar da maior carbonatação nas extremidades de SS2, sua resistência foi inferior à de SS1, possivelmente por dois fatores: (i) menor tempo de hidratação inicial, o que limitou a formação de produtos estruturantes; (ii) a sinergia entre produtos de hidratação e $CaCO_3$, que, quando bem distribuídos, aprimoram a microestrutura e o desempenho mecânico, conferindo maior resistência a SS1 (Mo et al., 2016);(Ferrara et al., 2023).

Já os espécimes SS3_E e SS3_C apresentaram perdas de massa entre 500–750°C de apenas 0,12% e –0,54%, respectivamente, evidenciando baixa carbonatação. A rápida secagem durante o pré-condicionamento impediu a hidratação e removeu o meio para dissolução do CO_2, deixando os óxidos inertes ou parcialmente reagidos. Ainda assim, SS3_E apresentou traços de hidratação inicial, demonstrado pelo pico endotérmico referente à decomposição de $Ca(OH)_2$ a 420°C (Mo et al., 2016);(Ferrara et al., 2023).



a) b)

Figura 8: a) TG após a cura com CO_2 e b) DTG após a cura com CO_2.

Tabela 2: Resumo das perdas de massa observadas por faixas de temperatura analisadas por TGA; SS1 (5 dias em câmara úmida), SS2 (24 h em câmara úmida), SS3 (24 h em estufa) e SS4 (sem pré-condicionamento); C- centro do corpo de prova e E- exterior do corpo de prova.

Espécimes	**Perda de massa (%) em TGA na faixa de temperatura**				**UCO_2 (%)**	**DCO_2 (%)**
	15 – 500 °C	**500 – 750 °C**	**750 – 1000 °C**	**∑**		
SS1_C	2,03	4,82	-0,44*	6,42	3,66	12,14
SS1_E	2,08	5,68	-0,53	7,23	4,52	14,99
SS2_C	1,88	5,02	-0,44	6,46	3,86	12,80
SS2_E	1,73	5,73	-0,49	6,97	4,57	15,15
SS3_C	0,60	-0,54	-0,72	-0,66	-1,70	-5,64
SS3_E	0,55	0,12	-0,59	0,07	-1,04	-3,45
SS4_C	1,03	5,00	-0,45	5,57	3,84	12,73
SS4_E	1,24	5,17	-0,46	5,96	4,01	13,30

*valor negativo (ganho de massa)

CONCLUSÃO

Este trabalho analisou a influência do pré-condicionamento em amostras à base de escória de forno de arco elétrico (EAFS) submetidas à carbonatação acelerada a seco após sua exposição a diferentes condições ambientais (SS1, SS2, SS3 e SS4). O objetivo é otimizar o processo de pré-condicionamento ajustando variáveis como umidade, temperatura e tempo de pré-cura, com o objetivo de maximizar as propriedades do material e torná-lo mais sustentável.

Os exemplares testados passaram por uma série de avaliações, incluindo testes de resistência à compressão sem confinamento, termogravimetria e termogravimetria derivada (TG-DTG). Abaixo estão os principais achados:

- Foi observado que a carbonatação com dióxido de carbono foi eficaz na melhoria da resistência à compressão em certos conjuntos (SS1, SS2 e SS4), especialmente quando

combinada com um nível apropriado de umidade durante a fase de pré-cura. O exemplar SS2 apresentou o nível mais elevado de carbonatação, alcançando 15,15%. No entanto, os resultados para SS4 apontam para uma distribuição mais uniforme da carbonatação ao longo dos exemplares;

- O método de pré-condicionamento utilizado (câmara úmida ou estufa) e a duração (5 dias, 24 horas ou 0 horas) tiveram um impacto direto tanto nos resultados mecânicos quanto na carbonatação dos exemplares. Por exemplo, o caso de SS3 revelou que a secagem em estufa resultou na remoção da quantidade necessária de água para a dissolução do CO_2 e as reações de hidratação, levando a uma resistência e carbonatação reduzidas;
- O grupo SS1 (condicionado por 5 dias na câmara úmida) destacou-se com a maior resistência média (73,13 MPa), possivelmente devido à interação entre os produtos de hidratação e carbonatação, que resultou em um equilíbrio adequado entre a umidade interna e o nível de carbonatação, atingindo 14,99%;
- As análises de TG-DTG revelaram uma maior concentração de carbonatação nas extremidades dos corpos de prova, sugerindo restrições na difusão e dissolução do CO_2 para o interior. Essa disparidade afetou a uniformidade do desempenho mecânico;
- As maiores perdas de massa associadas ao C–S–H na faixa de temperatura de 130–200°C foram positivamente correlacionadas com maiores valores de resistência, destacando a importância dos géis hidratados na coesão do material;
- A hidratação prévia mostrou-se fundamental para a formação dos géis C–S–H, $Ca(OH)_2$ e subsequente incorporação de carbonatos, evidenciando a importância do controle da umidade antes da carbonatação para o desempenho mecânico final.

Em resumo, os resultados indicam que as estratégias de carbonatação com uma gestão adequada da pré-cura do CO_2 podem ser empregadas para melhorar as propriedades mecânicas de subprodutos industriais, como a escória (EAFS), contribuindo assim para soluções de engenharia mais sustentáveis.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela União Europeia, no âmbito do programa Horizon Europe Marie Skłodowska-Curie Actions Staff Exchange, através do projeto “CSTO2NE – Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a climate-neutral economy” (Contrato n.º 101086302).

Este trabalho foi também apoiado pela FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., através da Unidade de Investigação C-MADE – Centro de Materiais e Tecnologias Construtivas, no âmbito dos projetos UIDB/04082/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDB/04082/2020) e UIDP/04082/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDP/04082/2020).

Este estudo, ainda foi apoiado pela Universidade Federal do Maranhão e pela Secretaria de Estado da Educação do Maranhão, Brasil.

REFERÊNCIAS

Bernal, S. A., Juenger, M. C. G., Ke, X., Matthes, W., Lothenbach, B., De Belie, N., & Provis, J. L. (2016). Characterization of supplementary cementitious materials by thermal analysis. *Materials and Structures*, *50*(1), 26. https://doi.org/10.1617/s11527-016-0909-2

Carbicrete. (2024). *CarbiCrete: Concrete carbon removal.* https://carbicrete.com/

Carbon8. (2022). *CircaBuild – Aggregate Information Sheet*. https://www.carbon8.co.uk/s/CircaBuild-General-Information-Sheet-260520222.pdf

DARKCO2. (2024). *DARKCO2: Like Trees - Using CO_2 as a resource for environment infrastructures and building applications*. https://www.inovcexhibition.org//?cix=1056&ixgal=1097&lang=4

Ferrara, G., Belli, A., Keulen, A., Tulliani, J. M., & Palmero, P. (2023). Testing procedures for CO2 uptake assessment of accelerated carbonation products: Experimental application on basic oxygen furnace steel slag samples. *Construction and Building Materials*, *406*, 133384. https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2023.133384

Grünhäuser Soares, E., & Castro-Gomes, J. (2022). The role of biomass bottom ash in Carbonated Reactive Magnesia Cement (CRMC) for CO2 mineralisation. *Journal of Cleaner Production*, *380*, 135092. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135092

Grünhäuser Soares, E., Castro-Gomes, J., Sitarz, M., Zdeb, T., Hager, I., Hassan, K., & Saif Al-Kuwari, M. (2022). Feasibility for co-utilisation of Carbonated Reactive Magnesia Cement (CRMC) and industrial wastes in circular economy and CO2 mineralisation. *Construction and Building Materials*, *323*, 126488. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126488

He, P., Shi, C., & Poon, C. S. (2018). Methods for the assessment of carbon dioxide absorbed by cementitious materials. *Carbon Dioxide Sequestration in Cementitious Construction Materials*, 103–126. https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102444-7.00006-X

Huntzinger, D. N., Gierke, J. S., Kawatra, S. K., Eisele, T. C., & Sutter, L. L. (2009). Carbon dioxide sequestration in cement kiln dust through mineral carbonation. *Environmental Science and Technology*, *43*(6), 1986–1992. https://doi.org/10.1021/es802910z

Kourounis, S., Tsivilis, S., Tsakiridis, P. E., Papadimitriou, G. D., & Tsibouki, Z. (2007). Properties and hydration of blended cements with steelmaking slag. *Cement and Concrete Research*, *37*(6), 815–822. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2007.03.008

Li, X. G., Lv, Y., Ma, B. G., Wang, W. Q., & Jian, S. W. (2017). Decomposition kinetic characteristics of calcium carbonate containing organic acids by TGA. *Arabian Journal of Chemistry*, *10*, S2534–S2538. https://doi.org/10.1016/J.ARABJC.2013.09.026

Lim, M., Han, G.-C., Ahn, J.-W., & You, K.-S. (2010). Environmental Remediation and Conversion of Carbon Dioxide (CO2) into Useful Green Products by Accelerated Carbonation Technology. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *7*(1), 203–228. https://doi.org/10.3390/ijerph7010203

Mo, L., Zhang, F., & Deng, M. (2016). Mechanical performance and microstructure of the calcium carbonate binders produced by carbonating steel slag paste under CO2 curing. *Cement and Concrete Research*, *88*, 217–226. https://doi.org/10.1016/J.CEMCONRES.2016.05.013

Shi, C., Liu, M., He, P., & Ou, Z. (2012). Factors affecting kinetics of CO2 curing of concrete. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, *1*(1–2), 24–33. https://doi.org/10.1080/21650373.2012.727321

Silva Junior, G. B., Castro-Gomes, J., & Magrinho, M. (2025). Carbon Capture and Utilisation Technologies: A Systematic Analysis of Innovative Applications and Supercritical CO_2 Viability Strategies. *Journal of CO_2 Utilization*, (Accepted for publication).

Wei, Z., Wang, B., Falzone, G., La Plante, E. C., Okoronkwo, M. U., She, Z., Oey, T., Balonis, M., Neithalath, N., Pilon, L., & Sant, G. (2018). Clinkering-free cementation by fly ash carbonation. *Journal of CO2 Utilization*, *23*, 117–127. https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2017.11.005

Xian, X., Zhang, D., & Shao, Y. (2021). Flue gas carbonation curing of cement paste and concrete at ambient pressure. *Journal of Cleaner Production*, *313*, 127943. https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.127943

Zhang, D., Ghouleh, Z., & Shao, Y. (2017). Review on carbonation curing of cement-based materials. *Journal of CO2 Utilization*, *21*, 119–131. https://doi.org/10.1016/J.JCOU.2017.07.003

ARTIGO Nº22649

À REDESCOBERTA DO EDIFICADO DA ILHA DE MOÇAMBIQUE: resultados de uma experiência coletiva de caracterização

Isequiel Alcolete[1], **J. Mendes da Silva**[2], **Luís Lage**[3], **Lídia Catarino**[4]

[1] Universidade Lúrio, Nampula, Moçambique, isequiel.alcolete@unilurio.ac.mz
[2] Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, CERIS – Pólo de Coimbra, Portugal, raimundo@dec.uc.pt
[3] Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, Moçambique, luis.lage01@gmail.com
[4] Departamento de Ciências da Terra, Centro de Geociências, Portugal, lidiagil@dct.uc.pt

RESUMO

A Ilha de Moçambique é um território singular, com relevância histórica, cultural, arquitetónica, construtiva, inscrito na lista do Património Mundial, pela UNESCO, em 1991. Testemunha de uma rica diversidade de tipologias construtivas, onde se destacam edifícios institucionais e habitacionais, que são um contributo relevante para o seu Valor Universal Excecional, a Ilha e o seu edificado merecem e exigem salvaguarda e valorização.

Em todos os tipos de edifícios, a reabilitação tem de ser um instrumento determinante na conciliação entre a melhoria do conforto e segurança com a preservação e a sustentabilidade ambiental, ou seja, conjugando tudo o que é necessário para que a preservação e valorização da identidade do património sejam colocadas ao serviço da população.

Com a preocupação de valorizar este BEM, foi desenvolvida uma metodologia participativa e integrada para a análise e caracterização dos edifícios, que contou com a participação ativa das entidades e da comunidade local. Esta ação intitulou-se "Oficinas de Muhipiti: à redescoberta do edificado".

As Oficinas de Muphiti tiveram como foco o edificado da Ilha de Moçambique, tendo como objetivo principal o conhecimento do edificado, nas suas mais diversas expressões, e visaram as suas características tecnológicas num território em permanente evolução.

Ao longo de três dias, em 2022, equipas multidisciplinares moçambicanas e portuguesas percorreram toda a Ilha, observando e registando as características de setenta e dois edifícios, previamente selecionados, que posteriormente se analisaram, discutiram e se sintetizaram dados em relatório devolvido à comunidade e às instituições.

Para a sua concretização foi fundamental (i) o envolvimento e capacitação da comunidade, (ii) a integração e valorização do conhecimento local numa abordagem estruturada e científica (iii) a produção de informação estruturada, abrangente e confiável sobre a caracterização do edificado da ilha, na sua riqueza e diversidade.

Neste artigo descreve-se o processo e apresentam-se e discutem-se os principais resultados deste trabalho, integrado num processo de doutoramento e numa dinâmica de investigação aplicada onde colaboram a Universidade Lúrio (Moçambique), a Universidade de Coimbra (Portugal) e a Universidade Eduardo Mondlane (Moçambique).

Palavras-chave: Ilha de Moçambique, Reabilitação de edifícios, Património edificado, Caracterização de edifícios, Estado de conservação.

ENQUADRAMENTO

Os processos globais têm um impacto significativo nos valores que as comunidades têm em relação às cidades, incluindo as suas interações, as perceções e realidades dos moradores e usuários (Pinto et al., 2019) (UNESCO, 2011).

O património arquitetónico moçambicano abrange vastas áreas ecológicas e diversos sistemas de estruturação social, o que é indispensável para compreender os seus processos construtivos, e não só (Lage et al., 2005).

A Ilha de Moçambique integra o conjunto de monumentos e sítios classificados cuja relevância histórica, artística e científica se fundamenta na sua arquitetura, na coerência morfológica do seu tecido urbano e na sua singular inserção paisagística. Nos termos da Lei n.º 10/88, de 22 de dezembro, que estabelece o regime jurídico de proteção dos bens culturais materiais e imateriais da República de Moçambique, este território goza de proteção legal enquanto expressão significativa do património cultural nacional, refletindo valores identitários de elevada importância para a memória coletiva e para a compreensão das dinâmicas histórico-culturais do país.

A Ilha configura-se, assim, um espaço de memória plurissignificativo, onde confluem diversos estratos patrimoniais que, ao longo do tempo, têm suscitado reflexões críticas sobre os caminhos possíveis para o seu futuro (Leite, 2010). Nesse contexto, torna-se imperativo proceder à sistematização da sua matriz construtiva, não apenas como forma de valorização do seu legado material e imaterial, mas também como base para a projeção de estratégias sustentáveis de conservação e reabilitação. Tal abordagem requer a articulação entre o reconhecimento dos valores patrimoniais existentes e a abertura à introdução de metodologias inovadoras e tecnologias emergentes no campo da construção e do restauro (Oke et al., 2019) e (Okpalanozie e Adetunji, 2021). Estes processos devem ser orientados por uma visão prospetiva que concilie a preservação da identidade local com a expectativa de melhoria progressiva da qualidade de vida das comunidades residentes (Dosumu e Aigbavboa, 2021).

A participação ativa da comunidade é um fator crucial para a consolidação dos processos de proteção e valorização do património. Este envolvimento deve ser compreendido como um componente estratégico que permite articular, de forma complementar, os valores culturais locais com as dinâmicas e exigências dos discursos patrimoniais de âmbito global, reconhecendo simultaneamente o percurso histórico e identitário da própria comunidade, conforme argumenta Cerqueira (2012). Com base nesse princípio, procedeu-se à realização de um trabalho de campo intensivo ao longo de três dias, durante os quais equipas multidisciplinares percorreram sistematicamente a totalidade da Ilha de Moçambique. Foram observadas e documentadas as características de setenta e dois edifícios, representativos de distintas épocas, tipologias construtivas e escalas, seguindo um guião analítico exaustivo composto por 292 questões. Paralelamente, foi realizada a recolha sistemática de milhares de imagens, assegurando um registo visual detalhado e rigoroso do estado de conservação e dos elementos morfológicos e construtivos de cada edificação.

Na etapa de caracterização, foi adotado o método de levantamento direto, considerado por Diniz (2014) como uma abordagem fundamental e insubstituível para a análise arquitetónica, construtiva e do estado de conservação de edificações. Esta metodologia baseia-se na observação e medição em contacto direto com o objeto de estudo, recorrendo a instrumentos de medição simples como fitas métricas, réguas e outros dispositivos manuais, que permitem a recolha precisa de dados morfométricos e construtivos in situ.

Ainda que esta abordagem se ancore em procedimentos eminentemente técnicos, o seu enquadramento na presente investigação inscreve-se numa perspetiva mais ampla e interdisciplinar. Esta reflexão incorpora dimensões sociais, económicas, culturais, antropológicas e ambientais, associadas a três eixos de valor fundamentais:

- O valor da memória, enquanto expressão da permanência de técnicas construtivas tradicionais e da sua relevância na contemporaneidade;
- O valor das condições presentes, que evidencia as necessidades atuais do edificado, nomeadamente no que respeita à sua manutenção, conservação e funcionalidade;
- O valor das projeções futuras, que contempla as perspetivas, projetos e ações possíveis com vista à salvaguarda sustentável do património, articulando passado, presente e futuro.

CONTEXTO HISTÓRICO E GEOGRÁFICO DA ILHA DE MOÇAMBIQUE

A costa oriental africana, comumente referida como costa *Swahíli* (Ichumbaki et al., 2022), estende-se por 3.000 km, abrangendo desde a Somália, a norte, passando pelo Quénia e Tanzânia, até Moçambique, a sul (Bita, 2019) (Pollard e Kinyera, 2017). A Ilha de Moçambique é reconhecida pela sua participação ativa na rede comercial do Oceano Índico desde, pelo menos, o século VII, durante o final do período Pré-Swahili (Pollard et al., 2018). Com a chegada dos portugueses, em finais do século XV, a Ilha assume um papel importante no comércio marítimo entre a Europa, África Oriental e Índia (Mahumane e Simbine, 2023). A partir desse momento, o núcleo urbano viu-se crescer e acumular um conjunto de valores urbanos, arquitetónicos e construtivos (Amoêda et al., 2010). Conforme descrito por Alcolete (2024), o sistema urbano da costa oriental desenvolveu-se em cinco períodos, e Moçambique se integra a partir do início do segundo período (ver figura 1). Em reconhecimento a esse conjunto de valores históricos e arquitetónicos, a Ilha de Moçambique teve o reconhecimento de Património Mundial pela UNESCO, em 1991 (Silva et al., 2013).

Segundo Lobato (1966), para uma adequada contextualização e caracterização do edificado, é essencial considerar as narrativas históricas de Portugal e de Diu. Neste sentido, Sollien (2014) complementa essa abordagem, destacando que, além de analisar as tipologias das casas portuguesas das décadas de 1880 e 1940, deve-se também incluir uma consideração sobre as influências arquitetónicas do Iémen e das Ilhas Comores por volta de 1900, da Índia na década de 1960 e da Escandinávia na década de 1980. Essas tipologias, com seus respetivos contextos históricos e culturais, podem enriquecer a compreensão das diversas fontes de inspiração e das interações que moldaram o património edificado da Ilha, ampliando a análise para uma perspetiva mais global e interdisciplinar.

De uma forma geral, a organização urbana e arquitetónica das casas na Ilha são amplamente influenciadas por uma matriz *swahíli,* caracterizada por uma clara segregação social, conforme analisado por Allen (1974), Allen (1976) e LaViolette (2007). Esta influência se reflete em dois modelos tecnológicos distintos: i) as "cidades de Pedra", e ii) as "cidades do Interior". Em ambos os casos, a organização espacial é intimamente vinculada ao valor económico, político e simbólico das casas, conforme ressaltado por (Wynne-Jones, 2013). No contexto específico da Ilha de Moçambique, a "cidade de Pedra" corresponde à cidade de Pedra e Cal, enquanto a "cidade do Interior", situada ao sul da Ilha, é referida como a "cidade de Macuti", local onde, no passado, se realizava a extração de pedra para a construção da cidade de Pedra e Cal (Berti e Arif, 2005).

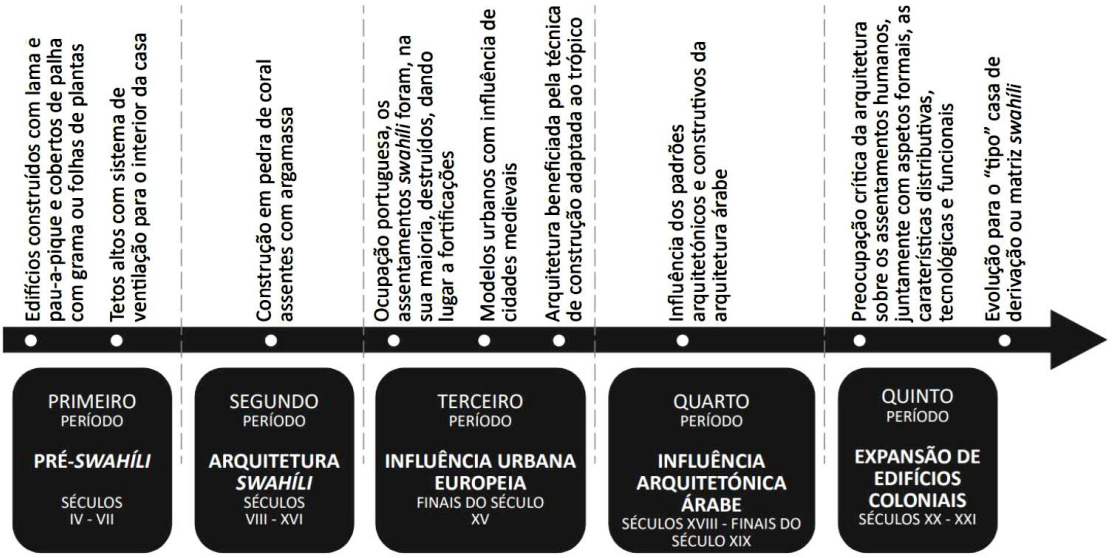


Fig. 1 – Períodos de crescimento do sistema urbano, arquitetónico e construtivo *swahíli*. Alcolete, 2024.

AS OFICINAS

Introdução

Mataga (2021) sustenta que o conhecimento do património permite que as comunidades participem na formulação de soluções locais, facilitando assim a preservação sustentável. Este princípio encontra-se sustentado no *Final Report of the ILA Committee on Participation in Global Cultural Heritage Governance* de Starrenburg (2023), que reforça a importância do engajamento comunitário na gestão do património. Nesse contexto, acredita-se que o envolvimento da comunidade da Ilha no processo de reconhecimento dos valores do edificado, aliado a ações educativas, constitui uma estratégia eficaz para a promoção de um modelo de desenvolvimento baseado nos valores locais. De acordo com Plessis et al. (2002), tais ações devem agir como catalisadores, promovendo de forma significativa o desenvolvimento sustentável e a preservação do património cultural.

Objetivo

A diversidade de partes interessadas introduz múltiplas questões e possibilidades para a valorização do edificado da Ilha, o que torna cada vez mais desafiadora a adoção de uma abordagem padronizada e consensual. As 2as Oficinas Muhipiti[1] representaram, sobretudo, a implementação de um método participativo, com o objetivo principal de (re)ler o edificado da Ilha em suas diversas expressões, abordando tanto as soluções tecnológicas aplicadas quanto os desafios associados à sua reabilitação. Este processo visou conciliar a melhoria do conforto e da segurança com preocupações relativas à sustentabilidade ambiental, bem como à preservação e valorização das pré-existências, entendidas como património cultural edificado.

1

Em 2017, a Universidades de Coimbra (UC) e Universidade Lúrio (UniLúrio), em articulação com a Universidade Eduardo Mondlane (UEM) e com diversas entidades, levaram a cabo uma das iniciativas mais marcantes neste contexto, designadas como *Oficinas Muhipiti* (1as Oficinas de Muhipiti) onde estudantes, professores e investigadores trabalharam em conjunto em torno de seis temas que ligavam o valor cultural ao planeamento urbano e ao desenvolvimento da Ilha, o que ficou vertido no livro-relatório publicado.

Para a realização desses objetivos, foram fundamentais: (i) a produção de informações estruturadas, abrangentes e confiáveis sobre a caracterização do edificado da Ilha, reconhecendo sua riqueza e diversidade; (ii) o envolvimento ativo e a capacitação da comunidade local; e (iii) a integração e valorização do conhecimento local, dentro de uma abordagem que é simultaneamente estruturada e científica.

METODOLOGIA E O MODELO DA PESQUISA

Preparação: produção de informação estruturada, abrangente e confiável sobre a caracterização do edificado da Ilha de Moçambique, na sua riqueza e diversidade

A ação foi fundamentada em um processo sistemático de coleta de dados, análise, interpretação e validação (Creswell, 2014), seguindo três princípios fundamentais: i) Ver – caracterização do sistema construtivo e arquitetónico, incluindo o estado de conservação; ii) Julgar – reflexão científica e pedagógica sobre os dados recolhidos; e iii) Agir – ações prospetivas e planejadas com base nos resultados da análise.

Os métodos e as ferramentas adotadas foram inicialmente discutidos em conjunto com os técnicos do Gabinete de Conservação e Gestão da Ilha de Moçambique (GACIM), garantindo a inclusão de diferentes perspetivas técnicas e locais no processo. A ação foi estruturada em três etapas principais: i) trabalho preparatório, que envolveu pesquisa documental, visitas de campo, seleção dos edifícios e a elaboração de documentos de suporte, como a definição dos grupos de trabalho, mapas, grelha de atividade, guião de apoio, fichas de caracterização e estratégia de comunicação; ii) trabalho de campo, focado na capacitação e na coleta de dados em campo; e iii) tratamento dos dados, culminando na elaboração do relatório e na divulgação dos resultados. A pesquisa documental baseou-se em fontes de estudos realizados entre os anos de 1945 a 2014, como será detalhado adiante.

A ação foi orientada por um método integrador, simultaneamente pedagógico e científico, assente na observação direta e na interpretação contextualizada das características físicas e simbólicas do edificado insular, através de um exercício de leitura interativa e estruturada do território. Esta leitura permitiu a sistematização de evidências relevantes do conjunto arquitetónico e construtivo, fundamentais para a reflexão crítica em torno da revalorização patrimonial da Ilha.

Os estudos realizados por alguns autores apresentam perspetivas distintas, mas complementares, que contribuem para a compreensão e valorização do património edificado da Ilha de Moçambique. Importa destacar:

Lobato (1945), em que o estudo se dedica ao levantamento dos acontecimentos históricos mais significativos da Ilha de Moçambique, utilizando descrições, desenhos, fotografias e escavações, abordando, ainda, aspetos cruciais da vida política, económica e social. O Livro Azul (1986) realizou um estudo urbano e arquitetónico da Ilha, consolidando-se como o principal documento sistematizado do edificado e servindo de referência para o dossier de candidatura à Lista do Património Mundial. O estudo de Forjaz (2010) focou-se na arquitetura popular, oferecendo uma análise detalhada das tipologias de construção, das técnicas e materiais utilizados, com especial ênfase na cidade de Macuti. Este estudo também incluiu diretrizes e recomendações para projetos de restauro, reabilitação e construção na Ilha. O estudo de Roders et al (2012) também, conhecido por "Livro Laranja", nome que se vai adotar no presente trabalho propõe um modelo de desenvolvimento da Ilha realizado a partir do edificado, visto que a condição do edifício há muito que vem sendo utilizada como um indicador para ajudar a determinar o estado de conservação do património, bem como das condições de habitabilidade

da população na Ilha de Moçambique. A tese de Sollien (2014), ao explorar os binómios projeto-uso, apropriação-uso e patrimonialização-patrimonialidade, coloca a conservação e o desenvolvimento como processos complementares e dinâmicos, resultantes de negociações entre diversos grupos, estratégias, práticas e valores, com ênfase na gestão urbana.

Esses estudos, aliados à parte normativa, configuram os principais documentos estruturantes da questão da valorização e salvaguarda do património edificado da Ilha, e fundamentam os objetivos da ação das Oficinas de Muhipiti. Com base nessas leituras, foi possível desenvolver a matriz síntese da leitura do Valor Universal Excecional (VUE) da Ilha de Moçambique, organizada em três domínios: i) Arquitetónico e Estético; ii) Construtivo; iii) Gerais. A figura 2 apresenta, de forma resumida, a quantidade de conteúdos abordados nas últimas sete décadas. Importa destacar que o domínio arquitetónico e estético, com especial enfoque nas varandas e nas coberturas, no caso da tipologia da cidade de Macuti, e na composição das fachadas, no caso da cidade de Pedra e Cal, são as questões mais recorrentes, quando comparadas com outros domínios de análise.

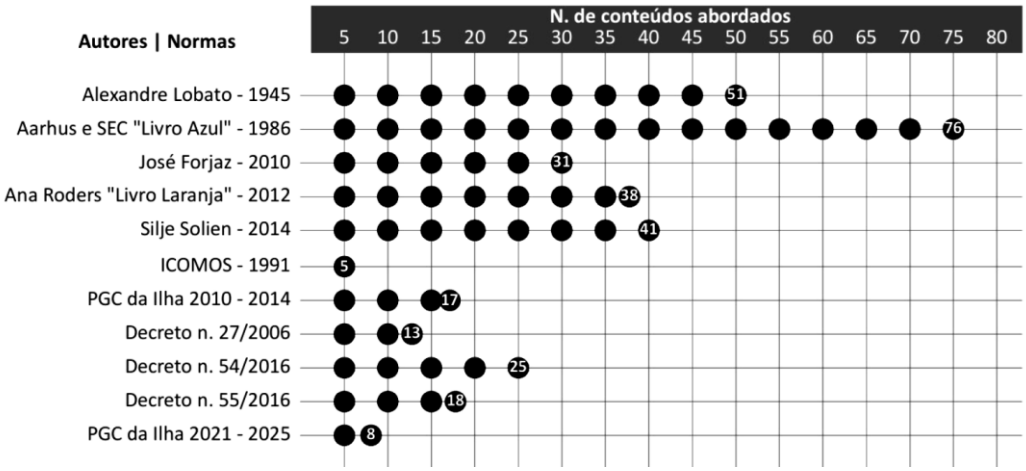


Fig. 2: Gráfico comparativo resumo do VUE da Ilha de Moçambique na perspetiva científica e normativa em função do número de conteúdos abordados.

Foram aplicadas 296 questões no total, das quais 115 incidiam sobre aspetos arquitetónicos, 144 sobre elementos construtivos e 33 sobre patologias construtivas, em 72 edifícios selecionados para a amostra. Desses, 64 foram classificados como edifícios correntes e 8 como edifícios singulares. Dentro do conjunto de edifícios correntes, 24 localizam-se na cidade de Pedra e Cal e 40 na cidade de Macuti. Importa referir que todos os edifícios classificados como singulares se encontram situados na cidade de Pedra e Cal.

A seleção dos edifícios foi conduzida por uma equipa multidisciplinar, composta por técnicos de diferentes áreas do Gabinete de Conservação da Ilha de Moçambique (GACIM) e pelos investigadores, o que exigiu uma linguagem acessível e a evitar o uso de termos excessivamente técnicos, embora se tenha elaborado um Guião de Apoio disponibilizado aos participantes. Os critérios adotados para a campanha de observação visaram apoiar decisões futuras relativas à conservação, potenciais financiamentos, projetos de intervenção e a elaboração de uma tese no programa de doutoramento em Patrimónios de Influência Portuguesa na Universidade de Coimbra. Nesse sentido, tais critérios tiveram de ser rigorosamente fundamentados, claros e aplicáveis, de forma a garantir sua efetiva utilização nas diversas fases do processo de valorização e salvaguarda.

Participantes: envolvimento e capacitação da comunidade

O trabalho de campo foi delineado para responder à questão central da pesquisa: "Quais são as evidências dos valores e atributos do edificado da Ilha de Moçambique?". Para tal, participaram na ação diversos agentes económicos e sociais, entidades governamentais, bem como instituições académicas. Além disso, foram envolvidos atores externos, incluindo profissionais independentes, como artesãos, arquitetos e demais residentes na Ilha. Cada grupo era constituído por 5 ou 6 pessoas, sendo que, por cada grupo, pelo menos 2 pessoas tinham formação específica da área do património.

Considerando que nem todos os participantes estavam familiarizados com as teorias do património cultural, foi necessário implementar um curso intensivo. Este curso consistiu em palestras teóricas complementadas por atividades práticas, com o objetivo específico de capacitar os participantes para a observação, interpretação e caracterização do local, utilizando métodos adequados à análise do património.

Funcionamento: integração e valorização do conhecimento local numa abordagem estruturada e científica

O objetivo foi alcançado de forma gradual, exigindo uma ação integrada de cada grupo de trabalho. Para isso, a fotografia e o preenchimento de uma ficha de caracterização desempenharam um papel essencial. A ficha foi estruturada em quatro partes: i) características gerais; ii) caracterização arquitetónica; iii) caracterização construtiva; e iv) estado de conservação. Por meio de um processo interativo, os grupos identificaram os edifícios a serem caracterizados e, em interação com os residentes das moradias, preencheram as fichas de forma colaborativa.

Tratamento e resultado

A experiência didática e científica desenvolvida teve como objetivo aprofundar a compreensão crítica dos participantes relativamente aos valores qualitativos e estatísticos do património edificado, através da interação com processos e instrumentos de caracterização patrimonial aplicados num contexto diversificado de tipologias arquitetónicas e construtivas. Esta abordagem visou não apenas a aquisição de competências técnicas, mas também a consolidação de uma perspetiva analítica sobre os atributos materiais e imateriais do edificado da Ilha de Moçambique, culminando na produção de um relatório técnico sistematizado.

O trabalho de análise documental foi condicionado pela disponibilidade e acessibilidade de estudos prévios sobre o edificado da Ilha de Moçambique, destacando-se os contributos de Lobato (1945), *Livro Azul* (1986), José Forjaz (2010), *Livro Laranja* (2012), e Silje Sollien (2014). Para a fundamentação normativa, foram mobilizados os principais referenciais internacionais e nacionais aplicáveis, nomeadamente os documentos do ICOMOS (1991), o Plano de Gestão e Conservação da Ilha de Moçambique (2010–2014) [PGC 2010–2014], o Decreto n.º 27/2006 de 13 de julho, o Decreto n.º 54/2016 de 28 de novembro, o Decreto n.º 55/2016 de 28 de novembro, bem como o Plano de Gestão e Conservação da Ilha de Moçambique (2021–2025) [PGC 2021–2025].

RESULTADOS: PRODUÇÃO DE INFORMAÇÃO ESTRUTURADA

Oficina de Muhipiti

A produção da informação detalhada foi realizada segundo um guião previamente definido, e consistiu em: i) caracterização arquitetónica, por meio de fotografias e desenhos esquemáticos, mas minuciosos; ii) caraterização construtiva, focando nos materiais e componentes utilizados; iii) identificação de pontos singulares e elementos identitários; iv) avaliação do estado de conservação, incluindo observação, registo, descrição, diagnóstico, estratégias de prevenção e intervenções necessárias; v) avaliação do desempenho funcional, considerando aspetos como conforto, eficiência energética, segurança, durabilidade, acessibilidade, entre outros critérios relevantes.

A cidade de Pedra e Cal, além de sua função habitacional, destaca-se pela integração eficiente dos serviços públicos, o que contribui para uma maior coesão e funcionalidade urbana. Por outro lado, a cidade de Macuti, originada de uma ocupação espontânea, apresenta características informais, mas constitui uma referência significativa em termos de escala, padrão urbano, técnicas construtivas e tipologias dos edifícios populares.

Embora os modelos de ocupação das duas cidades sejam distintos, em algumas tipologias de casas *Swahili*, os espaços públicos são delineados pela integração das varandas, que funcionam como transição entre o público e o privado. Em outras tipologias, essa definição ocorre através das fachadas contínuas dos edifícios, que dispensam a utilização de varandas.

Como resultado da campanha de observação sistemática, é relevante destacar três domínios analíticos fundamentais que estruturam a leitura crítica do edificado:

I. A caracterização arquitetónica e construtiva da cidade de Macuti, em que se observa um conjunto diversificado de soluções tecnológicas populares, apropriadas e progressivamente readaptadas às condições locais. Trata-se predominantemente de habitações de caráter popular, com coberturas vegetais – em macuti ou materiais equivalentes – e paredes de alvenaria em pau-a-pique, rebocadas e caiadas nas suas faces interna e externa. Este modelo construtivo tem evoluído ao longo das últimas décadas, em resposta a transformações de ordem técnica, social e económica, resultando num contínuo processo de reinterpretação das práticas tradicionais. O trabalho de campo permitiu identificar quatro principais tipologias de paredes: i) terra/adobe; ii) pau-a-pique; iii) pedra e cal; iv) estrutura vegetal. No que respeita às coberturas, constatou-se uma notável diversidade de soluções inclinadas, incluindo elementos vegetais (macuti), chapas de fibrocimento, chapas metálicas industriais e telha cerâmica. Em número mais reduzido, também se registam coberturas planas, executadas em lajes de betão armado ou em sistemas aligeirados.

   Na cidade de Pedra e Cal, os sistemas construtivos das paredes são constituídos, maioritariamente, por blocos de calcário de coral, rudemente talhados e aparelhados de forma artesanal. As coberturas planas em laje de pedra, com acesso funcional, configuram a tipologia predominante. Contudo, observa-se, em construções mais recentes ou em intervenções de adaptação, a introdução de coberturas inclinadas, frequentemente sobrepostas a lajes planas preexistentes, evidenciando uma transição formal e funcional nos sistemas construtivos ao longo do tempo (ver figura 3).

II. A identificação de pontos singulares e elementos identitários, em que se revelam especificidades importantes nas duas cidades analisadas. Na cidade de Macuti, os principais elementos singulares manifestam-se nas soluções de ventilação integradas nas coberturas, nas bancadas frontais e posteriores associadas ao uso quotidiano das

habitações, bem como nas barreiras de proteção contra águas pluviais, localizadas junto às entradas das casas. Tais elementos, de cariz funcional e simbólico, reforçam a adaptação das construções ao clima tropical e à vivência comunitária.

Na cidade de Pedra e Cal, os elementos singulares concentram-se, sobretudo, nos componentes em cantaria, como cunhais, embasamentos, vergas, ombreiras, soleiras, mísulas e cachorros. Estes elementos não apenas conferem uma expressividade estética e simbólica associada à nobreza construtiva, como também desempenham funções estruturais relevantes. A cantaria atua, muitas vezes, como reforço em pontos críticos da edificação, contribuindo para a estabilidade e durabilidade do conjunto edificado, além de definir a composição formal das fachadas e a leitura arquitetónica dos edifícios.

O embasamento, em particular, cumpre uma dupla função: por um lado, tem valor estético, ao demarcar e qualificar visualmente a base dos edifícios; por outro, tem um papel protetor fundamental, atuando como barreira contra agentes de degradação física e ataques de humidade ascendente, desempenhando assim um papel essencial na conservação das paredes e na integridade estrutural dos edifícios (ver figura 4).

III. A avaliação do estado de conservação dos edifícios na cidade de Pedra e Cal, em que proporciona uma compreensão aprofundada dos diversos tipos e níveis de degradação do edificado, permitindo orientar futuras ações estratégicas e técnicas de conservação e valorização patrimonial. Com base na observação sistemática, é possível agrupar os edifícios em três grandes categorias, de acordo com o seu estado de conservação: i) Edifícios reabilitados recentemente ou com manutenção regular, que se encontram em bom estado funcional e estrutural. Como exemplo paradigmático, destaca-se o edifício do Museu; ii) Edifícios em uso, mas com manutenção deficiente ou pouco sistemática, evidenciando sinais de desgaste e degradação acumulada. Como caso ilustrativo, pode referir-se o edifício do Tribunal; iii) Edifícios devolutos, sem qualquer intervenção de reabilitação ou manutenção há um período considerável, frequentemente em estado avançado de deterioração, podendo representar risco estrutural e perda de valor patrimonial.

Embora, à primeira vista, a zona de Pedra e Cal possa parecer apresentar menor diversidade tipológica e construtiva, o que sugeriria uma análise mais simplificada, verifica-se, na realidade, uma complexidade significativa, decorrente da coexistência de variantes dentro da tradição construtiva local, da introdução de alterações ao longo do tempo, bem como da presença de construções mais recentes que incorporam técnicas, formas e volumetrias distintas. Esta diversidade exige, por conseguinte, uma leitura mais crítica e diferenciada dos processos de degradação e conservação.

Na cidade de Macuti, a ação da água constitui um dos fatores mais determinantes na degradação das construções, sobretudo nos bairros onde predominam habitações com paredes de terra. As patologias observadas resultam, em grande medida, da vulnerabilidade dos materiais utilizados e da exposição direta a agentes atmosféricos. Conforme o modelo proposto por Houben e Guillaud (2006), a deterioração de construções em terra sob ação da água está relacionada com o trinómio "fonte–meio–força", sendo os fatores essenciais: i) a presença de água sobre a superfície da construção; ii) a existência de aberturas ou descontinuidades que permitam a penetração da água; e iii) a atuação de forças físicas, como pressão, gravidade ou capilaridade, que promovem o movimento da água no interior dos materiais. Importa, neste ponto, lembrar que parte destes problemas deve-se ao facto de alguns bairros da cidade de Macuti estarem implantados em áreas de cota muito baixas, inferior a 1 metro do nível do mar (ver figura 5). A topografia plana e deficiente serviço de drenagem dificulta o escoamento natural das águas pluviais, resultando em acumulação e alagamentos frequentes. Este quadro explica,

em grande parte, a natureza e a frequência das anomalias identificadas nas construções de Macuti, exigindo medidas específicas de prevenção, manutenção e adaptação construtiva.

Envolvimento e capacitação

A participação de determinados atores não especializados, sobretudo provenientes de fora do domínio técnico-científico, pode representar um potencial risco para a fiabilidade da leitura do edificado, nomeadamente no que diz respeito ao grau de rigor metodológico e à consistência dos resultados obtidos. Contudo, o envolvimento da comunidade local revela-se simultaneamente uma mais-valia e uma condição essencial para a consolidação de uma abordagem participativa, inclusiva e sustentável. Tal envolvimento contribui decisivamente para a formação de uma consciência crítica sobre o património construído, promovendo o sentimento de pertença e responsabilidade coletiva quanto à sua salvaguarda.

Com o intuito de mitigar os riscos inerentes à participação de atores não técnicos — conforme expresso na preocupação acima referida — foi estruturada uma estratégia metodológica em três etapas fundamentais. A primeira consistiu na elaboração de um guião orientador e de uma ficha de apoio à leitura, com instruções claras, tanto escritas quanto gráficas, visando uniformizar a abordagem e garantir um mínimo denominador comum de entendimento. A segunda etapa compreendeu a capacitação prévia dos participantes, através da realização de um Seminário Técnico-Pedagógico sediado no Instituto Médio Politécnico da Ilha de Moçambique, (IMPIM) assegurando a transmissão dos conceitos essenciais e das metodologias de registo e análise. A terceira etapa correspondeu à sistematização e validação crítica dos dados recolhidos, assegurando o controlo de qualidade da informação e a sua conformidade com os objetivos científicos e técnicos da investigação.

O guião e a ficha de apoio com orientações de leitura foram concebidos como instrumentos metodológicos fundamentais para assegurar o rigor, a uniformidade e a clareza durante o processo de observação e caracterização do edificado. O guião funcionou como um roteiro técnico e pedagógico, elaborado com o objetivo de orientar o olhar do observador de forma sistemática e criteriosa ao longo da leitura in situ do edifício. Estruturado em tópicos descritivos, o guião fornecia indicações precisas sobre os principais aspetos a serem registados, tais como: a localização geográfica exata do imóvel; o tipo de implantação urbana (isolado, geminado, contínuo, entre outros); a presença e natureza de elementos decorativos na fachada, como frisos, molduras ou ornamentos diversos; bem como a identificação dos tipos e tipologias de vãos, nomeadamente portas e janelas.



[#01]

Cobertura em chapa metálica sobrepostas a lajes planas preexistente.



[#02]

Cobertura em chapa de fibrocimento sobrepostas a lajes planas preexistente.

Fig. 3 – Coberturas inclinadas, frequentemente sobrepostas a lajes planas preexistentes na cidade de Pedra e Cal.



[#01]

Embasamento. Cumpre uma dupla função: proteção das águas no no exterior do edifício e valor estético.



[#02]

Água lateral da cobertura com soluções de encaixe e ventilação integradas peculiar.

Fig.4 – Pontos singulares e elementos identitários na cidade de Macuti.



[#01]

Humidade ascensional – cidade de Pedra e Cal.



[#02]

Colonização biológica – cidade de Macuti.

Fig. 5 – Estado de conservação

Complementarmente, foi desenvolvida uma ficha de apoio, concebida como documento síntese, com estrutura de formulário, destinada ao registo direto e sistematizado das observações realizadas no terreno. Esta ficha comportava um total de 296 questões orientadoras, organizadas em secções temáticas, que permitiam ao observador recolher um conjunto alargado de informações pertinentes e objetivas. Entre essas secções, destacam-se: i) os dados gerais, que compreendiam a identificação do edifício (nome, proprietário, data provável de construção, entre outros); ii) os materiais de construção, com foco nos componentes estruturais, elementos de revestimento e acabamentos; iii) os elementos construtivos e arquitetónicos, abrangendo a descrição da fachada principal, caracterização das portas e janelas, tipo de cobertura, e identificação de elementos decorativos específicos; e, por fim, iv) as observações sobre intervenções, que registavam alterações ou modificações visíveis, ampliações não originais, bem como o estado atual de conservação, incluindo sinais de degradação, danos materiais e outras patologias construtivas.

O Seminário Técnico-Pedagógico constituiu uma etapa central no processo de capacitação dos participantes envolvidos na leitura e caracterização do edificado, integrando uma vertente formativa cuidadosamente estruturada. Para este fim, foi elaborado um programa de formação intensiva, concebido com base em temáticas transversais, orientadas para o aprofundamento de conhecimentos técnicos, patrimoniais e metodológicos. Os conteúdos apresentados foram organizados em torno de sete módulos temáticos, com enfoque interdisciplinar e relevância direta para o contexto da Ilha de Moçambique. São eles: i) "Tal como as pessoas: a diversidade e a complexidade na matriz do património" — abordagem crítica sobre a pluralidade de expressões culturais e arquitetónicas presentes no tecido urbano, evidenciando o património como construção social e histórica, com múltiplas camadas de significado; ii) "A reabilitação de edifícios como imperativo e desafio" — reflexão sobre os processos de reabilitação enquanto resposta às necessidades contemporâneas de uso e conservação, destacando os dilemas técnicos e éticos envolvidos; iii) "Da tectónica de placas ao edificado: uma perspetiva" — apresentação dos fatores geológicos e ambientais que influenciam a durabilidade das construções e os riscos associados ao território, relacionando-os com os sistemas construtivos locais; iv) "Os edifícios e o clima: desafios na Ilha de Moçambique" — análise dos condicionamentos climáticos na performance e conservação do edificado, com ênfase nos efeitos da humidade, salinidade, ventos e chuvas; v) "Contributos da legislação para a conservação do património edificado" — revisão do quadro legal nacional e internacional aplicável à conservação patrimonial, destacando instrumentos normativos, responsabilidades institucionais e oportunidades para a gestão sustentável dos bens culturais; vi) "Contributos para um plano de gestão de um BEM inscrito na Lista do Património Mundial" — introdução aos princípios e diretrizes de planeamento estratégico exigidos pela UNESCO, com foco na criação de planos de gestão integrados, participativos e baseados na proteção dos valores patrimoniais; vii) "Trabalhos de restauro desenvolvidos pelo IMPIM (2016–2021)" — exposição de casos práticos e intervenções realizadas pelo Instituto de Museus e do Património da Ilha de Moçambique, oferecendo uma leitura aplicada das boas práticas de conservação, restauro e valorização do edificado.

A sistematização dos dados e a validação da informação constituíram uma etapa determinante para assegurar o rigor e a fiabilidade dos resultados obtidos durante a fase de observação. Este processo baseou-se, essencialmente, na comparação entre os dados recolhidos em campo e a documentação histórica existente, como livros, arquivos, relatórios técnicos e pareceres de especialistas. A confrontação crítica dessas fontes permitiu aferir a veracidade das informações registadas e identificar eventuais lacunas ou incoerências nos relatos obtidos.

Paralelamente, recorreu-se extensivamente às fotografias tiradas durante as visitas aos edifícios, que foram utilizadas como instrumento de verificação visual, permitindo validar a descrição dos elementos construtivos, arquitetónicos e decorativos. Essa verificação visual facilitou a confirmação da presença, localização e estado de conservação de diversos componentes, reforçando a coerência entre o que foi observado e o que foi descrito nos formulários e fichas técnicas.

Todos os dados recolhidos foram cuidadosamente organizados e inseridos numa base de dados digital, alojada numa plataforma de partilha colaborativa (Google Drive), de modo a facilitar o seu acesso e reutilização. Esta base de dados encontra-se disponível para consulta por investigadores, gestores do património, autoridades locais e outros interessados. As informações para acesso estão incluídas no relatório que foi publicamente apresentado em sessão aberta na Ilha de Moçambique, promovendo a transparência, a partilha de conhecimento e o envolvimento da comunidade no processo de valorização do património edificado.

Integração e valorização do conhecimento local

A integração do conhecimento local foi concebida como um dos eixos fundamentais para a promoção de uma abordagem mais inclusiva, sustentável e eficaz no processo da ação das Oficinas de Muhipiti. Neste sentido, pode se reconhecer o papel central da comunidade local não apenas como beneficiária das ações de valorização do BEM, mas sobretudo como agente ativo na produção, preservação e transmissão de saberes enraizados nas práticas cotidianas, nas técnicas construtivas e nas formas de apropriação dos espaços urbanos. A experiência e o saber empírico dos habitantes da Ilha, muitas vezes transmitidos oralmente ao longo de gerações, foram entendidos como património imaterial indissociável do edificado material, devendo, portanto, ser incorporados nas estratégias de intervenção e gestão.

A envolvimento da comunidade local foi estimulada através de ações de sensibilização e formação, que permitiram não só o envolvimento direto nas atividades de observação e levantamento, como também a partilha de perceções, memórias e interpretações sobre os edifícios e os espaços urbanos. Esta aproximação gerou um diálogo intergeracional e interinstitucional, em que os conhecimentos vernaculares se cruzaram com os saberes técnicos e científicos, possibilitando leituras mais abrangentes e integradas do território.

O contributo de artesãos locais nas ações das Oficinas de Muhipiti representou o elo entre o edificado e a prática cultural que lhe dá origem e sentido. Ao serem integrados nos grupos de trabalho, os artesãos não apenas validam a autenticidade das interpretações sobre o edificado, como também contribuíram ativamente nos debates condizentes com os modos de produção tradicionais, a disponibilidade de materiais locais e os ritmos próprios da comunidade. A sua presença assegurou, portanto, que o reconhecimento do BEM não se tornasse uma abstração, mas sim um processo ancorado na experiência que merece a reflexão permanente.

A participação de técnicos das instituições públicas locais fortaleceu a articulação entre os atores presentes na ação. Estes profissionais têm um conhecimento institucional e normativo que permitiu mediar interesses diversos, garantir a conformidade com os instrumentos legais vigentes e viabilizar a integração da comunidade nas reflexões e, o inverso, o acesso dos investigadores no trabalho de campo. Além disso, por estarem enraizados nas dinâmicas locais, são frequentemente figuras de confiança, capazes de facilitar o diálogo entre os diversos intervenientes e de promover a continuidade das ações após a etapa do reconhecimento formal.

A presença de estudantes e professores da Universidade Lúrio e, também, do IMPIM representou uma ação estratégica para a sustentabilidade e reflexão do conhecimento. Os

estudantes com a sua visão crítica e inovadora, junto dos professores que atuaram como pontes entre o saber tradicional e os métodos técnicos e científicos contemporâneos. Esta colaboração contribuiu para uma reflexão ainda mais ampla de conservação e ou restauro desenvolvida na tese de doutoramento[2].

A participação dos especialistas assegurou a qualidade técnica das observações realizadas, em consonância com os objetivos propostos. No entanto, a sua atuação torna-se particularmente relevante quando fundamentada numa ação ativa das comunidades e na apropriação dos saberes locais. É nesse diálogo que os saberes técnicos se entrelaçam com os saberes tradicionais, permitindo que esses profissionais atuem como mediadores culturais capazes de traduzir as necessidades, memórias e práticas locais em soluções construtivas, espaciais e infraestruturais alinhadas com os valores patrimoniais do lugar. Integrados em equipas multidisciplinares, esses especialistas não apenas reforçam a viabilidade técnica das propostas, mas também asseguram que estas sejam culturalmente enraizadas, socialmente relevantes e legitimadas pelas comunidades a quem o património verdadeiramente pertence.

A sistematização do conhecimento, desde a recolha e análise de dados até à elaboração de narrativas interpretativas que sustentam o reconhecimento formal do BEM, foi conduzida com rigor pelo grupo de investigadores envolvidos. Para além da dimensão técnica, a sua contribuição revelou-se especialmente significativa ao facilitar o diálogo entre os diversos atores locais, promovendo uma abordagem verdadeiramente participativa. Ao atuar como ponte entre o saber académico e os conhecimentos enraizados nas comunidades, os investigadores não apenas reforçaram a legitimidade do processo, como também valorizaram a dimensão coletiva e plural do património cultural.

A presença dos órgãos de comunicação social revelou-se uma aliada estratégica no fortalecimento da ação. Para além de ampliarem a visibilidade pública das ações empreendidas, os media desempenharam um papel crucial enquanto mediadores da dimensão educativa da iniciativa, levando a uma audiência alargada, local, regional e até nacional, a relevância da salvaguarda do património cultural. A cobertura jornalística não se limitou à mera reportagem; foi um instrumento de sensibilização, ao dar voz às comunidades, esclarecer os objetivos e metodologias da intervenção, e destacar o protagonismo local na preservação e valorização do seu legado. Esta dinâmica comunicacional ajudou a cultivar um renovado sentido de pertença e de responsabilidade coletiva em torno do património edificado, transformando a informação em consciência e a consciência em ação.

Pode-se, assim, reconhecer que o impacto desta abordagem integradora manifestou-se na ativação de novos diálogos, mais próximos da realidade e mais alinhados com os princípios da gestão participativa do património. As Oficinas constituíram espaços privilegiados de experimentação e partilha, favorecendo o reconhecimento do conhecimento local como um recurso cultural estratégico, legítimo e imprescindível para a leitura dos valores patrimoniais mais sensíveis ao contexto. A valorização do BEM, concebida neste enquadramento, transcende os limites do saber técnico: torna-se um processo vivo de construção coletiva de sentido, identidade e horizonte, onde o património é, simultaneamente, memória partilhada e possibilidade de futuro.

[2] Tese de Isequiel Alcolete do programa de doutoramento em Patrimónios de Influência Portuguesa na Universidade de Coimbra - III/CES, intitulada "Salvaguarda e Valorização do Património Edificado da Ilha de Moçambique. Contributos para uma Estratégia de Gestão Sustentável".

COMENTÁRIOS FINAIS

Durante muitos anos, a conservação do património foi amplamente associada à recuperação de edifícios de valor monumental, com foco especial em intervenções em imóveis de importância histórica, simbólica e artística. No entanto, nas últimas décadas, com a patrimonialização da Ilha de Moçambique, consolidou-se a perceção de que a reabilitação urbana integrada, abrangendo também os edifícios de valor social, é uma ação essencial para a preservação do legado cultural e o desenvolvimento sustentável local e global.

Os dados apresentados resultam, em grande parte, da iniciativa das Oficinas de Muhipiti, que buscaram "redescobrir" o edificado da Ilha de Moçambique. O estudo evidencia a necessidade urgente de se definir o valor intrínseco dos atributos das cidades de Pedra e Cal e de Macuti, com o intuito de garantir a salvaguarda e valorização do património e a melhoria contínua da qualidade de vida da comunidade local. Embora os resultados obtidos sejam, em grande parte, de primeira ordem, observa-se que a matriz de valores do património edificado da Ilha de Moçambique permite uma análise mais profunda de segunda e terceira ordens, o que é crucial para uma melhor fundamentação dos novos paradigmas arquitetónicos e construtivos que emergem no contexto atual.

A ação das Oficinas de Muhipiti evidencia que a metodologia participativa, alicerçada na observação e leitura direta do tecido edificado por parte dos próprios moradores, constitui um instrumento eficaz para a promoção de partilha de saberes. Esta metodologia, simultaneamente, configura-se num espaço de escuta e observação ativa, permitindo aos participantes a expressão de preocupação relativa à potencial erosão da identidade local, às transformações socio espaciais emergentes e a sua progressiva possibilidade de exclusão dos processos deliberativos concernentes ao futuro da Ilha.

REFERÊNCIAS

Aahus, Arkitektskolen i e Secretaria de Estado da Cultura de Moçambique [Livro Azul]. Ilha de Moçambique: Relatório-Report, Aarhus: Aarhus University/Secretaria de Estado da Cultura de Moçambique, 1986.

Alcolete, I. Salvaguarda e Valorização do Património Edificado da Ilha de Moçambique. Contributos para uma Estratégia de Gestão Sustentável, Ph.D Thesis, Universidade de Coimbra, 2024.

Allen, J. D. V. Swahili Architecture in the Later Middle Ages. African Arts, 1974.

Allen, J. D. V. Review of Lamu: A study of the Swahili Town; The Sacred Meadows: a structural analysis of religious symbolism in an East African Town [Review of Review of Lamu: A study of the Swahili Town; The Sacred Meadows: a structural analysis of religious symbolism in an East African Town, revisto por U. Ghaidan & A. H. M. el Zein]. Journal of Eastern African Research & Development, Vol.6, pp.295–303, 1976.

Amoêda, R., Lira, S., & Pinheiro, C. (Eds.). Heritage 2010: Heritage and sustainable development : proceedings of the 2nd International Conference on Heritage and Sustainable Development, Évora, Portugal, 22-26 June (1st edition). Green Lines Institute for Sustainable Development, 2010.

Berti, M., Arif, M. Conservação dos antigos edifícios de pedra coral. Dois casos ao longo da costa moçambicana. FAPF, 2005.

Bita, C. Non-European Shipwrecks of the Western Indian Ocean. Current Science, Vol. 11, pp. 1687, 2019.

Cerqueira, F. V. New guidelines for the protection of heritage: Cultural diversity and the intangible / Novas diretrizes para a proteção do patrimônio: a diversidade cultural e o imaterial. Métis: História & Cultura. Revista Do Departamento de História Da Universidade de Caxias Do Sul, pp.40–63, 2012.

Creswell, J. Investigação qualitativa e projeto de pesquisa: Escolhendo entre cinco abordagens. Penso, 2014.

Decreto no. 27/2006 de 13 de Julho. Estatuto Específico da Ilha de Moçambique. Boletim da República. I Série, 2006.

Decreto no. 54/2016 de 28 de novembro. Regulamento sobre a Classificação e Gestão do Património Edificado e Paisagístico da Ilha de Moçambique, o Glossário, o Mapa da Área de Proteção Costeira, o Mapa de Praias Abertas e Enfiamentos Visuais, Mapa de Infraestruturas Viárias, o Catálogo dos Edifícios Classificados da Ilha de Moçambique da Cidade de Pedra e Cal. Boletim da República. I Série, 2016.

Decreto no. 55/2016 de 28 de novembro. Regulamento sobre Sobre a Gestão de bens Culturais Imóveis. Boletim da República. I Série, 2016.

Diniz, F. M. L. Levantamento Arquitectónico para Intervenção no Património Vernacular Edificado, Ph.D Thesis, Universidade da Beira Interior, 2014.

Dosumu, O., Aigbavboa, C.. Drivers and effects of sustainable construction in the South African construction industry. Acta Structilia, Vol.28, 2021.

Forjaz, José. Island of Mozambique – Architectural survey and study on local vernacular architecture. Reference Nr: 513MOZ4001. Maputo: José Forjaz Arquitectos, 2010.

Houben, H., Guillaud. CRATerre - Traité de construction en terre. Parenthèses, Marseille, 2006.

Ichumbaki, E. B., Mapunda, G., Cooper, J. P., Mark, S. R., Mjema, E. A., Blue, L., & Biginagwa, T. J. Names of Contemporary Wooden Boats of Coastal East Africa: Origins and Meanings. Eastern African Literary and Cultural Studies, Vol. 8, pp. 253–278, 2022.

Lage, L., Carrilho, J., & Bruschi, S. Era uma vez uma palhota. FAPF, 2005.

LaViolette, A. The Changing Power of Swahili Houses, Fourteenth to Nineteenth Centuries A.D. J. Fleisher & A. LaViolette. In The Durable House: House Society Models in Archaeology, Ed. R. A. Beck, Jr., pp. 175-197. Occasional Paper No. 35, Center for Archaeological Investigations. Carbondale: Southern Illinois University, 2007.

Leite, P. P. Casa Muss-Amb-Ike - O Compromisso No Processo Museológico Master Thesis, Universidade Lusófona De Humanidades e Tecnologias, 2010.

Lobato, A. A Ilha de Moçambique. Imprensa Nacional de Moçambique, 1945.

Lobato, A. Ilha De Moçambique: panorama estético. Agência Geral do Ultramar, 1966.

Mahumane, C., e Simbine, C. (Re-)interpreting the Artefact Collection of the Nossa Senhora da Consolação Wreck (1608). International Journal of Nautical Archaeology, pp. 1–20, 2023.

Mataga, J. African heritage challenges: Communities and sustainable development. International Journal of Heritage Studies, Vol. 27, pp. 1079–1082, 2021.

Oke, A., Aghimien, D., Aigbavboa, C., & Musenga, C. Drivers of Sustainable Construction Practices in the Zambian Construction Industry. Energy Procedia, 158, 3246–3252, 2019.

Okpalanozie, O. E., Adetunji, O. S. Architectural Heritage Conservation in Nigeria: The Need for Innovative Techniques. Heritage, Vol. 4, 2021.

Pinto, M. R., Fabbricatti, K., Bosone, M. Heritage Community Resilience for sustainable and resilient human settlements. XVII International Forum. World Heritage and Legacy Culture, Creativity, Contamination, Roma, 2019.

Plessis, C. du, CIB, International Environmental Technology Centre. Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: A discussion document. CSIR Building and Construction Technology ; CIB, 2002.

Pollard, E., Duarte, R., & Duarte, Y. T. Settlement and Trade from AD 500 to 1800 at Angoche, Mozambique. African Archaeological Review, Vol. 35, pp. 443–471, 2018.

Pollard, E., Kinyera, O. C. The Swahili Coast and the Indian Ocean Trade Patterns in the 7th–10th Centuries CE. Journal of Southern African Studies, Vol. 43, pp. 927–947, 2017.

Roders, A., Aguacheiro, J. e Hougaard, J. [Livro Laranja] . Ilha de Moçambique: Paisagem Histórica Urbana em Perpectiva. Eindhoven University of Technology, Eindhoven, pp. 155, 2012.

Silva, A., Derks, R., Roders, A., Hougaard, J. Cultural heritage management and ownership regime in Island of Mozambique. Em M. Correia, G. Carlos, & S. Rocha (Eds.), Vernacular Heritage and Earthen Architecture, pp. 171–176, CRC Press, 2013.

Starrenburg, S. Final Report of the ILA Committee on Participation in Global Cultural Heritage Governance. International Journal of Cultural Property, Vol. 30, pp. 230–244, 2023.

UNESCO, W. H. C. Recommendation on the Historic Urban Landscape, 2011.

Wynne-Jones, S. The public life of the Swahili stonehouse, 14th–15th centuries AD. Journal of Anthropological Archaeology, Vol. 32, pp. 759–773, 2013.

ARTIGO Nº23463

PROPRIEDADES ESTÉTICAS E MECÂNICAS DO BETÃO BRANCO: UM NOVO PARADIGMA NA CONSTRUÇÃO

Málik Boane[1(*)], Daniel Mazive[2], Alexandra Neves[3]

[1]Técnica Engenheiros e Consultores, LDA – Maputo, Moçambique
[2]Ribemoz SA - Maputo, Moçambique
[3]Técnica engenheiros e consultores, LDA – Maputo, Moçambique
(*) *Email:* mboane@tec.co.mz

RESUMO

Este artigo apresenta uma análise sobre o betão branco, com ênfase na sua característica, processos de produção, aplicação e comparação com o betão cinzento. São apresentados resultados de ensaios laboratoriais, observações obtidas durante a execução da obra, além dos principais desafios enfrentados ao longo do processo de experimentação e aplicação do betão branco. As propriedades de resistência e consistência do betão branco foram avaliadas por meio de ensaios de compressão e de abaixamento pelo cone de Abrams, realizados nas classes de resistências de betão C30/37 e C40/50, da classe de abaixamento S4. Durante a execução em obra, foram registados aspectos importantes do comportamento do material, influenciados por factores como métodos de cura e técnicas de aplicação. Foram identificadas diversas dificuldades e problemas, tais como a segregação da mistura, fissuração prematura e desafios no controlo da resistência. A experiência adquirida contribuiu para destacar a importância da optimização dos processos de dosagem, aplicação e controlo de qualidade do betão, visando garantir um desempenho adequado e a durabilidade da estrutura.

***Palavras-chave**:* Betão branco, resistência à compressão, betão cinzento, razão água/cimento.

INTRODUÇÃO

O betão branco, devido à sua estética diferente, tem sido utilizado em projectos arquitectónicos e estruturais emblemáticas, especialmente em aplicações onde a aparência do material é um factor importante. Entre vários aspectos, o uso de branco, também contribui para eficiência energética de um edifício. Este tipo de betão é geralmente composto por cimento branco, agregados, água e adjuvantes. No entanto, a sua aplicação em obra apresenta desafios que vão desde a formulação da mistura até os cuidados durante o processo de cura e aplicação. A experiência adquirida com o uso do betão branco revela que é fundamental um controle rigoroso na dosagem dos componentes e na execução dos processos de cura, para garantir as propriedades desejadas, como resistência à compressão, durabilidade e especto estético.

Este artigo visa apresentar uma análise das propriedades e aplicações do betão branco, comparando-as com as o betão cinzento e nos desafios enfrentados durante a sua aplicação prática, tanto em ensaios laboratoriais quanto em condições reais de obra. O artigo inclui a avaliação da resistência à compressão e consistência com base em experimentos realizados nas classes de resistência de betão C30/37 e C40/50.

REFERÊNCIAS

Dias, N. C., Betão Auto-Compactável Branco. Coimbra 2002

Kirchheim, A. P., Passuello, A. C., Dal Molin, D. C., & Filho, L. C., Concreto Branco. Em Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações (pp. 1453-1491). Rio Grande do Sul 2005

ARTIGO Nº23484

REFORÇO SÍSMICO DE PILARES DE BETÃO ARMADO

Humberto Varum[1(*)], Camila Carobeno[1], José Melo[1], António Arêde[1]

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, CONSTRUCT - Porto, Portugal
[(*)] *Email:* hvarum@fe.up.pt

RESUMO

Na reabilitação urbana é por vezes necessário reforçar as estruturas dos edifícios existentes para ações (como a ação sísmica) que, em dimensionamento, não foram consideradas ou foram admitidas de acordo com códigos obsoletos. Neste trabalho foram desenvolvidos ensaios de carga lateral cíclica uniaxial e biaxial em pilares de betão armado sem dano, pilares reforçados, e reparados e reforçados com mantas de *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP). A técnica de reforço utilizada é inovadora uma vez que o encamisamento das mantas de CFRP localiza-se junto das armaduras longitudinais, minimizando assim, o mau comportamento mantas de CFRP para elevadas temperaturas. Foram ensaiados seis protótipos sob esforço axial constante, divididos em 2 grupos (carregamento lateral uniaxial ou biaxial) constituídos por um exemplar de controlo, um reforçado e outro reparado e reforçado. Os resultados obtidos são apresentados e comparados em termos de capacidade, ductilidade, capacidade de dissipação de energia e evolução do dano. Aspetos como a irregularidade estrutural e a presença de elementos secundários, caso da alvenaria de enchimento, podem fortemente condicionar a resposta sísmica.

***Palavras-chave**:* pilares de betão armado, reforço estrutural, ensaios cíclicos, CFRP.

INTRODUÇÃO

A observação dos danos provocados em estruturas de betão armado por sismos recentes indica uma performance frágil e de baixa ductilidade, tendo os pilares como a componente crítica para o desempenho e mecanismo de colapso. A maioria das edificações existentes foram projetadas e construídas sem conformidade sísmica, de forma que o mecanismo esperado é puramente baseado em resistência a esforços sem explorar a ductilidade da estrutura para dissipação de energia sob ação sísmica (Carobeno et al., 2025).

Estruturas de betão armado atuam preponderantemente em regime não-linear quando solicitadas por um esforço tão excecional quanto um sismo. Desta forma, o dimensionamento sísmico destas estruturas é baseado em garantir uma capacidade não-linear suficiente para transformar o mecanismo de colapso da estrutura de frágil para dúctil, com um patamar de ductilidade e consequente dissipação de energia. Em um mecanismo dúctil danos são naturalmente esperados, porém, de forma controlada garantindo um ganho de performance e até resistência por parte da estrutura em seu range de performance.

Desta forma, do ponto de vista de dimensionamento, o projeto de estruturas para resistência sísmica é baseado em estabelecer condições de ductilidade local, global e detalhamento sísmico que permitam reforçar a capacidade das zonas mais vulneráveis da estrutura expectáveis de formação de rótulas plásticas. No entanto, a motivação de um dimensionamento sísmico surgiu após danos significativos reais serem apresentados em estruturas decorrentes destas ações,

caracterizando a preocupação inicial na reparação e reforço de estruturas existentes pois, na maioria dos casos a demolição e construção de uma nova estrutura não é viável e nem almejada.

Em estruturas porticadas de betão armado, é reconhecido que os pilares são os elementos mais vulneráveis ao efeito das solicitações sísmicas, uma vez que são essenciais no comportamento global dos edifícios e condicionam diretamente o mecanismo de colapso. Os pilares desempenham uma função primária, não só para a resistência aos esforços axiais e fletores, como principalmente para conferir ductilidade à estrutura. Nesta perspetiva, a comunidade científica tem vindo a desenvolver soluções para reparação e reforço de pilares de betão armado, Rodrigues et al. (2015 e 2018), e para reforço das ligações viga-pilar Pohoryles et al. (2018).

A maioria das técnicas de reabilitação focam em estabelecer mecanismos de aumento da capacidade da estrutura, ramo este de atuação prática da engenharia sísmica. São definidas técnicas tanto globais de aumento de rigidez e resistência como locais a componentes específicos. Do ponto de vista global, destacam-se: a adição de novos elementos com papel estrutural, sejam essas paredes ou contraventamentos. Já do ponto de vista local: reparação dos membros com danos, encamisamentos com concreto, aço ou polímeros de fibra de carbono (CFRP - Carbon Fiber Reinforced Polymer).

Os materiais compósitos CFRP tem sido cada vez mais empregados em aplicações de reforço estrutural, isto pois, são caracterizados por elevada resistência à tração e módulo de elasticidade aliada a uma baixa densidade. Assim, esta empregabilidade permite aumentar a ductilidade e a capacidade de dissipação de energia dos elementos estruturais, além de promover também o maior confinamento do betão e incremento de sua capacidade resistente ao corte e flexão. Todavia, as mantas de CFRP podem ser suscetíveis a incêndios quando expostas a elevadas temperaturas. Desta forma, tendo em vista o panorama majoritário de trabalhos realizados com CFRP que aplicaram o encamisamento de forma perimetral, neste estudo avaliou-se uma solução inicial de encamisamento interno junto ao núcleo de betão, minimizando assim o mau comportamento das mantas para elevadas temperaturas.

A análise do comportamento estrutural por meio de ensaios cíclicos uniaxiais e biaxiais permite representar o desempenho esperado para as componentes da estrutura sob excitação sísmica, explorando a resposta estrutural em regime inelástico. Isto é, fenómenos como a degradação de resistência e rigidez, dissipação de energia e ductilidade são avaliados e quantificados para validar uma técnica de reforço ou subsidiar a escolha de uma premissa de dimensionamento. Desta forma, neste trabalho foram desenvolvidos ensaios de carga lateral cíclica uniaxial e biaxial em pilares de betão armado sem dano, pilares reforçados, e reparados e reforçados com mantas de *Carbon Fiber Reinforced Polymer* (CFRP).

CAMPANHA EXPERIMENTAL

CARACTERIZAÇÃO GEOMÉTRICA, MATERIAIS E TÉCNICAS

Foram considerados seis provetes de pilares de betão armado com armadura nervurada e sem dimensionamento sísmico com características geométricas e propriedades mecânicas dos materiais semelhantes para ambos tipos de carregamento cíclico em situações de controlo, apenas reforçado e reforçado/reparado. Os pilares têm uma secção de 30x30cm², recobrimento de 2,5cm e são armados na longitudinal com varões 8ϕ12mm e na transversal de ϕ6mm com espaçamento de 20cm ao longo do comprimento principal e 10cm na zona do atuador lateral. Os provetes foram encastrados em bloco de fundação rígido com dimensões 44x44x50cm³ fixados solidamente a uma estrutura metálica de grande rigidez. A cota de aplicação da carga

lateral é 1,50m. A Figura 1 detalha a geometria e armadura do protótipo base avaliado. A Tabela 1 a combinação de estudos de caso desenvolvida.

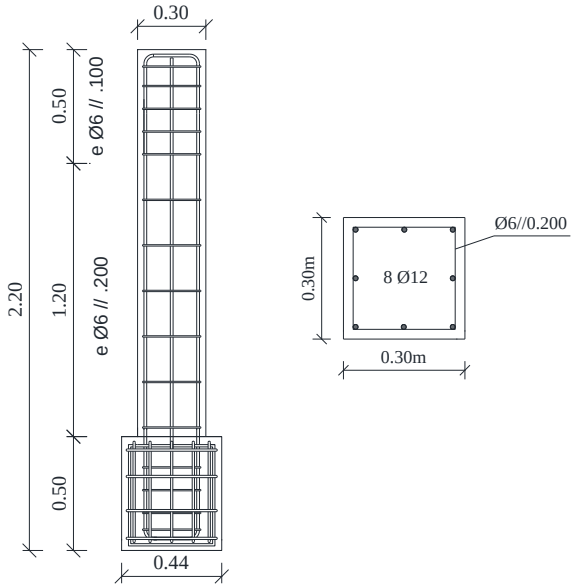


Fig. 1 – Geometria dos provetes avaliados (dimensões em metros).

Tabela 1. Valores médios das propriedades mecânicas.

Provete	Reparado	Reforço	Carregamento Lateral
PD01-N01	Não	Não	Uniaxial
PD01-N04-S		Sim	
PD01-N01-RS	Sim		
PD12-N03	Não	Não	Biaxial
PD12-N05-S		Sim	
PD12-N03-RS	Sim		

O betão utilizado nos pilares tem uma resistência média à compressão f_{cm} de 18.8MPa (provetes cilíndricos Ø150x300mm). A armadura longitudinal tem uma tensão de cedência média f_{ym} de 410MPa e uma tensão de rotura f_{um} de 534MPa. A armadura transversal é da classe A400NR.

Inicialmente foram ensaiados provetes em estado original sem reforço (PD01-N01, PD12-N03), a seguir esses provetes em estado danificado foram reparados e reforçados caracterizando o grupo (PD01-N01-RS, PD12-N03-RS). Por fim, o terceiro grupo avaliado foi constituído por provetes em estado original (sem dano) com reforço (PD01-N04-S, PD12-N05-S).

O principal foco deste estudo foi avaliar o encamisamento interno com mantas CFRP. A zona reforçada foi a base do pilar para um comprimento de rótula plástica de 50cm. A singularidade da metodologia reside na integração das mantas de fibra de carbono no núcleo do elemento, inseridas junto às armaduras existentes. Esta escolha estratégica busca conferir proteção térmica às fibras de carbono, assegurada pela camada de recobrimento de betão.

As mantas de carbono utilizadas apresentam um conjunto de propriedades mecânicas descritas na seguinte performance: resistência característica à tração f_{ju} de 4300MPa, extensão de rotura de 1,8%, módulo de elasticidade E_j de 340GPa e uma reduzida espessura t_j de 0,131 mm.

O processo de aplicação do reforço foi executado seguindo quatro etapas: Primeiramente, a homogeneização do betão na zona de reforço, incluindo o arredondamento dos vértices dos

pilares com um raio de 25 mm. Em segundo, a colagem das tiras de CFRP com recurso a resina epóxi. Em terceiro, a aplicação imediata de areia fina sobre as mantas de CFRP, com o objetivo de otimizar a adesão do betão de recobrimento. Por fim, a restituição do recobrimento com argamassa de reparação, uma semana após a aplicação do CFRP.

O dimensionamento deste reforço foi realizado com base em duas referências normativas: a italiana CNR-DT200/2004 e o Eurocódigo 8-3/2004. Foi adotada a metodologia de encamisamento contínuo no comprimento de rótula plástica de 50cm e os coeficientes de confinamento obtidos pelos cálculos, utilizando ambas as normas, demonstraram valores consistentes e próximos de 1,30. Este resultado é particularmente significativo, pois indica um aumento aproximado de 30% na capacidade de compressão do betão reforçado.

A distribuição das camadas de reforço foi otimizada considerando a previsão da distribuição de esforços e danos na zona crítica. Desta forma, o encamisamento foi implementado em três níveis distintos. O primeiro junto à base do pilar com 3 camadas de CFRP com 17cm de largura. O segundo, espaçado 12 cm do anterior com 2 camadas de 8cm de largura. O terceiro, espaçado 8cm do anterior com uma única camada de 5cm de largura. Acrescenta-se que o reforço foi posicionado a meio espaçamento dos estribos, promovendo um confinamento dual.

Além da técnica de reforço estrutural, um segundo grupo de provetes foi analisado considerando uma técnica de reparação de danos. Com este fim, adotou-se de material para a reconstituição do núcleo do pilar um microbetão de reparação formulado por uma mistura de argamassa de reparação estrutural MasterEmaco S5450PG e um agregado miúdo, gravilha com granulometria de 4-16 mm. A proporção adotada foi de 7,5kg de gravilha para cada 25kg de argamassa. As propriedades mecânicas deste compósito foram determinadas experimentalmente, registando-se uma resistência média à compressão de 70,5MPa e um módulo de elasticidade de 30,8GPa, para ensaios realizados em três provetes cilíndricos. O recobrimento foi reconstituído com a argamassa de reparação MasterEmaco S488, tendo uma resistência de 55MPa após um período de cura de apenas dois dias, conforme indicado pelo fabricante.

A reparação estrutural concentrou-se na zona da rótula plástica dos pilares, sendo descrita por três etapas. Primeiramente o betão danificado foi removido, assegurando-se uma profundidade mínima de 50cm a partir da base do pilar para garantir a completa eliminação das áreas comprometidas. Em segundo, o corte das armaduras longitudinais plastificadas e encurvadas e a sua substituição por novos varões da classe A400NR, processo este realizado através de soldadura e em estrita conformidade com as especificações da referência Rodrigues et al. (2018). Por fim, a reconstituição do elemento com microbetão, incluindo a cofragem junto às armaduras e a betonagem subsequente, visando a restauração integral do núcleo estrutural do pilar. A Figura 2 apresenta de forma resumida as etapas do processo de reparação e reforço dos pilares.

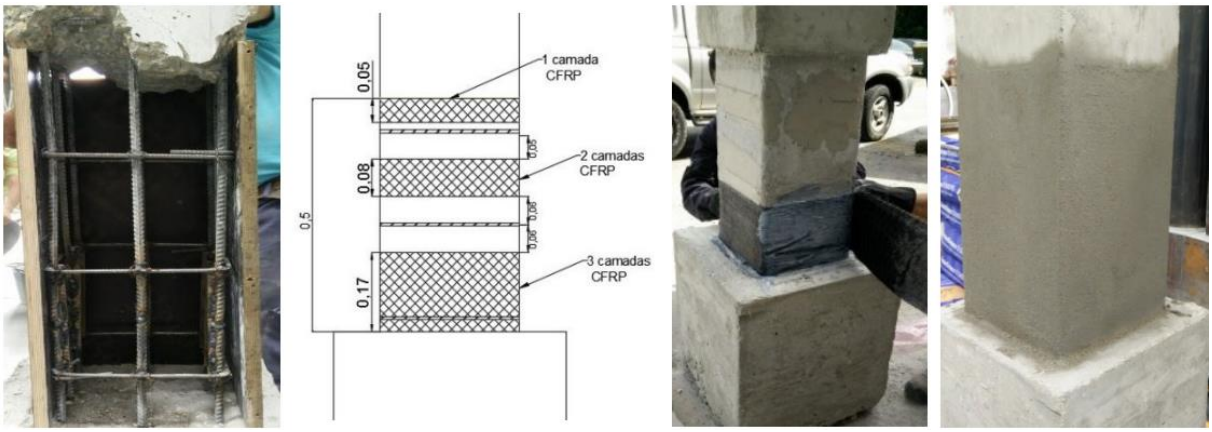


Fig. 2 – Processo de reparação e reforço.

CONFIGURAÇÃO DO ENSAIO

A configuração de ensaio na campanha experimental foi realizada com dois atuadores horizontais que aplicam cargas laterais (um com capacidade de ±500kN e ±150mm de curso na direção X e outro com capacidade de ±200kN e ±100mm de curso na direção Y), assim como um atuador vertical com capacidade de ±750kN para aplicação do esforço axial constante. Os atuadores horizontais fazem reação em estruturas rígidas e o atuador vertical faz reação num pórtico metálico. A aplicação das cargas laterais localiza-se à cota de 1,50m a partir da base do pilar. Os ensaios foram realizados por imposição de deslocamentos horizontais, em uma ou duas direções, uniaxial e biaxial, respetivamente, aplicados no topo dos pilares sujeitos a uma solicitação axial constante de 350kN. As leis de deslocamentos foram baseadas em Rodrigues et al. (2015) e podem ser consultadas em Carobeno et al. (2025). Esta configuração de ensaio é apresentada esquematicamente na Figura 3.

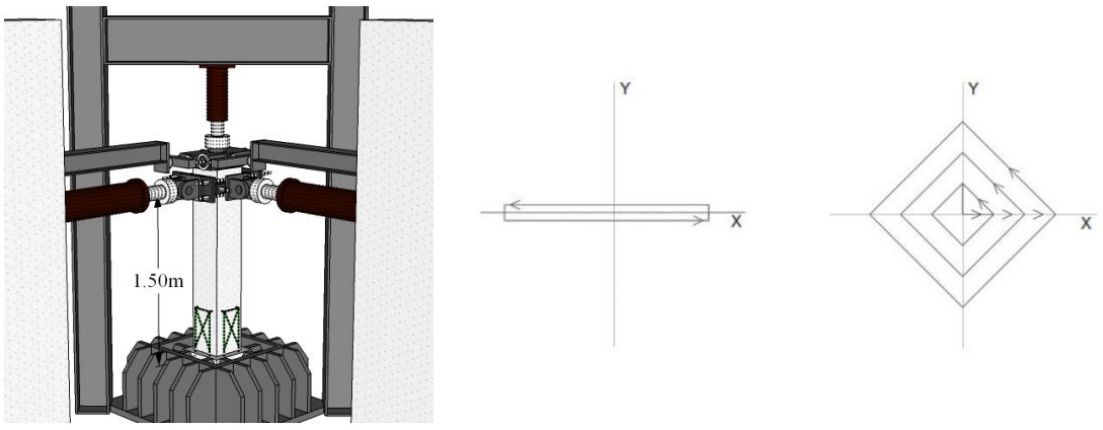


Fig. 3 – Esquema da configuração de ensaio.

RESULTADOS

As curvas histeréticas experimentais foram analisadas para caracterizar o comportamento estrutural dos pilares, as quais estabelecem a relação força-deslocamento, permitindo verificar não apenas o desempenho resistente e ductilidade como a degradação da resistência sob carregamento cíclico. A Figura 4 compara as relações força-deslocamento entre os pilares ensaiados uniaxialmente e a respetiva envolvente da curva histerética: de controlo (PD01-N01),

reforçado (PD01-N04-S) e reparado/reforçado (PD01-N01-RS). Enquanto a Figura 5 mostra a comparação das relações força-deslocamento dos pilares sob carregamento biaxial para a direção X e Y: de controlo (PD12-N03), reforçado (PD12-N05-S) e reparado/reforçado (PD12-N03-RS).

Da análise dos resultados da Figura 4, verifica-se que o encamisamento, como expectável, não aumenta a capacidade em flexão, mas aumenta significativamente a capacidade de deformação (ductilidade).

Nos ensaios biaxiais (Figura 5) é notório o aumento da capacidade de deformação dos pilares reforçados e a técnica de reparação utilizada permitiu repor a capacidade original de flexão. A Tabela 2 faz o resumo dos principais resultados obtidos para todos os ensaios, nomeadamente: força máxima $F_{máx}$ (média dos máximos no sentido positivo e negativo), força e deslocamento de cedência (F_y e Δ_y), deslocamento correspondente ao ponto último Δ_u (descolamento correspondente à redução de 20% da força máxima), ductilidade em deslocamento μ_Δ e variação da ductilidade em deslocamento em relação ao pilar de referência $\Delta_{\mu\Delta}$. A força e deslocamento de cedência foram determinados de acordo com o método presente em Rodrigues et al. (2023).

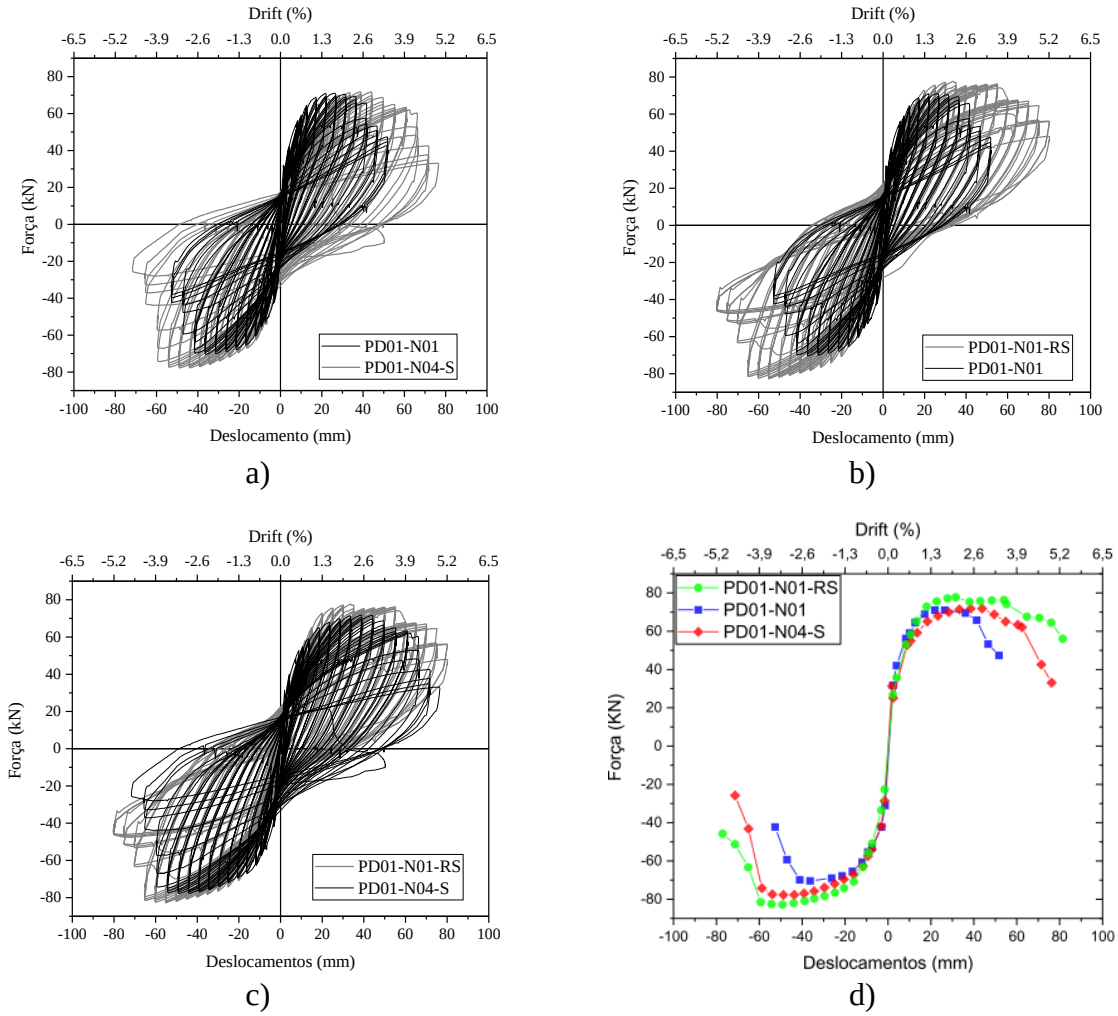
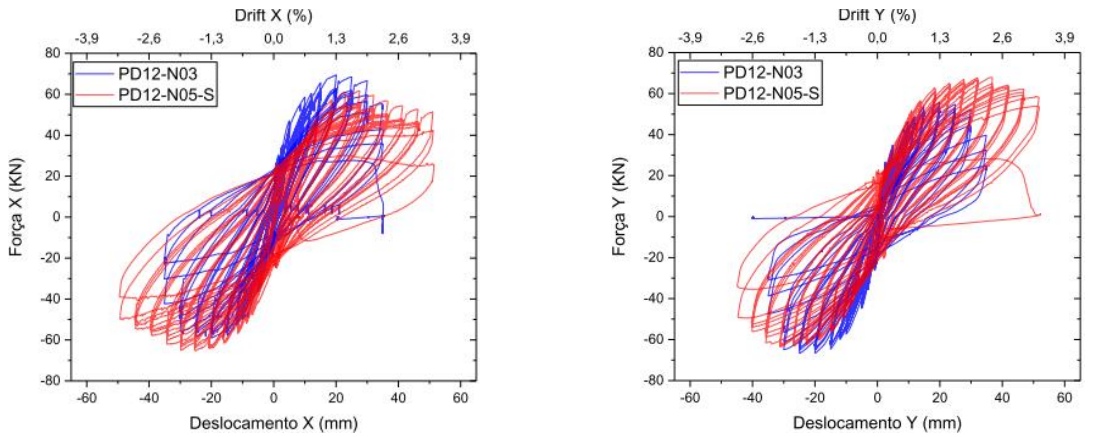
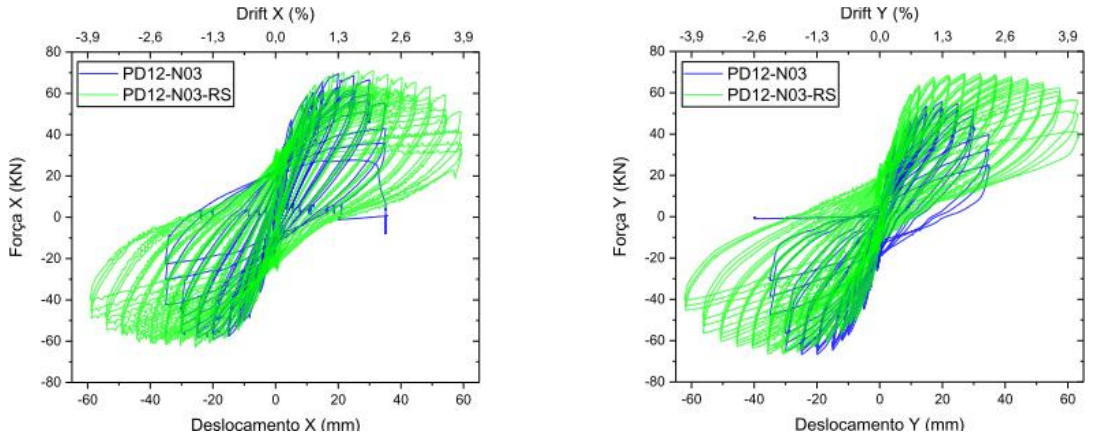


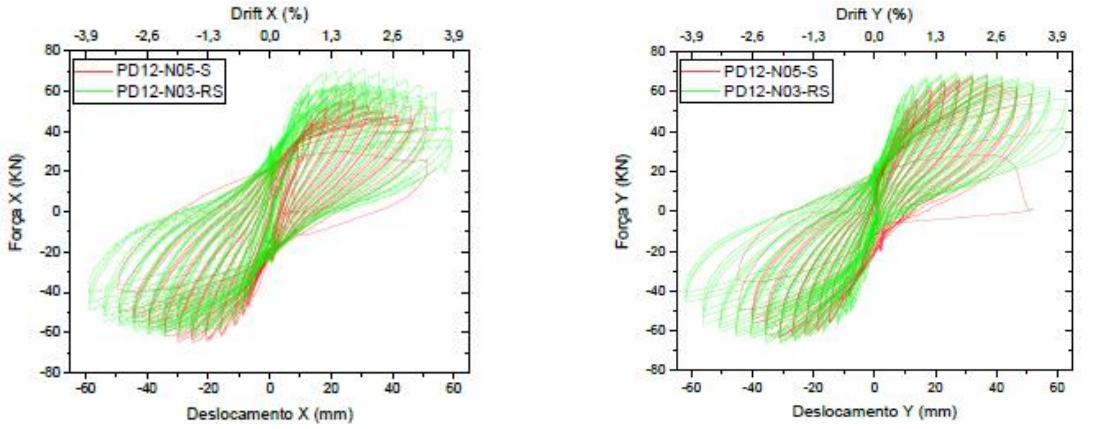
Fig. 4 – Relação força-deslocamento obtida nos ensaios uniaxiais: a) controlo Vs reforçado; b) controlo Vs reparado/reforçado; c) reforçado Vs reparado/reforçado; d) envolvente.



a)



b)



c)

Fig. 5 – Relação força-deslocamento obtida nos ensaios biaxiais: a) original Vs reforçado; b) original Vs reparado e reforçado; e c) reforçado Vs reparado e reforçado.

Da Tabela 2 constata-se que o aumento da ductilidade dos pilares reforçados é mais acentuado nos pilares ensaiados biaxialmente. Assim, o efeito do encamisamento é mais efetivo para pilares sujeitos a cargas laterais nas duas direções, podendo chegar a um aumento de 57%. No caso dos ensaios uniaxiais, o aumento da ductilidade foi no máximo de 29%. Em termos de energia dissipada, os pilares reforçados dissipam mais do dobro de energia até ao final do ensaio do que o pilar de controlo PD01-N01. O pilar PD01-N01-RS ainda dissipou mais cerca de 20%

que o pilar PD01-N04-S. Nos ensaios biaxiais, considerando a soma das energias dissipadas nas duas direções, o pilar PD12-N03-RS dissipou mais 160% que o pilar PD12-N05-S e mais 622% que o pilar PD12-N03. A maior capacidade de dissipação de energia dos pilares reparados e reforçados reflete a sua maior ductilidade e resistência.

Tabela 2. Resumo dos resultados principais obtidos nos ensaios.

Nomenclatura	*Direção*	$F_{máx}[kN]$	$F_y[kN]$	$\Delta_y[mm]$	$\Delta_\mu[mm]$	μ_Δ	$\Delta\mu_\Delta$ [%]
PD01-N01	X	70,72	54,62	7,85	46,62	5,97	-
PD01-N04-S	X	74,80	55,85	9,70	63,41	6,54	+9,64
PD01-N01-RS	X	80,26	53,00	8,90	68,72	7,71	+29,25
PD12-N03	X	64,26	46,45	7,60	33,65	4,43	-
	Y	61,15	49,75	7,15	32,35	4,53	-
PD12-N05-S	X	60,90	38,17	9,00	51,67	5,75	+29,68
	Y	65,74	44,42	8,20	51,31	5,79	+27,96
PD12-N03-RS	X	65,95	49,45	8,20	56,35	6,90	+55,64
	Y	67,89	56,33	8,40	59,69	7,11	+57,13

A solicitação biaxial resulta num dano de maior magnitude na base do pilar para o mesmo nível de deslocamento, em comparação com uma solicitação uniaxial. O dano observado no pilar PD01-N01-RS é menor quando comparado com os outros ensaios uniaxiais, pois além da contribuição do CFRP, a elevada resistência do betão de reparação (3,5 vezes superior ao betão original) aumenta a capacidade na zona reparada e consequentemente uma maior distribuição dos danos. As mantas de carbono entraram em rutura no caso dos pilares reforçados (PD01-N04-S e PD12-N05-S) indiciando que possivelmente seria necessária uma maior quantidade de CRFP para estes pilares. No caso dos pilares reparados e reforçados, não foi observada rutura completa das mantas devido à elevada resistência à compressão do microbetão de reparação. Nos ensaios biaxiais, exceto no pilar PD12-N03-RS, foi observado esmagamento do betão na zona da rótula plástica. A Figura 6 apresenta o dano observado no final de cada ensaio.



PD01-N01 PD01-N04-S PD01-N01-RS PD12-N03 PD12-N05-S PD12-N03-RS

Fig. 6 – Danos finais observados em cada ensaio.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A campanha de ensaios aqui apresentada demonstra a relevante eficiência do encamisamento de pilares de betão armado com mantas de CFRP no aumento da sua ductilidade quando carregados axialmente ou biaxialmente. As principais conclusões alcançadas com este estudo podem ser sumarizadas da seguinte forma:

- A técnica de reparação utilizada mostrou-se viável, uma vez que os pilares reparados e reforçados tiveram um comportamento cíclico semelhante ou melhor que os pilares apenas reforçados;
- O encamisamento com CFRP junto das armaduras foi eficiente para melhorar a capacidade de deformação dos pilares, especialmente no caso dos pilares ensaiados biaxialmente, onde o aumento de ductilidade chegou aos 57% comparativamente com o pilar de referência;
- O carregamento biaxial acelera a degradação de resistência e diminui a resistência máxima em flexão do pilar;
- A alta resistência do microbetão de reparação evitou a rutura das mantas de carbono que foi observada nos pilares apenas reforçados;
- Os pilares reparados e reforçados demonstraram uma maior capacidade de dissipar energia que os pilares apenas reforçados.

A técnica de encamisamento de betão armado junto das armaduras longitudinais, poderá ter vantagens na proteção do reforço numa eventual situação de incêndio, pelo que deverá ser investigado qual o nível de proteção a altas temperaturas que o recobrimento oferece às mantas de CFRP.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Financiamento - UID/04708 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./ MCTES, através de fundos nacionais. Foi também financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC), no âmbito do projeto 2022.05721.PTDC com DOI 10.54499/2022.05721.PTDC (https://doi.org/10.54499/2022.05721.PTDC). A segunda autora é financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através de bolsa de doutoramento com referência 2024.03721.BD. Agrade-se também aos colaboradores do Laboratório de Estruturas da FEUP.

REFERÊNCIAS

Carobeno, C., Melo, J., Arêde, A., Rocha, P., Varum, H., Análise do comportamento estrutural de pilares de betão armado reforçados com CFRP por ensaios cíclicos uniaxiais e biaxiais. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. Ed. LNEC. Série III. n.º 28. ISSN 2183-8488. (julho 2025). https://doi.org/10.34638/, 2025.

Council, N.R., Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening existing structures – Materials, RC and PC structures, masonry structures. DT 200.R1/2013. Roma: CNR, 2013.

NP EN 1998-1. 2005, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Strengthening and repair of buildings, B. European Committee for Standardization, Belgium, 2005.

Pohoryles, D., Melo, J, Rosetto, T., Ayala, D.; Varum, H., Experimental Comparison of Novel CFRP Retrofit Schemes for Realistic Full-Scale RC Beam-Column Joints. Journal of Composites for Construction, Vol. 22, N. 5, p. 04018027, 2018.

Rodrigues, H., Arêde, A., Varum, H., Costa, A.G., Experimental evaluation of rectangular reinforced concrete column behaviour under biaxial cyclic loading, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, vol. 42, pp. 239-259, 2013.

Rodrigues, H., Arêde, A., Furtado, A., Rocha, P., Seismic behavior of strengthened RC columns under biaxial loading: An experimental characterization. Construction and Building Materials, Vol. 95, pp. 393-405, 2015.

Rodrigues, H., Furtado, A., Arêde, A., Vila-Pouca, N., Varum, H., Experimental study of repaired RC columns subjected to uniaxial and biaxial horizontal loading and variable axial load with longitudinal reinforcement welded steel bars solutions, Engineering Structures, vol. 155, pp. 371-386, 2018.

Rodrigues, H., Furtado, A, Arêde, A., Vila-Pouca, N., Varum, H., Experimental study of repaired RC columns subjected to uniaxial and biaxial horizontal loading and variable axial load with longitudinal reinforcement welded steel bars solutions. *Engineering Structures*, Vol. 155, pp. 371-386, 2018.

SESSÕES ESPECIAIS
(SIMPÓSIOS)

Simpósio Nº1: Materiais e Estruturas

22208 OPTIMISING GEAR DYNAMICS WITHOUT SOLVING EQUATIONS OF MOTION. Francisco H.J. Ricardo; Gonçalo N. Carneiro; Carlos C. António; Pedro M.T. Marques; João D.M. Marafona. 795

22559 ANALYSIS MODELS FOR POLYMER COMPOSITES AT DIFFERENT LENGTH SCALES. Pedro P. Camanho. 807

22579 MASONRY PARTITION WALLS AFFECTED BY THE DEFLECTIONS OF CONCRETE STRUCTURES: A NUMERICAL STUDY. Rui Sousa; Hipólito Sousa; Humberto Varum; José Melo; Luísa Sousa. 809

22618 MULTI-OBJECTIVE MEMETIC-BASED BIOGEOGRAPHY OPTIMIZATION MODEL FOR THE OPTIMAL DESIGN OF MECHANICAL SYSTEMS. Arcílio Carlos Ferreira Peixoto; Carlos C. António. 813

23456 APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS, CINZAS DE CARVÃO MINERAL E LAMA VERMELHA, PARA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS. João L.C. Magul; Jonas V. Matsinhe. 833

23470 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO: ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS. Aurélio Sine; Kevin Mavie; Kevin Muagerene. 835

23493 AVALIAÇÃO DA CORROSIVIDADE DE SOLOS PELA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE USANDO O MÉTODO DE WENNER. M. E. Mabue; A.F. Timbane; L.S. Abel. 843

23510 CPFE-BASED FATIGUE MODELLING OF A RAILWAY BRIDGE'S CRITICAL LOCATION. António M.B.F.S. Mourão; José A.F.O. Correia; Claúdio Horas; Abílio M.P. De Jesus; Túlio N. Bittencourt. 851

23511 MODELAÇÃO DE PÓRTICOS DE BETÃO ARMADO PREENCHIDOS COM ALVENARIA. Sebastião P. Cumbane; Pedro Sing-Sang. 865

PAPER Nr.22208

OPTIMISING GEAR DYNAMICS WITHOUT SOLVING EQUATIONS OF MOTION

Francisco H.J. Ricardo[1, 3(*)], Gonçalo N. Carneiro[2], Carlos C. António[3], Pedro M.T. Marques[1], João D.M. Marafona[1]

[1] INEGI, Universidade do Porto, Campus FEUP, Rua Dr. Roberto Frias 400, 4200-465 Porto, Portugal
[2] VKI, von Karman Institute for fluid dynamics, waterloosesteenweg 72 B-1640 Sint-Genesius-Rode, Belgium
[3] FEUP, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias s/n, 4200-465 Porto, Portugal
(*) *Email:* fricardo@inegi.up.pt

ABSTACT

Optimisation can play a key role in linking gear design with dynamic performance, enabling approaches to achieve higher gear performance. Marafona *et al*. (2024) explored two methods for optimising the gear macro-geometry to minimise the dynamic excitation: direct minimisation of the dynamic fluctuations and minimisation of the gear mesh stiffness fluctuations. While both methods yield similar solutions, the first significantly increased the computational cost, whereas the second proved insufficient for minimising dynamic excitation. This work aims to optimise the gear system to minimise dynamic fluctuations while considering natural frequencies, without requiring the computation of the system's steady-state response.

Keywords*:* dynamic excitation, gear design, gear efficiency, gear mesh stiffness, optimisation.

INTRODUCTION

Gears are essential components in various machinery that facilitate power and motion transmission, enabling the variation of speed, torque, and direction of motion. They are utilized in numerous applications, particularly in transportation and energy production. In these systems, gears are vital for performance and reliability, greatly influencing design considerations. Recently, technological advancements have increased the demand for higher gear performance and stricter requirements. Optimisation can play a key role in linking gear design with dynamic performance, enabling approaches to meet these demands. Optimisation in gear design enables the determination of the optimal macro-geometry to minimise gear pair volume/weight, reduce noise levels, and enhance efficiency (Daniel Miler and Matija Hoić, 2021). In previous works, Marafona *et al*. (2024) used a genetic algorithm to identify the optimal macro-geometry for minimising dynamic excitation. Two approaches were proposed: one using the gear mesh stiffness as the objective function and another using the steady-state response of the system. A comparison revealed that dynamic behaviour optimisation requires significantly more computational time. Furthermore, optimising stiffness alone is insufficient to minimise the dynamic excitation. It was also demonstrated that minimising gear mesh stiffness fluctuations can be regarded as a particular case of dynamic optimisation. This is because reducing these fluctuations is essential to minimising the dynamic response of the geared transmission systems. Based on this observation, a new dynamic gear design optimisation approach is proposed. This method uses the gear mesh stiffness fluctuation as the objective function while incorporating additional information about the system, namely, the critical speeds (natural frequencies of the system) as constraints.

In this work the proposed methodology is explored, considering a single stage geared transmission system. First, the formulation of the optimisation problem is outlined, including the definition of the design variables, the imposed constraints, and the penalty formulation. This new approach is then compared with those previously developed by Marafona *et al*. (2024) for the same optimisation problem. The problem is solved using a genetic algorithm tailored to each of the three strategies: (i) using gear mesh stiffness as the objective function, (ii) using gear mesh stiffness as the objective function with additional constraints related to the system's critical speeds, and (iii) using the system's dynamic response as the objective function. Finally, the results are discussed for the optimal design variables, gear mesh stiffness and gear dynamic behaviour.

GEAR DESIGN OPTIMISATION PROBLEM

The gear design optimisation problem is formulated for a single-stage transmission system based on the FZG test gearbox. A schematic representation of this system is shown in Figure 1. The system consists of two shafts, each supported by two bearings, which are connected by a gear pair. In this system, rotational speed is applied to the input shaft, while resisting torque is exerted on the output shaft.

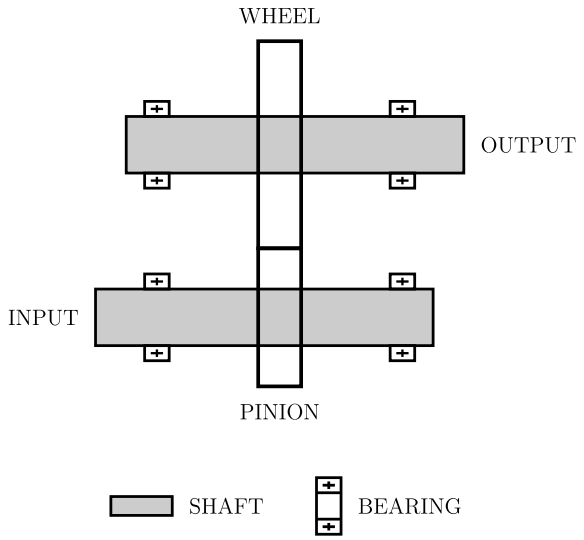


Figure 1: Schematic of the geared transmission system.

A more detailed description of each component is provided. The shafts have a diameter of 30 mm and a length of 110 mm. The short end of each shaft measures 10 mm, taken from the position of the bearing element. The bearings are spaced 80 mm apart, and the gears are positioned at the centre point of this distance. The gear ratio (u) and the centre distance (a) are fixed with $u = 1.5$ and $a = 91.5$ mm, respectively. The gears follow the ISO 53 (ISO 53, 1998) Profile A tooth proportions, characterized by $h_{aP}^{*} = 1$, $h_{fP}^{*} = 1.25$ and $\rho_{fP}^{*} = 0.38$. The material properties of the gears and shafts are defined as follows: density $\rho = 7830\,\mathrm{kg\,m^{-3}}$, Young's modulus $E = 210\,\mathrm{GPa}$, and Poisson's ratio $\nu = 0.3$. Table 1 provides additional specified and imposed parameters of the geared transmission system.

Table 1: Parameters from the geared transmission system.

Parameters	**Value**
$\boldsymbol{a}$ / mm	91.5
$\boldsymbol{u}$ / -	1.5
Gears' material / -	16MnCr5 (Class Eh)
$\boldsymbol{R_z}$ / µm	4.8
$\boldsymbol{K}_{\mathrm{a}}$ / -	1.25
Accuracy grade / -	6
Lubricant / -	ISO-VG 150 (oil bath)
Required service life / hours	20000

Problem Statement

The first step in formulating the gear design optimisation problem is to define the **design variables**, namely, the gear macro-geometry parameters. This can be expressed as:

$$\boldsymbol{X} = \{z_1, m_{\mathrm{n}}, \mathrm{b}, x_1, \beta\} \in S \quad \text{with} \quad S = \left\{ \boldsymbol{X} : \sum_{j=1}^{4} h_j(\boldsymbol{X}) = 4 \right\}$$

here z_1 represents the number of teeth of the pinion, which is an integer variable; m_{n} is a real-valued discrete variable representing the normal module, with normalized values from DIN 780; b denotes the gear facewidth and is a continuous variable; x_1 corresponds to the profile shift coefficient of the pinion and is also a continuous variable; and β is a continuous variable representing the helix angle. The functions $h_j(\boldsymbol{X})$ guarantee that gear designs are valid for evaluation, as they considered the limitations imposed by the models used to compute the fillet-foundation stiffness and the single tooth pair slice mesh stiffness (Chongyang *et al.*, 2018), as well as restrictions related to cutting interference, mating interference, and tooth crest width (MAAG, 1990). These functions act as filters, that is, they return 1 when the gear design satisfies the required conditions and 0 otherwise. Additionally, the design variables are constrained to specific ranges. These limitations associated with the functions $h_j(\boldsymbol{X})$ and the design variables are explained in detail in Marafona *et al*. (2024).

Once the design variables are defined the following step is to define the **primal problem** for optimising the gear design. This can express as follows:

$$\min \mathrm{f}(\mathbf{X})$$

$$\text{subject to } \mathrm{g_j}(\mathbf{X}) \leq 0, \quad \mathrm{j} = 1,2,\ldots,11 + \mathrm{NS}$$

$\mathrm{f}(\boldsymbol{X})$ represents the objective function and the functions g_j denote the constraints of the gear design problem. The constraints can be grouped into four sets. The first set $(g_1 \; to \; g_6)$ is related to geometric restrictions on gear design. The second set (g_7 to g_{10}) ensures that the minimum safety factors for surface durability and tooth root stress are satisfied. The third (g_{11})

guarantees the minimum gear meshing efficiency. The last set of constraints (g_{12} to g_{11+NS}) is intended to eliminate critical rotational speeds of the system for a given gear design, considering the operating speed range, where NS denotes the total number of speeds to be excluded. The first three sets of constraints are the same as those considered in the work developed by Marafona *et al*. (2024) and are therefore not explained here. Only the constraints regarding the critical rotational speeds are explained.

The functions g_{12} to g_{11+NS} aim to eliminate each critical speed q, $q \in [1, \mathrm{NS}]$, denoted as n_{f}^{q} , from the operating speed interval $[n_{\mathrm{s}}, n_{\mathrm{e}}]$. These functions are defined as follows:

$g_{12-(11+NS)}(\boldsymbol{X}) = \min\left(1 - \frac{n_{\mathrm{f}}^{q}}{1.25\, n_{\mathrm{e}}}, \frac{n_{\mathrm{f}}^{q}}{0.75\, n_{\mathrm{s}}} - 1\right)$: imposing that n_{f}^{q} falls outside the operating speed interval $n_{\mathrm{s}} \geq n_{\mathrm{f}}^{q} \geq n_{\mathrm{e}}$.

The number of functions is variable, as each function corresponds to a critical speed that must be eliminated, and the number of critical speeds (NS) to be excluded is also variable. The critical speed, n_{f}^{q}, must be either higher than $1.25\, n_e$ or lower than $0.75\, n_s$, a condition enforced by the two expressions within the min function in $g_{12-(11+NS)}(X)$. The restriction is considered satisfied if at least one of the two expressions holds. If neither is satisfied, the expression closest to being fulfilled is employed.

The gear design optimisation problem is formulated as a **penalty problem** aimed at maximising the fitness of the individuals, expressed as:

$$\max fit(\boldsymbol{X}) = \begin{cases} C - \left(\lambda_{\mathrm{f}} f(\boldsymbol{X}) + \lambda_{\mathrm{p}} \sum_{j=1}^{11+NS} \max\left(g_j(\boldsymbol{X})^2, 0\right)\right), & \boldsymbol{X} \in S \\ C - 0.99 \times 10^{12}/\lambda_{\mathrm{f}} & \boldsymbol{X} \notin S \end{cases}$$

where C is a constant that ensures that fitness values remain positive, λ_{f} denotes a proportionality factor for the different objective functions, and λ_{p} represents the penalty parameter.

Gear Mesh Stiffness Objective Function

To minimise the fluctuations of the gear mesh stiffness, the gear mesh stiffness model developed by Marafona *et al*. (2023) was employed to estimate the gear mesh stiffness. This method provides a simplified approximation using straightforward expressions, which reduces computational cost and makes the model well-suited for optimisation problems. A detailed explanation of this model can be found in Marafona *et al*. (2023).
The gear mesh stiffness objective function is defined as root-mean-square (RMS) of its deviation from the mean value, as shown in Equation (1).

$$f(\boldsymbol{X}) = \mathrm{RMS}_K = \sqrt{\frac{1}{T_{\mathrm{mesh}}} \int_0^{T_{\mathrm{mesh}}} \left(K - K_{\mathrm{avg}}\right)^2 \, dt} \tag{1}$$

here T_{mesh} corresponds to the mesh period and K_{avg} denotes the mean gear mesh stiffness value.

Gear Dynamics Objective Function

To improve the dynamic behaviour of the geared transmission system by optimising its gear design, the dynamic model proposed by Marafona *et al*. (2023) was used to evaluate the system's dynamic response. Figure 2 presents a schematic of the dynamic system under consideration. In the dynamic analysis, the gears are modelled as solid discs with a radius equal to their base radius. These discs are connected by a spring in the direction normal to the tooth surfaces, representing the time-varying gear mesh stiffness. The gearbox shafts are incorporated via Timoshenko beam elements while the bearings are introduced as lumped stiffness, as specified in Table 2. Only a brief explanation of the dynamic model is provided here; for a detailed understanding of the dynamic problem and its formulation, the reader is referred to Marafona *et al*. (2023).

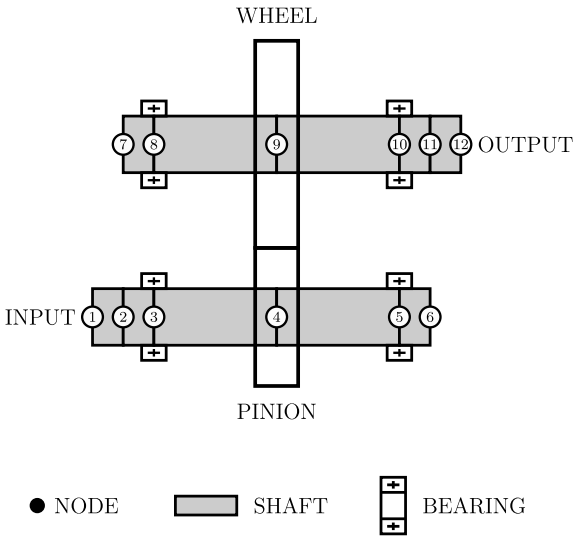


Figure 2: Schematic of the dynamic system.

Table 2: Bearing stiffness for each shaft.

Parameters	**Pinion's shaft**	**Wheel's shaft**
Radial stiffness / N m^{-1}	1.40×10^{8}	2.50×10^{8}
Axial stiffness / N m^{-1}	3.50×10^{7}	6.00×10^{7}
Torsional stiffness / N m rad^{-1}	1.00×10^{12}	1.00×10^{12}

For the analysed speed range, the gear dynamics objective function is defined as the mean value of $A_{\text{RMS}}(\text{DTE}_{\text{osc}})$, as presented in Equation (2).

$$f(\boldsymbol{X}) = \text{RMS}_D = \left(\frac{1}{n_{\text{end}} - n_{\text{start}}}\right) \int_{n_{\text{start}}}^{n_{\text{end}}} A_{\text{RMS}}(\text{DTE}_{\text{osc}})\ dn \tag{2}$$

where $A_{\text{RMS}}(\text{DTE}_{\text{osc}})$ is the equivalent root-mean-square of the DTE oscillating component, as shown in Equation (3).

$$A_{\mathrm{RMS}}(\mathrm{DTE_{osc}}) = \sqrt{A_1^2(\mathrm{DTE_{osc}}) + A_2^2(\mathrm{DTE_{osc}}) + A_3^2(\mathrm{DTE_{osc}})} \tag{3}$$

here $A_i(\mathrm{DTE_{osc}})$ represents the ith harmonic amplitude of the Fast Fourier Transform of $\mathrm{DTE_{osc}}$.

Constraints Related to Critical Frequencies

As aforementioned, the functions g_{12} to g_{11+NS} intend to remove the critical speeds from the operating speed interval. Therefore, it is necessary to select the critical rotation speeds. The selection process is illustrated by Figure 3. The selection of the rotation speeds to be avoided is made by the intersection between the first three gear mesh frequencies and the natural frequencies of the dynamic system with a gear mesh stiffness contribution exceeding 5% (Marafona *et al*., 2023). When the number of such intersections exceeds the imposed number of removable speeds, priority is given to those associated with the higher natural frequencies of the system.

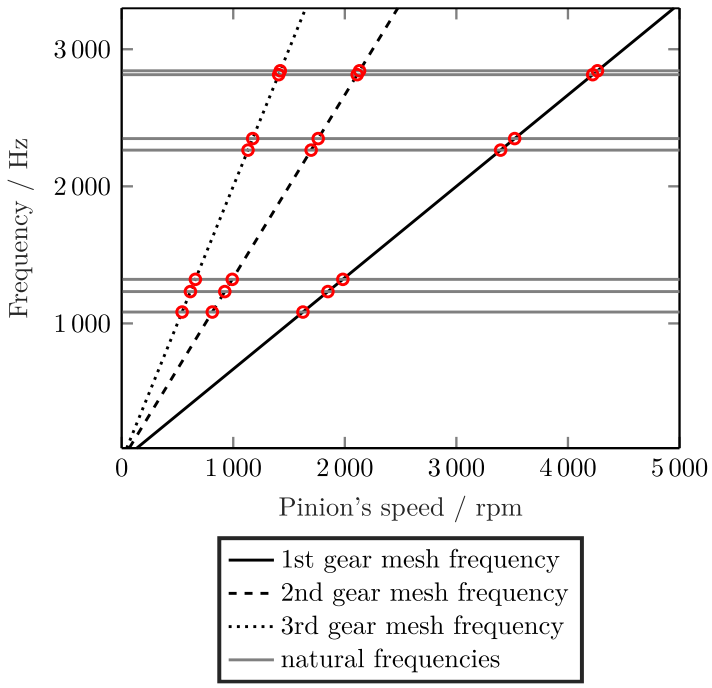


Figure 3: Critical frequencies selection via Campbell's diagram.

Genetic Algorithm

The genetic algorithm employed in this study is structured to balance the exploration and exploitation processes. Let $\mathbb{B}^l$ be a set of binary strings of length l. Each string $s \in B^l$ is termed as a genotype, representing a potential solution within the search space. This string in binary representation is, then, converted into a vector of real-valued elements, each computed following the usual binary-to-real decoding (Rao, 2009). The population $\boldsymbol{P}^t$, at generation t, consists of $n_{\boldsymbol{P}}$ genotypes, expressed as an ordered list $(s_1, \ldots, s_{n_{\boldsymbol{P}}})$, where the ordering reflects the fitness ranking. The population may include repeated genotypes. Inside $\boldsymbol{P}^t$, a sub-list $\boldsymbol{E}^t$,

referred to as the elite, incorporates the genotypes with the highest fitness scores. In addition, $\boldsymbol{B}^t$ denotes the list of offspring genotypes generated through the crossover operator.

A diverse set of evolutionary operators is introduced by combining strong selective pressure with highly disruptive operators. The benefits of this approach are discussed by Eshelman (1991). The selected set of operators is based on the algorithm proposed in António *et. al.* (2004), with appropriate adaptations made to address the specific requirements of the present problem. The group of operators includes, random initialisation, elitist parent selection, uniform crossover, and elitist survivors selection through similarity control, replacement mechanism and implicit mutation. A comprehensive discussion of the algorithm can be found in Marafona *et al*. (2023). The parameters used to optimise the gear design considering both stiffness and dynamic objective functions are presented in Table 3. These values were determined through a preliminary study, as detailed in Marafona *et al*. (2023).

Table 3: Genetic algorithm parameters.

Parameters	**Value**
$n_{\boldsymbol{P}}$, population size	50
$n_{\boldsymbol{E}}$, elite size (elite ratio)	17 (0.33)
$n_{\boldsymbol{B}}$, number of offsprings (cross rate)	16 (0.65)
r_{uc}, bias ratio	0.60
ϵ_{SC}, similarity control	2
n_{bot}, implicit mutation ratio	0.10
C	1×10^{12}
λ_P	5×10^{9}
λ_f, stiffness / dynamics	$1/1 \times 10^{12}$
stopping criterion	$t = 10000$

GEAR OPTIMISATION

The gear design optimisation problem is addressed using three different methodologies. In the first approach, the gear mesh stiffness is defined as the objective function (Equation (1)). In this case, only the constraints related to the gearing phenomenon are applied, specifically, the functions $g_1 \; to \; g_{11}$. In the second approach, the gear dynamics represented by the objective function in Equation (2) is adopted, with the same set of constraints applied as in the previous method. These approaches follow the work developed by Marafona *et al*. (2023). A comparison performed by Marafona *et al*. (2023) between both methods revealed that the dynamic behaviour optimisation requires significantly more computational time. Additionally, optimising stiffness alone is insufficient to minimise the dynamic excitation, as it does not consider the natural frequencies of the gear system Marafona *et al*. (2023). Therefore, a third approach is considered, in which the gear mesh stiffness, defined as the objective function in Equation (1), is used. However, in this case, constraints related to the critical speeds are also

included, meaning that the functions $g_1\ to\ g_{11+NS}$ are applied. For all three approaches, the same working conditions are considered, as presented in Table 4.

Table 4: Nominal working conditions.

Parameters	**Value**
n_1 / rpm	2000
T_1 / Nm	100
speed range / rpm	50: 50: 4500

Once the optimisation is performed for the gear mesh stiffness without (identified as RMS_K) and with (denoted as RMS_{K+}) the critical speeds constraints, as well as for the gear dynamics (identified as RMS_D), the optimal design variables obtained for each case are presented in Table 5, along with the corresponding objective function values. For the case RMS_{K+}, three scenarios are analysed, differing solely in the number of critical speeds considered: one scenario accounts for a single critical speed, another for three, and the last for five. Notably, the same optimal design is obtained for the scenarios involving three and five critical speeds.

Table 5: Design variables of the optimal individuals.

$f(\boldsymbol{X})$	$z_1/-$	m_n/mm	b/mm	$x_1/-$	β/°	RMS_{K+NS}/N m^{-1}	RMS_D/m
RMS_K	46	1.50	14.9323	-0.1654	19.1339	9.1323×10^{4}	2.0034×10^{-8}
RMS_{K+1}	46	1.50	19.1102	0.7638	14.6457	5.1537×10^{5}	1.5024×10^{-8}
RMS_{K+3}	38	1.75	25.0787	0.1339	24.0945	6.3137×10^{6}	1.6921×10^{-8}
RMS_D	46	1.50	14.9323	-0.1654	18.8976	2.7868×10^{5}	2.0097×10^{-9}

Table 5 shows that the geometries obtained from both RMS_K and RMS_D functions are very similar, indicating a strong similarity between the two optimisation approaches. When comparing the gear mesh stiffness curves (RMS_K and RMS_D) in Figure 4, both gears demonstrate excellent performance in terms of mesh stiffness fluctuation, a conclusion further supported by the comparable values for the mesh stiffness objective function in both cases. Nevertheless, significant differences arise when analysing their dynamic behaviour, as evidenced by the large disparity in the values of the dynamic objective function and the dynamic response curves shown in Figure 5. This indicates that the dynamic analysis captures factors not accounted for when only gear mesh stiffness is considered. To address this, critical speeds constraints are incorporated into the gear mesh stiffness optimisation. The first approach (RMS_{K+1}) introducing a single critical speed, results in a gear geometry slightly different from the previous cases. Although this solution shows a less favourable gear mesh stiffness fluctuation, reflected by both the increased objective function values and the RMS_{K+1} curve in Figure 4, it yields improved dynamic behaviour compared to the design optimised without critical speed considerations (RMS_K), as shown in Figure 5. When more critical speeds (RMS_{K+3} and RMS_{K+5}) are considered, both optimisations converge to the same geometry. These gears differ substantially from the earlier ones and result in a higher mesh stiffness fluctuation, as indicated by the objective function value and the RMS_{K+3} curve in Figure 4. In

terms of dynamic response (Figure 5), this gear performs better at higher rotational speeds but exhibits the poorest behaviour at the lower end of the speed range. In addition, the value for A_{RMS} was significantly reduced.

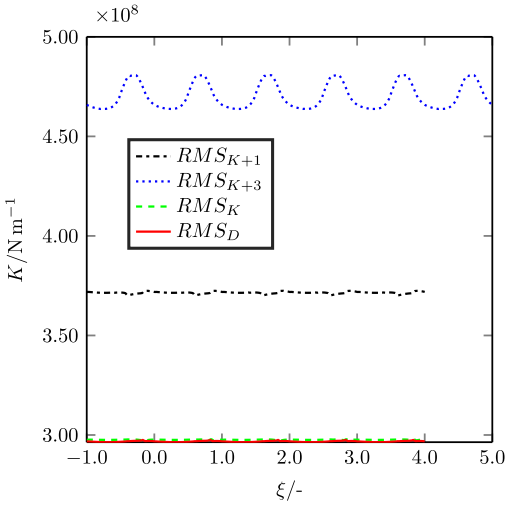


Figure 4: Gear mesh stiffness.

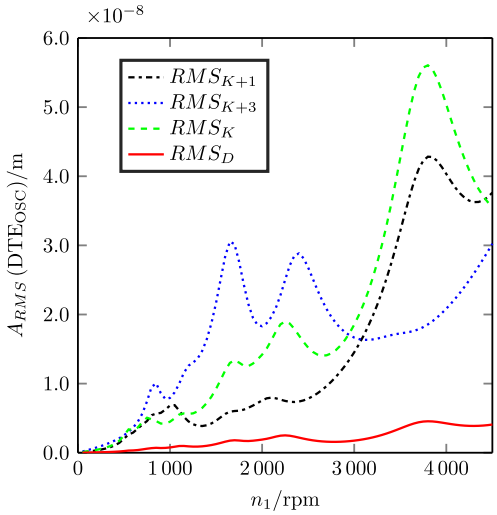


Figure 5: $\boldsymbol{DTE_{OSC}}$ equivalent root-mean-square.

The results obtained using the gear mesh stiffness objective function with restrictions related to critical speeds show an increase in mesh stiffness fluctuations. However, a slight improvement in dynamic behaviour is observed when compared to the case in which critical speed constraints are not applied, although in some cases limited to specific intervals of the operating speed range. This suggests that additional constraints involving other influencing factors, beyond just the critical speed values, should likely be incorporated into the optimisation process.

After analysing the gear geometries obtained for each optimisation approach, it is important to assess the fulfilment of the imposed constraints. Excluding the critical speed constraints, all other constraints (g_1 to g_{11}) were satisfied across the three methodologies considered. Table 6 presents the values related to the critical speed constraints for the RMS_{K+} method, in which these specific constraints were included in the optimisation problem. A negative value indicates that the constraint is satisfied, while a positive value means it is not. For the case RMS_{K+1} (with one critical speed constraint), the constraint value is approximately zero, and thus, considered to be satisfied. Comparing the RMS_K *and* RMS_{K+1} curves in Figure 4, this suggests that the optimisation algorithm increased the mesh stiffness fluctuation to satisfy the critical speed constraint. However, for the cases involving three and five critical speed constraints ($RMS_{K+3}RMS_{K+5}$), none of the critical speed constraints are satisfied, despite the increased mesh stiffness fluctuations. These results highlight the need for further investigation into more effective strategies for incorporating critical speed constraints into the optimisation process.

Table 6: Value of critical speed constraint functions.

$g_{12-(11+NS)}(X)$	$g_{12}(X)$	$g_{13}(X)$	$g_{14}(X)$	$g_{15}(X)$	$g_{16}(X)$
RMS_{K+1}	0.0009	--------	--------	--------	--------
RMS_{K+3}	0.0257	0.1593	0.5803	--------	--------
RMS_{K+5}	0.1593	0.5803	0.7901	0.8601	0.7015

CONCLUSION

In previous works, Marafona *et al*. (2024) used a genetic algorithm to identify the optimal macro-geometry for minimising dynamic excitation. Two approaches were proposed: one using the gear mesh stiffness as the objective function and another using the steady-state response of the system.

In the present work, a new methodology is introduced in which the gear mesh stiffness remains the objective function, but critical speed constraints are added to the set of constraints previously used by Marafona *et al*. (2024). This strategy led to an improvement in the dynamic behaviour; however, it also resulted in increased mesh stiffness fluctuations. This trade-off is evident in the values of the RMS_{K+NS} and RMS_D: while RMS_{K+NS} increases compared to RMS_K, the RMS_D value of the RMS_{k+} case is closer to that of the RMS_D case than to RMS_K. Although the dynamic response improved in the RMS_{K+} cases, the result remains significantly different from that obtained using the RMS_D approach. This suggests that further constraints, considering additional influencing factors beyond just the critical speeds, should be incorporated into the optimisation process.

Moreover, it was observed that the optimisation algorithm sacrifices mesh stiffness performance to satisfy the critical speed constraints. This occurs even when those constraints are ultimately not fulfilled. These findings underscore the need for further research to develop more effective strategies for integrating critical speed considerations into gear design optimisation without solving the equations of motion.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the funding through the LAETA project whom without this work would not have been possible.

REFERENCES

António, C.C., Castro, C.F., Sousa, L.C., Optimization of metal forming processes, Computers and Structures, Vol.82, Issues 17–19, 2004, pp. 1425–1433.

Chongyang, X., Lin, H., Xinghui, H., Jian, L., Xiaojin, W., Xiaoshuang, X., Analytical formulas for gear body-induced tooth deflections of spur gears considering structure coupling effect, International Journal of Mechanical Sciences, Vol.148, pp.174–190, 2018.

Eshelman, L.J., The CHC adaptive search algorithm: How to have safe search when engaging in nontraditional genetic recombination, in: Foundations of Genetic Algorithms, Vol.1, Elsevier, 1991, pp. 265–283.

ISO, Cylindrical gears for general and heavy engineering – Standard basic rack tooth profile, ISO 53, 1998.

MAAG Gear Company Ltd., *MAAG Gear Book: Calculation and Practice of Gears, Gear Drives, Toothed Couplings, and Synchronous Clutch Couplings*, MAAG Gear Company Ltd., Zurich, Switzerland, 1990.

Marafona, J.D.M., Carneiro, G.N., Marques, P.M.T., Martins, R.C., António, C.C., Seabra, J.H.O., Gear design optimization: Stiffness versus dynamics, Mechanism and Machine Theory, Vol.191, 2024.

Marafona, J.D., Marques, P.M., Portron, S., Martins, R.C., Seabra, J.H., Gear mesh stiffness and dynamics: Influence of tooth pair structural stiffness asymmetry, Mechanism and Machine Theory, Vol.190, 2023.

Miler, D., Hoić, M., Optimisation of Cylindrical Gear Pairs: A Review, Mechanism and Machine Theory, Vol.156, pp.2021.

Rao, S.S., Engineering Optimization: Theory and Practice, 4th ed., John Wiley & Sons, 2009.

PAPER Nr.22559

ANALYSIS MODELS FOR POLYMER COMPOSITES AT DIFFERENT LENGTH SCALES

Pedro P. Camanho
DEMec, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, INEGI, Porto
Email: pcamanho@fe.up.pt

ABSTRACT

The ambitious goal of reaching net-zero emissions in aviation by 2050 can only be met by science-based disruptive innovations, including those that have the potential to reduce aircraft structural weight. Based on the hypothesis that composite materials and structures are currently not used to their full potential, a vision of a systems approach for the inverse design of composite materials and structures across different spatial scales will be presented. The main building blocks of the proposed approach, linking the macrostructure of a composite structure to the microstructure of a composite material, will be discussed. At the micromechanical level, these include the generation of representative volume elements, appropriate material models for the constituents, reduced order models and associated surrogates.

A recently developed mesomechanical modelling approach that simulates the propagation of the different failure mechanisms observed in composite laminates under finite strains using a new homogenization-based smeared crack formulation will be discussed. At the structural level, building on data generated analytically and on reduced representations of composite lay-ups, four machine learning algorithms are used to predict the strength of composite laminates with notches of several geometries and the corresponding statistical distribution, associated to material and geometrical variability. It will be shown that the proposed approach may lead to significant reductions of the time required to virtually certify composite aircraft structures.

PAPER Nr.22579

MASONRY PARTITION WALLS AFFECTED BY THE DEFLECTIONS OF CONCRETE STRUCTURES: A NUMERICAL STUDY

Rui Sousa[1], Hipólito Sousa[1(*)], Humberto Varum[1], José Melo[1], Luísa Sousa[2]

[1]CONSTRUCT, Dept. of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal
[2]LAETA-INEGI, Faculty of Engineering, University of Porto, Portugal
[(*)] *Email:* hipolito@fe.up.pt

ABSTRACT

Non-structural masonry walls can be damaged when submitted to in plane loads, imposed by the vertical deflections of their support structures (e.g., concrete slabs). The high complexity of this problem associated to the masonry anisotropy and behavior of wall/structure interface joints, and the difficulty of reproducing real scale prototypes for laboratory testing, leads to it being preferable to perform numerical simulations. This method is based on a FEM macro-model, which includes a constitutive damage model for concrete calibrated for masonry walls and a shear-cohesion model to simulate the interface joints. This method was applied to investigate the mechanical behavior of masonry partition walls loaded by the vertical deflections of adjacent concrete structure. Results obtained highlighted a high risk of damage in the masonry partitions when these are loaded by the structural deflections limits referred in technical literature.

***Keywords**:* simulation method, masonry partitions, concrete structures.

INTRODUCTION

In Europe the use of reinforced concrete reticulated structures filled with non-structural masonry walls (partitions and enclosure) is generalized in most of the residential buildings CIB (2015). The same happens in Portugal were around 67% of buildings were constructed since the late 60s with this technology INE (2011). The traditional solution used for partitions in Portugal are single leaf walls made with hollow low-density ceramic units laid on cement-based mortar joints; partitions are bonded to the concrete structure with mortar joints made around the walls. In Portugal, cracking in masonry partition walls associated with an excessive vertical deflection of concrete slabs has been frequently reported in buildings in serviceability conditions due to fragile partitions and low deformation capability elements that can be easily damaged when loaded by their supporting slabs.

Masonry structures analysis can be made through advance numerical simulations or laboratory testing. Both of these technics can be a difficult task, since the numerical approach may involve the simulation of the non-linear behavior of masonry; also, numerical simulation of the interaction between walls/support structure, and real scale prototypes of walls interacting with structural elements testing are difficult tasks. According to the work of Knox *et. al.,* (2018), Milani *et. al.,* (2021) and Mohammed *et. al.,* (2011), testing scaled masonry walls closer to failure, may not always reproduce the behavior of real size walls, since, the strength, stiffness and deformation in compression or in tension/shear will increase when using scales lower than 1:2. On the other hand, the referred scale was found to have minimal effect on the compressive strength and stiffness of masonry, and a more significant effect on the shear modulus and strength.

Considering numerical methods, the main modelling strategies for studying the mechanical behavior of masonry constructions are based on the finite element method (FEM) and the discrete Element Method (DEM). According to *Lourenco et. al.,* (2020) they can be summarized as: micro-modelling, where the constituents of the masonry are modelled individually, and macro -modelling where the constituents of the masonry are transformed into a single composite material, or multi-scale techniques. In both strategies**,** it is used a block-based model based on the discrete Element Method (DEM), where the masonry is modelled piece by piece with rigid or deformable units and/or joints using a mesh of finite elements connected by contact models that represent the frictional/cohesive behavior of joints or block/joints interface.

Given the difficulty of reproducing real scale walls in laboratory testing for validation of deflection limits, the use of numerical simulations containing constitute models calibrated with experimental data can be a viable option to study the persisting problem in Portugal of masonry partition walls, usually damaged by the vertical loading induced by deflections of concrete floor slabs.

In this paper a two-step numerical method partially calibrated with experimental results was used in a case study of masonry partitions loaded by concrete slabs. A 3D FEM macro model which includes a nonlinear damage plasticity model proposed by Lubliner *et. al.,* (1989) was used. The main goal of the presented work was to obtain structural deflection limits that are more suitable to the most common type of partitions used in Portugal, including the use of detachment joints and reinforced coatings.

METHODS

In this paper a two-step numerical simulation method partially calibrated with experimental results was used in a case study of masonry partitions loaded by concrete slabs: - Numerical assessment of the deformation/strength capability of a masonry partition acting as loaded beam, using a 3D FEM macro model which includes a nonlinear damage plasticity model proposed by Lubliner *et. al.*, (1989), that was calibrated with experimental data obtained from lab tests performed on relatively small masonry walls; - Numerical assessment of the behavior of partitions loaded by the deformation of a real size concrete structure, using FEM and DEM coupling strategy with contact models to simulate the interaction between the partitions and the concrete structure. The concrete structure composed by a framed building structure with slabs, piles and beams was designed according to CEN methodology, CEN (2004). Considering symmetry conditions and in order to reduce the computation effort, a trunked part of the building structure was simulated, restraining the translations in XY directions.

Calibration of the constitutive model process consisted in obtaining the best fit between the numerical and experimental vertical forces and displacements, through the modification of the non-linear parameters of the constitutive model when performing numerical simulations of the real flexural tests made in laboratory. When differences between experimental and numerical cracking and failures forces or displacements were low (ranged from 2% to 12%), the model was considered accurate and representative enough to be used in the simulations. Figure1 shows the damage region obtained by the numerical simulation.

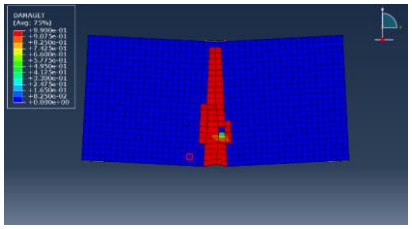


Figure 1. Example of the numerical damage region

The calibrated constitutive model was then used to simulate larger/real size with the dimensions of 2,8mx 5,7m x 0,15m (height x length x thickness), which are to be loaded with the deflections of a real scale concrete structure (next step of the numerical method). Real size masonry partition walls were simulated with or without reinforced coatings.

RESULTS AND CONCLUSIONS

The proposed two step numerical method, including calibration through experimental results obtained from lab tests performed on relatively small samples, demonstrated the ability to obtain a more realistic simulation of larger partition walls loaded by the vertical deflections of concrete structures. It also allows to obtain a more accurate estimation of structural deflections limits to avoid damage in partition walls.

Results obtained highlighted a high risk of damage in the masonry partitions when these are loaded by the structural deflections limits, referred in technical literature, especially if no detachment/movement partition/structure joints and no reinforcement techniques are used.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by: Base Funding - UIDB/04708/2020 with DOI 10.54499/UIDB/04708/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDB/04708/2020) and Programmatic Funding - UIDP/04708/2020 with DOI 10.54499/UIDP/04708/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDP/04708/2020) of the CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC).

REFERENCES

CEN, EN 1992-1-1 - Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.

CIB, Defects in masonry walls guidance on cracking: identification, prevention and repair, CIB, Rotterdam, 2015. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4407.3126 .

INE, Censos 2011 Resultados Definitivos - Portugal. Instituto Nacional de Estatística I.P. (INE), Lisboa, 2011, ISBN 978-989-25-0181-9.

Knox, C.L., Dizhur, D., Ingham, J.M., Experimental study on scale effects in clay brick masonry prisms and wall panels investigating compression and shear related properties, Construction and Building Materials, Vol. 163, pp. 706-713, 2018. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.149.

Lourenco, P.B., Silva L.C., Computational applications in masonry structures: from the meso-scale to the super-large/super-complex, International Journal for Multiscale Computational Engineering, 18(1), pp.130, 2020. https://doi.org/10.1615/IntJMultCompEng.2020030889

Lubliner, J., Oliver, J., Oller, S., Oñate, E., A plastic-damage model for concrete, International Journal of Solids and Structures, Vol.25 (3), pp. 299-326, 1989.

Milani, A.S., Lübeck, A., Mohamad, G., Neto A. B. S. S., Budny, J., Kosteski, L.E., Case study of prototype and small-scale model behavior of clay blocks masonry under compression, Case Studies in Construction Materials, Vol. 15, e00684, 2021. https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00684.

Mohammed, A., Hughes, T.G., Prototype and model masonry behaviour under different loading conditions, Material and Structures, Vol. 44 (1), pp. 53–65, 2011. https://doi.org/10.1617/s11527-010-9608-6.

PAPER Nr.22618

MULTI-OBJECTIVE MEMETIC-BASED BIOGEOGRAPHY OPTIMIZATION MODEL FOR THE OPTIMAL DESIGN OF MECHANICAL SYSTEMS

Arcílio Carlos Ferreira Peixoto[1(*)], Carlos C. António[2]
[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia – Porto, Portugal
[2]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, INEGI/LAETA - Porto, Portugal
(*) *Email:* up202209749@upt.pt

ABSTRACT

This work proposes a novel hybrid multi-objective optimization algorithm based on Biogeography-Based Optimization (BBO), enhanced with memetic operators, for the optimal design of mechanical systems. The proposed method incorporates several advanced mechanisms, such as uniform crossover, local search with a modified Hooke-Jeeves algorithm, and a sinusoidal migration model adapted from Ma's approach. Mutation, migration and mating (crossover) mechanisms are dynamically controlled for each objective function, and elitist ranking is applied using dominance and niche-counting-based fitness sharing. The algorithm introduces an extended population management strategy with age structuring, allowing newly generated individuals to integrate the evolutionary process while maintaining diversity. This ensures that non-dominated solutions persist, and the Pareto front improves over generations. Two benchmark problems are studied to validate the algorithm: the design of a cantilever beam and a two-bar truss structure. In both cases, the algorithm demonstrated effective convergence to the Pareto front and high-quality distribution of trade-off solutions.

Keywords – Memetic Algorithms, Biogeography-based optimization, Multi-Objective Optimization, Population-based Algorithms

1. Introduction

This work's main objective is to adapt a single objective memetic-based biogeography optimization model [1] to a multi-objective optimization model. A multi-objective optimization problem is optimization problem with a number of objective functions which are to be minimized or maximized. Just as is the case in single-objective optimization problems, the multi-objective optimization problems also usually have a number of constraints which any feasible solution must satisfy. The multi objective optimization problem in its general form, can be written has:

$$\left.\begin{array}{c} \text{Minimize/Maximize } f_{\mathrm{m}}(\boldsymbol{x}),\ \ \mathrm{m}=1,2,\ldots,\mathrm{M} \\ \text{subject to } g_j(\boldsymbol{x}) \geq 0, \qquad j=1,2,\ldots,\mathrm{J} \\ h_{\mathrm{k}}(\boldsymbol{x})=0,\ \ \mathrm{k}=1,2,\ldots,\mathrm{K} \\ x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)},\ \ i=1,2,\ldots,\mathrm{n} \end{array}\right\} \tag{1}$$

One of the striking differences between single-objective and multi objective optimization is that in multi-objective optimization the objective functions constitute a multi-dimensional space, in addition to the usual decision variable space [2]. Multi-objective optimization is also sometimes

referred to as vector optimization, because a vector of objectives, instead of a single objective, is optimized.

1.1 Dominance and Pareto-Optimality

Most multi-objective optimization algorithms use the concept of dominance in their search. The initial definitions come from some concepts used in multi-objective optimization algorithms, named Special Solutions. The first special solution, can be denoted as **Ideal Objective Vector**, and is defined as:

The m-th component of the ideal vector $\boldsymbol{z}^*$ is the constrained minimum solution of a multi-objective optimization problem. Thus, if the minimum solution for the m-th objective function is the decision vector $\boldsymbol{x}^{*\,(m)}$ with the objective value f_m^*, the ideal vector is as follows [2],

$$\boldsymbol{z}^* = \boldsymbol{f}^* = \{f_1^*, f_2^*, \dots, f_M^*\}^T \tag{2}$$

The second special solution, the **Utopian Objective Vector**, denotes an array of the lower bound of all objective functions. This means that for every objective function there exists at least one solution in the feasible search space sharing an identical value with the corresponding element in the ideal solution. The utopian vector is then defined as:

A utopian objective vector $\boldsymbol{z}^{**}$ has each of its components marginally smaller than that of the ideal vector,

$$\boldsymbol{z}_i^{**} = \boldsymbol{z}_i^* - \epsilon_i \tag{3}$$

with $\epsilon_i > 0$ for all $i = 1,2, \dots,$ M.

The third and final special solution, named **Nadir Objective Vector** (z^{nad}), represents the upper bound of each objective in the entire Pareto-optimal set. The nadir objective vector may represent an existent or a non-existent solution, depending on the convexity and continuity of the Pareto-optimal set. In order to normalize each objective in the entire range of the Pareto-optimal region, the knowledge of nadir and ideal objective vectors can be used as follows:

$$f_i^{\text{norm}} = \frac{f_i - z_i^*}{z_i^{\text{nad}} - z_i^*} \tag{4}$$

Domination

A solution $x^{(1)}$ is said to dominate the other solution $x^{(2)}$, if both conditions are true:

- The solution $x^{(1)}$ is no worse than$x^{(2)}$ in all objectives.
- The solution $x^{(1)}$is strictly better than $x^{(2)}$ in at least one objective.

If any of the above conditions are violated, then it can be said that $x^{(1)}$ does not dominate the solution $x^{(2)}$. If $x^{(1)}$ dominates the solution $x^{(2)}$ (mathematically $x^{(1)} \preccurlyeq x^{(2)}$), it is also customary to write:

- $x^{(2)}$ is dominated by $x^{(1)}$
- $x^{(1)}$ is non-dominated by $x^{(2)}$
- $x^{(1)}$ is non-inferior to $x^{(2)}$

With the definition of dominance established, it is also important to note some of the properties of the dominance operator presented by Cormen et al. [3]. The properties are then:

- **Reflexive:** The dominance relation is not reflexive, since any solution p does not dominate itself according to the definition above. The second condition of dominance relation in the definition does not allow this property to be satisfied.
- **Symmetric:** The dominance relation is also not symmetric, because p ≼ q does not imply q ≼ p. In fact, the opposite is true. That is, if p dominates q, then q does not dominate p. Thus, the dominance relation is asymmetric.
- **Antisymmetric:** Since the dominance relation is not symmetric, it cannot be antisymmetric as well.

Transitive: The dominance relation is transitive. This is because if p ≼ q and q ≼ r, then p ≼ r.

Chankong and Haimes [4] also presented another property that states that, if solution p does not dominate solution q, this does not imply that q dominates p. A binary relation can be qualified as a ordering relation only when the transitive property is validated. With this it is possible to state that a dominance relation qualifies as an ordering relation, since the dominance relation is not reflexive.

2. BBO model

The science of biogeography, created in the 19th century, was considered to be descriptive and historical, but in 1967, Robert MacArthur and Edward Wilson published *The Theory of Island Biogeography* [5], where they tried to describe this phenomenon in mathematical equations. These models have tried to describe how species move from one island to another, how new species appear, and how they become extinct.

BBO is a population-based global optimization algorithm, proposed by Dan Simon in 2008 [6]. As it is implied, this method uses the science of biogeography, that represents the study of the distribution of species over time and space, to study the search space in search of an optimum point. The BBO algorithm uses the models described by MacArthur and Wilson [5], to represent the different process of biogeographical evolution, such as habitats, migration and cataclysmic events. In this algorithm each solution is considered a habitat, where its suitability to preserve life will represent the fitness of the Genetic Algorithms. A habitat with a high habitat suitability index (HSI) will represent a solution with good fitness while a poor habitat (a habitat with low fitness) will have a low HSI. The algorithm will then evolve its solution to maximize (or minimize) the HSI of the best solutions by emigrating and immigrating features of the different habitats. Good solutions are associated with habitats with high HSI, while habitats with low HSI are associated with bad solutions. Solutions with high HSI are more resistant to change, so solutions with high HSI tend to share characteristics with low HSI solutions. The diversity of individuals is related to HSI, so when an individual arrives in a habitat with low HSI, the habitat's HSI tends to increase.

2.1 Migration

This process uses the migration rates of each solution to probabilistically share information between habitats. The immigration rate λ_S is used to determine whether a selected characteristic of each solution will change. If a given solution S_i has a characteristic which is selected to enter the migration process, then the emigration rate μ_S of the other solutions will decide which of

the solutions will migrate a characteristic (SIV) to this solution S_i. This process is quite similar to other reproduction processes from GAs, but this method differs from them in a very important aspect. In GAs, reproduction by recombination is used to create new solutions, while BBO migration is used to modify existing solutions. It is, therefore, possible to say that, unlike the reproduction process of the GA, the migration of the BBO is an adaptive process. The migration rates, presented in [7], are then given by,

$$\lambda_S = I\frac{n}{n} \tag{5}$$

$$\mu_S = E\left(1 - \frac{i}{n}\right) \tag{6}$$

where E represents the point where the emigration rate reaches its maximum, I represents the point where the immigration rate reaches its maximum (normally $E = I = 1$), i represents the solution ranking after being placed in descending order and n represents the number of solutions on the population.

Algorithm 1 shows a pseudocode that describes the migration process.

Algorithm 1: Migration's Pseudocode

```
For d = 1 to D do
    If rand<λ_i then
        Select another habitat (H_j) with a probability ∝ μ_j
        Define H_i(d) = H_j(d)
    End If
End For
```

where d represents the variable under study and D the size of the problem.

The use of linear models to describe the migration process is usually sufficient in the optimization algorithm. But Ma [8] also presented several different options to describe the migration operator, such as the trapezoidal and sinusoidal model, which have been used to obtain several good results [1].

Ma and Simon also presented a new variation of the migration operator in their algorithm, named blended BBO [9]. This change created a migration operator that mixes each component of an immigrating solution (H_i) with the corresponding component of the emigrating solution (H_j), as follows:

$$H_i'(d) = \alpha H_i(d) + (1 - \alpha)H_j(d) \tag{7}$$

where α is a number between $[0,1]$, which can be a predetermined or random value.

With the standard migration operator, it is possible to improve poor solutions by using the features of the best solutions. However, the blending operator makes it possible not only to do this, but also to avoid the degradation of good solutions, since they retain some of their original properties. This operator also allows for the creation of new components, promoting population diversity.

2.2 Mutation

Cataclysmic events can drastically change the HSI of a natural habitat, this process is represented in this algorithm as a mutation on the SIV of a solution. Each element of the

population has an associated probability, which indicates the probability of expecting a priori that there is a solution to the problem in question. Solutions with a very low or very high HSI are equally unlikely to mutate and solutions with a medium HSI are relatively likely. If a solution S has a low probability P_i, then the probability of it being mutated is high. On the other hand, a solution with a high probability will have fewer opportunities to mutate. This can be implemented, using the following formula,

$$m_i = m_{\max}\left(\frac{1 - P_i}{P_{\max}}\right) \tag{8}$$

where $m_{\max}$ is a parameter defined by the user, that represents the maximum mutation rate and $P_{\max}$ is the maximum of P_i in the population, P_i is then calculated as,

$$P_i = \begin{cases} P_0 = \dfrac{1}{1 + \sum_{k=1}^{n} \dfrac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_k}}, & i = 0 \\ P_i = \dfrac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{i-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_i \left(1 + \sum_{k=1}^{n} \dfrac{\lambda_0 \lambda_1 \dots \lambda_{k-1}}{\mu_1 \mu_2 \dots \mu_k}\right)}, & 1 \le i \le n \end{cases} \tag{9}$$

This method makes it possible to improve solutions with low HSI. Furthermore, with the use of elitism, which guarantees that the best solutions are kept in the study space, mutation adds some guarantee that the algorithm won't get stuck in a local optimum. Algorithmically, this process can be described as shown in the pseudocode below (Algorithm 2). With u_d and l_d representing the upper and lower bounds of the variable, respectively.

Algorithm 2: Pseudocode for BBO's standard mutation

```
For d = 1 to D do
    If rand < m_i then
        Define H_i(d) = l_d + rand · (u_d − l_d)
    End If
End For
```

2.3 Hybridization Operators

The performance of the standard algorithm, when subject to some problems of optimization of mechanical systems [1], was lacking. With the algorithm having several issues on the final generations of its process. But it also showed great promise in its initial generations, where the global search was a bigger factor. So, a couple of modifications were introduced to improve the quality of the performance of the algorithm.

Initially, a mutation cycle, in which the mutation operators are used several times in the same generation, only allows for the addition of improved solutions. A solution injection process [10, 11] was also added, where the last 10 % of the population was replaced by new solutions at the end of each generation. All these processes were added in an initial iteration of the studies to improve the diversity of the algorithm's population.

Then a recombination process through crossover was added to the algorithm to improve the exchange of genetic information. For the implementation of these operators, it was also

necessary to implement a binary decoder and encoder since most of the operators and heuristics of the BBO method are in the real domain. Three operators, the single-point crossover (SP) [12], multi-point crossover (MP) [12], and the uniform crossover (U) [13]. Recombination processes are based on the selection of a couple for each child that will be generated, these are called Mating Selection Mechanisms. This work used a MSM, denoted by *Independent Selection-based Fitness* (ISbF), and it is proceeded as follows:

The current population is divided into two groups according to the fitness of each solution, the best (elite) group and the worst group of solutions [10]. Each group provides a parent, which is selected through a roulette method. The two stochastic procedures are independent. Then the offspring created will all be placed in the population, replacing every solution not belonging to the elite.

$$P\left(\boldsymbol{x}_j^k\right) = \frac{f\left(\boldsymbol{x}_j^k\right)}{\sum_{j=1}^{N_{\text{pop}}} f\left(\boldsymbol{x}_j^k\right)} \tag{10}$$

where $f\left(\boldsymbol{x}_j^k\right)$ represents the fitness value of the solution and N_{pop} the size of the population.

A Hooke-Jeeves algorithm was also added as a local search optimizer, to improve the final generations' performance. This operator will allow for an improvement of the search velocity, allowing for the algorithm to reach the end solution with greater ease. The Hooke-Jeeves method is common in the world of optimization, since it allows for an efficient search for spaces of great dimensions, even if the objective function is very complex. This method and its parameters were altered, so that its performance and synergy with the other operators was greatly improved. The following algorithm (Algorithm 3) shows the pseudocode for the local search method.

Algorithm 3: Hook-Jeeves local search method pseudocode

```
Compute the step size (h^1)
For i = 1 to N_pop do
    Select point (solution) to be explored, H_i
    Perform the first step iteration (equation (3.2))
    Evaluate the new solution, H_new in BBO algorithm
    If H_new is better than H_i then
        H_i ← H_new
    End If
    Save the solution information, H_old
    /* Local search loop */
    While stopping criteria are not verified do
        Compute the new step value (equation (3.3))
        Compute the new solution H_new
        If H_new is better than H_old then
            H_old ← H_new
            If H_new better than H_i then
                H_i ← H_new
            End If
        End If
    End While
End For
```

The first step, h^1, is calculated as follows,

$$h^1(j) = H_1(j) - H_{N_{\text{pop}}}(j) \tag{11}$$

where j represents the dimension, H_1 is the best solution from current population and $H_{N_{\text{pop}}}$ the worst solution. The step reduction is given by,

$$h^i(j) = \left(\frac{1}{i}\right) \cdot h^1(j) \tag{12}$$

where i represents the number of cycles of the local search loop. It is important to mention that the steps will be subtracted and added so that a complete search can be carried out.

It was used a constant selection probability equal to 0.1 to select solutions from BBO population, except for the two best solutions, which were always selected. The stopping criteria of Hook-Jeeves local search is based on the number of cycles, set at one hundred.

2.4 Adaptation to Multi-objective Optimization

State of Art

There have been several authors that attempted to adapt the BBO algorithm to multi-objective optimization.

Ma et al. [14] proposed a biogeography based multi-objective optimization (BBMO), which made use of nondominated sorting approach to efficiently improve the convergence ability while combining the crowding distance to guarantee the diversity of Pareto optimal solutions. Instead of representing the potential solutions as islands, the author affirms that some of these islands should cluster together and form archipelagos, while still having singular inlands separated from the main clusters due to the random effect. The BBMO algorithm scans the entire population, after each generation, in search of nondominated solutions (these solutions can come from the archipelagos or the isolated islands), and, after the ranking and crowding distance procedure, the worst islands are replaced by some solutions of the Pareto front. The author also modified the migration rates' calculation. They are then calculated as,

$$\lambda_i = I\left(1 - \frac{k(i)}{n}\right) \tag{13}$$

$$\mu_i = E\left(\frac{k(i)}{n}\right) \tag{14}$$

where $k(i)$ is the fitness rank of the i-th individual and n represents the number of total solutions.

The author also referred to a potential weakness of the method, lying on the need to have some prior knowledge of the problem, to appropriately decompose large scale problems into subproblems.

Silva et al. [15] combined a multi-objective BBO with a predator-prey (PPBBO) approach, for the constrained design of a brushless DC wheel motor. The concept of predator and prey was, mainly, used to increase population diversity and prevent local optimum traps. The work uses the equation below to create the predator solutions (the predator solution is dependent on the worst solution, because, in nature, the predator needs prey to guarantee their survival, while the prey needs to escape the hunt to guarantee their survival),

$$P_{\text{predator}} = P_{\text{worst}} + \rho(1 - t/t_{\max}) \quad (15)$$

where P_{predator} is the predator, P_{worst} is the worst solution in the population, and t is the current iteration, $t_{\max}$ the maximum number of iterations and ρ is the hunting rate.

The escape of the prey, which is used to maintain the distance from the predator solution, is represented as follows,

$$\begin{cases} P_{k+1} = P_k + \rho e^{-|d|}, & d > 0 \\ P_{k+1} = P_k - \rho e^{-|d|}, & d < 0 \end{cases} \quad (16)$$

where d is the distance between the prey and predator and k is the current iteration.

The authors used a predator solution per objective function to hunt the worst solutions of the population, while the other solutions distance themselves from the hunt. This allows for a constant shift of the population that improves the capability of exploration, while converging the population to the Pareto front.

Bi et al. [16] proposed a multi-objective optimization BBO (MOBBO) where it uses the Pareto dominance relation of each solution to calculate its HSI. The fitness value ($f(H_i)$) was then calculated as,

$$f(H_i) = 1 - \frac{1}{N} \sum_{H_j \in P \wedge H_j \prec H_i} \left| \{ H_k \in P | H_j \prec H_k \} \right| \quad (17)$$

where N represents the number of solutions and $P = \{H_1, H_2, \dots, H_N\}$ represents the population.

The method then uses a self-adaptive migration rate calculation for each solution, defined as,

$$\lambda_i = \left(\frac{f_{\max} - f(H_i)}{f_{\max} - f_{\min}} \right)^{1/N^{\alpha}} \quad (18)$$

$$\mu_i = 1 - \lambda_i \quad (19)$$

where α represents the proportion of non-dominated solutions in P.

This method also uses a distance-based approach to maintain the diversity of the population, while using Bi and Wang's [17] dynamic migration strategy and mutation strategy.

Xu [18] proposed another multi-objective optimization algorithm based on BBO, named MO-BBO, which uses a similar fitness evaluation method as the SPEA2 algorithm [19], while employing a new disturbance migration process. This process can be represented as,

$$H_i(d) = H_j(d) + \text{rand} \cdot \left(H_{j1}(d) - H_{j2}(d) \right) \quad (20)$$

where H_j is the emigrating solution selected through the μ and H_{j1} and H_{j2} are two other solutions selected at random. Since this method can create components outside of the predefined search range $[u_d, l_d]$ the component is then modified through,

$$H_i(d) = \begin{cases} u_d - \text{rand}(0,0.5) \cdot \left(u_d - H_i(d) \right), & H_i(d) > u_d \\ l_d + \text{rand}(0,0.5) \cdot \left(l_d - H_i(d) \right), & H_i(d) < l_d \end{cases} \quad (21)$$

This work also uses the concept of virtual population named A with a size of M. This group will maintain the current non-dominated solutions, and for every generation it will check if M is not

smaller than the total number of total non-dominated solutions. If M is smaller, then it will remove the most crowded non-dominated solutions until the number equals M, if not then the current non-dominated solutions will be transferred to the A of the next generation.

Shah and Chatterjee [20] presented an elitist Multi-Objective BBO (e-MBBO) for the optimization of the VAR dispatch problem in power systems. The authors used the of crowded non-dominated sorting to expand the single objective BBO to be applied in multi-objective optimization (due to the difficulty of mapping HSI to the species count while considering the concept of dominance), while incorporating efficient elitism to prevent the deterioration of good solutions from previous generations. The work states that these changes allowed the population to ensure good diversity while improving the overall performance of the algorithm.

Li et al. [21] established a constrained multi-objective BBO based algorithm to search for an optimal scheduling in the microgrid field, while minimizing the economic and environmental costs. The authors used a ε based constraint handling method to measure the degree of the solution by comparing the parameter with the degree of violation. This method aimed to enlarge the constraint region effectively under an allowable violation degree, so that individuals with lower constraint violations can emerge and participate in the evolutionary process so that all of the population can move to the feasible region faster. The authors further modified the ε constraint handling method by incorporating a self-adaptive weighted comprehensive constraint violation method and by including Pareto dominance in the comparison among solutions, taking into account the ε constraint handling method. They also modified the HSI calculation to include the ε constraint domination method mentioned previously. This work also used Bi and Wang's dynamic migration process.

In his 10th anniversary of release, Dan Simon presented a paper where he exposed several different modifications and hybridization of the BBO algorithm [22]. This also included some adaptations of the method to multi-objective optimization, such as, Jamuna and Swarup [23] and Chouraqui and Benzater [24].

Proposed Approach

This algorithm will use Ma's [14] migration process, while using the sinusoidal migration model. It will also use Simon's [6] original mutation process, while adapting it to multi-objective optimization simply by applying the mutation operator for each objective function, in other words, in the case of a two objective multi-objective problem the current population will go through the mutation cycle twice (similar to the mutation cycle process proposed in [1]), in that generation, using the different migration rates as a selection parameter. This work will also use the uniform (U) crossover operator with the ISbF mating selection mechanism, every 100th generation, and the Hooke-Jeeves local optimizer, as described in Algorithm 3.

Inside the current generation (or current population), the solutions will be evaluated through fitness sharing and niche counting [25, 26], while being ranked through elitism. The fitness assignment process can be followed through these steps [25]:

1. Initialize $\eta(j) = 0$ for all possible ranks ($j = 1, \dots, N_{\text{pop}}$). Set $i = 1$.
2. Calculate the number of solutions p_i that dominate the solution $\boldsymbol{x}_i$. The rank of $\boldsymbol{x}_i$ is computed as $r_i = 1 + p_i$. Increment the number of solutions in each rank as $\eta(r_i) \leftarrow \eta(r_i) + 1$.

3. If $i < N_{\text{pop}}$ do $i \leftarrow i + 1$ and go to the first step, else go to the next step (step 4).
4. Identify the maximum rank $\bar{r}$ verifying that $\eta(r_i) > 0$. Based on rank sort the average fitness F_i^{aver} for any solution $\boldsymbol{x}_i$, following the equation bellow and set a rank counter $r = 1$.

$$F_i^{\text{aver}} = \begin{cases} N_{\text{pop}} - 0.5(\eta(1) - 1), & r_i = 1 \\ N_{\text{pop}} - \sum_{k=1}^{r_i - 1} \eta(k) - 0.5(\eta(r_i) - 1), & r_i \neq 1 \end{cases} \tag{22}$$

5. For each solution $\boldsymbol{x}_i$ in rank r_i, calculate the niche count $nc(\boldsymbol{x}_i)$ with other solutions in the same rank using,

$$nc(\boldsymbol{x}_i) = \sum_{j=1}^{\eta(r_i)} Shar(\delta_{ij}) \tag{23}$$

with,

$$Shar(\delta_{ij}) = \begin{cases} 1 - \left(\dfrac{\delta_{ij}}{\sigma_{\text{share}}}\right)^{\alpha}, & \delta_{ij} \leq \sigma_{\text{share}} \\ 0, & \delta_{ij} > \sigma_{\text{share}} \end{cases}$$

$$\delta_{ij} = \left[\sum_{k=1}^{N_{\text{obj}}} \left(\frac{f_k^{(i)} - f_k^{(j)}}{f_k^{\max} - f_k^{\min}}\right)^2\right]^{\frac{1}{2}} \tag{24}$$

$$\sigma_{\text{share}} = \frac{\sum_{k=1}^{N_{\text{obj}}} f_k^{\max} - f_k^{\min}}{N_{\text{pop}} - 1}$$

and the shared fitness F_i^{shar} as,

$$F_i^{\text{shar}} = \frac{F_i^{\text{aver}}}{nc(\boldsymbol{x}_i)} \tag{25}$$

the scaled shared fitness $\bar{F}_i^{\text{shar}}$ will be calculated through,

$$\bar{F}_i^{\text{shar}} = \frac{F_i^{\text{aver}} \eta(r_i)}{\sum_{k=1}^{\eta(r_i)} F_k^{\text{shar}}} F_i^{\text{shar}} \tag{26}$$

6. If $r < \bar{r}$, do $r \leftarrow r + 1$ and go to the previous step, else stop.

The pareto front will be built using a different population, named extended population, using an age-structured approach [25, 27], while being ranked through the concept of dominance. This extended population will accept into its domain every newly generated solution at the end of each generation, these solutions will be added freely until the extended population reaches its size limit (set as $N_{\text{pop}}^{\text{ext}}$). When the size of the population reaches its maximum value, the older and lower ranked individuals will be replaced by these new solutions. The old solutions may also be removed from the extended population if they reach the age limit (A_{lim}) and aren't a part of the current pareto front. Finally, the pareto front will be updated each generation and will be comprised of the rank 1 solutions, in other words, the non-dominated solutions of the extended population.

2.5 Simulation Parameters

The simulation parameters are the following:

Table 7 – Simulation Parameters

Parameter Name	Symbol	Value
Number of Generations	–	5000
Total Initial Population	N_{pop}	30
Elite	–	10% of N_{pop}
Maximum Mutation	$m_{\max}$	0.01
Maximum Emigration Rate	E	1
Maximum Immigration Rate	I	1
Extended Population Size	$N_{\text{pop}}^{\text{ext}}$	600
Age Limit (generations)	A_{lim}	100

It is important to note that due to the known limitations of the BBO algorithm, with regard to its lack of diversity in the final generations, this was taken into account when selecting the value of N_{pop}.

Initially, the tests were planned to use the recommended value of 50 (as seen in [6]), but due to some problems in the calculation of $Shar(\delta_{ij})$ and σ_{share} , where in some cases there was the possibility of having $nc(\boldsymbol{x}_i) = 0$, the value of N_{pop} was modified to be able to guarantee some diversity, while reducing the possibility of instability caused by this error.

3. Case Studies

3.1 Cantilever Beam

Assuming two decision variables (the diameter d and the length l), the cantilever beam shown in Figure 4 supports a final load P and will be modified to minimize the weight (f_1) and the final deflection (f_2). These two objectives are contradictory, since the weight function implies smaller dimensions for the beam, which will result in greater final deformation due to the lack of stiffness, while the deflection function requires larger dimensions, which will increase the weight of the specimen. The beam will also be subject to restrictions regarding the maximum stress ($\sigma_{\max}$) and the maximum deformation ($\delta_{\max}$).

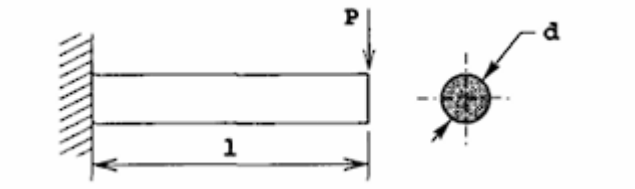


Figure 4 – A schematic of a cantilever beam [2].

The optimization problem can then be written as,

$$\begin{cases} \text{Minimize } f_1(d,l) = \rho \dfrac{\pi d^2}{4} l \\ \text{Minimize } f_2(d,l) = \delta = \dfrac{64Pl^3}{3E\pi d^4} \\ \text{subject to } \sigma_{\max} \leq S_y \\ \delta \leq \delta_{\max} \end{cases} \tag{27}$$

where the maximum stress is calculated as follows,

$$\sigma_{\max} = \frac{32Pl}{\pi d^3} \tag{28}$$

the remaining parameters' values are:

$$\begin{cases} \rho = 7800 \text{ kg/m}^3 \\ S_y = 300 \text{ MPa} \\ P = 1 \text{ kN} \\ E = 207 \text{ GPa} \\ \delta_{\max} = 5 \text{ mm} \end{cases} \tag{29}$$

Finally, the size of the variables will be enclosed by the following constraints,

$$\begin{matrix} 10 \leq d \leq 50 \text{ (mm)} \\ 200 \leq l \leq 1000 \text{ (mm)} \end{matrix} \tag{30}$$

The fitness function or habitat suitability index is defined as,

$$\text{HSI}_i(\boldsymbol{x}) = C_i - \left(f_i(\boldsymbol{x}) + \lambda \cdot \Gamma(\boldsymbol{x})\right) \tag{31}$$

where $f_i(\boldsymbol{x})$ is the respective objective function, $\Gamma(\boldsymbol{x})$ is the penalty function, and C_i and λ are two constants equal to $(50{,}5)$ and 10^7, respectively. The penalty function is then given as follows:

$$\Gamma(\boldsymbol{x}) = \sum u_i(\boldsymbol{x})^2 \tag{32}$$

where $n = 2$ and with $u_i(\boldsymbol{x})$ defined as follows,

$$u_i(\boldsymbol{x}) = \begin{cases} g_i(\boldsymbol{x}), & \text{if } g_i(\boldsymbol{x}) > 0 \\ 0, & \text{if } g_i(\boldsymbol{x}) \leq 0 \end{cases} \tag{33}$$

Results and Discussion

The results presented in the table below (Table 8) show some of the values obtained for the calculation of the scaled shared fitness for the current population final generation. It is important to note that these are the values obtained after the migration process.

Table 8 – Scaled Shared Fitness results from the last generation, after migration, for the cantilever beam problem.

Solution	HSI_1	HSI_2	r_i	F_i^{aver}	$nc(\boldsymbol{x}_i)$	F_i^{shar}	$\bar{F}_i^{shar}$
1	49.8498	4.9709	1	29.5	1.9978	14.7656	29.5
2	46.7911	4.9999	1	29.5	1.9978	14.7656	29.5
3	45.2866	4.9998	2	29	1.9954	14.5329	28.7696
4	49.7765	4.9891	2	29	1.9954	14.5329	28.7696
5	45.2852	4.9997	3	28	1.9941	14.0412	27.2958
6	49.5926	4.7244	3	28	1.9941	14.0412	27.2958
7	49.5506	4.7717	4	27	1.9971	13.5189	25.8099
8	46.8440	4.9995	4	27	1.9971	13.5189	25.8099
9	46.6912	4.9994	5	26	1.9981	13.0120	24.3586
10	49.5465	4.9714	5	26	1.9981	13.0120	24.3586
11	49.3081	4.4528	6	25	1.9926	12.5458	22.9680
12	47.6437	4.9993	6	25	1.9926	12.5458	22.9680
13	47.8816	4.9992	7	24	1.9993	12.0040	21.5241
14	49.2712	4.8948	7	24	1.9993	12.0040	21.5241
15	49.1052	4.4015	8	23	1.9841	11.5920	20.2306
16	43.1750	4.9987	8	23	1.9841	11.5920	20.2306
17	37.4254	4.9942	12	19	1	19	19
18	45.8051	4.9983	9	22	1.9780	11.1218	18.9034
19	49.0530	4.0634	9	22	1.9780	11.1218	18.9034
20	47.1448	4.9947	10	21	1.9824	10.593	17.5445
21	49.0363	4.1292	10	21	1.9824	10.593	17.5445
22	48.9996	4.9738	11	20	1.9996	10.0019	16.1532
23	47.6908	4.9942	11	20	1.9996	10.0019	16.1532
24	40.4878	4.9942	13	13	1	13	13
25	47.3449	4.9929	14	12.5	1	12.5	12.5
26	42.1355	4.9909	15	12	1	12	12
27	40.4828	4.9903	16	11.5	1	11.5	11.5
28	43.161	4.9897	17	11	1	11	11
29	42.7260	4.9896	18	10.5	1	10.5	10.5
30	46.56041	4.9611	20	1	1	1	0

Figure 5 and Figure 6, represent the Pareto's Front for the final generation and throughout the generations (in this case generations 1, 10, 50, 100, 1000, 2500 and 5000), respectively.

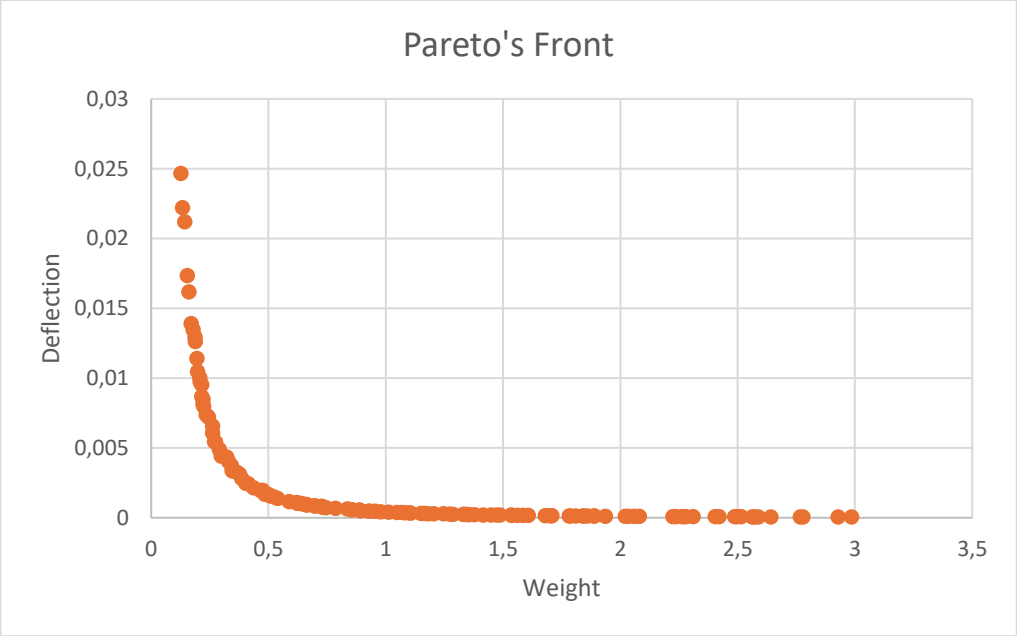


Figure 5 – Pareto's Front Results for the last generation, for the cantilever beam problem.

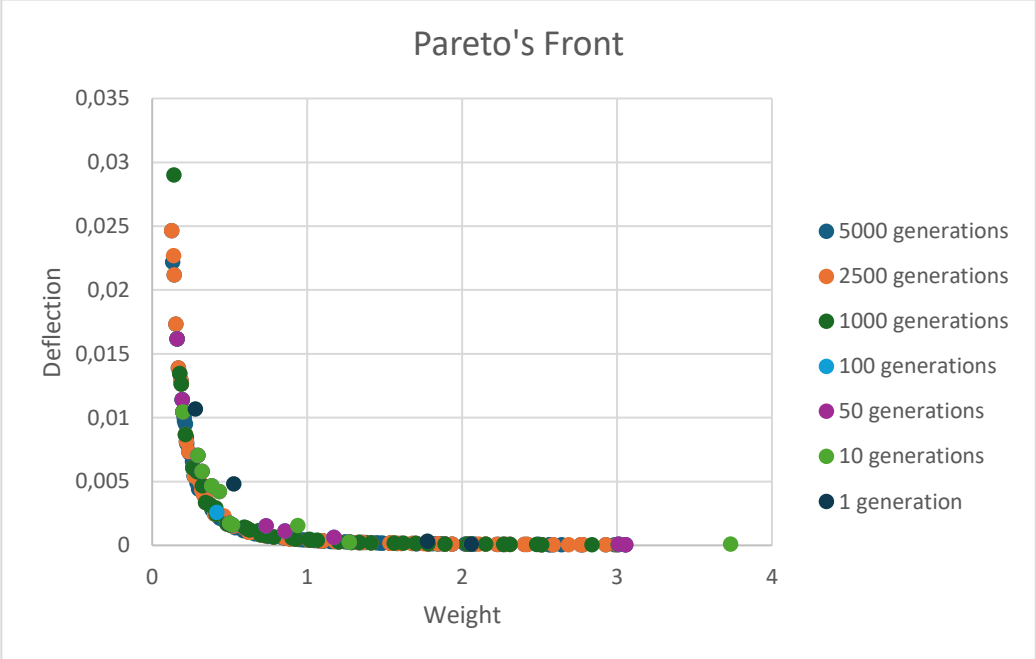


Figure 6 – Pareto's Front Evolution throughout the generations, for the cantilever beam problem.

The results obtained were all positive, being able to demonstrate the power and capacity of the newly adapted algorithm. But since this example is a fairly simple multi-objective exercise it is necessary to continue the testing with more complex cases.

3.2 Two-Bar Truss Design

The truss, shown in Figure 7, is required to carry a certain load without elastic failure. The problem will use this factor to compute the stress of each member, which will be minimized in addition to designing the truss for minimum volume. The system can then be represented through three variables: y (the vertical distance between B and C) and x_1 and x_2 (the cross-sectional areas of AC and BC, respectively).

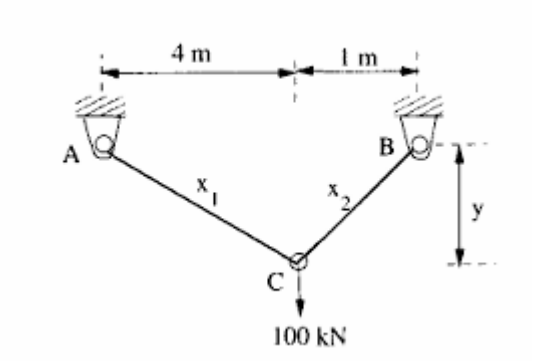


Figure 7 – A two-bar truss [2].

The original problem is then defined as:

$$\begin{cases} \text{Minimize } f_1(\boldsymbol{x}, y) = x_1\sqrt{16+y^2} + x_2\sqrt{1+y^2} \\ \text{Minimize } f_2(\boldsymbol{x}, y) = \max(\sigma_{AC}, \sigma_{BC}) \\ \text{subject to } \max(\sigma_{AC}, \sigma_{BC}) \leq 1(10^5) \\ 1 \leq y \leq 3 \text{ and } 0 \leq x_i \leq 0.01 \end{cases} \tag{34}$$

where,

$$\sigma_{AC} = \frac{20\sqrt{16+y^2}}{yx_1} \tag{35}$$

$$\sigma_{BC} = \frac{80\sqrt{1+y^2}}{yx_2} \tag{36}$$

The lower limit of the x_i variables, may induce some inconsistencies in the stress calculation, so instead of using a lower boundary equal to zero it will be considered equal to 10^{-16}, which is commonly used in other software (such as excel) as the lower number of significant digits. The objective function used in this problem is the same used for the previous example (equation 33), with the constants C_i and λ are equal to $(10^5, 5)$ and 10^7, respectively.

Results and Discussion

The results presented in the table below (ref) show the values for the scaled shared fitness, as well as other values required for its calculation, for the last generation after the migration process.

Table 9 – Scaled Shared Fitness results from the last generation, after migration, for the two-bar truss problem.

Solution	HSI_1	HSI_2	r_i	F_i^{aver}	$nc(\boldsymbol{x}_i)$	F_i^{shar}	$\bar{F}_i^{shar}$
1	4.989	24965.690	1	29.500	2	14.750	29.500
2	4.938	89711.360	1	29.500	2	14.750	29.500
3	4.939	89336.130	2	29.000	2	14.500	28.752
4	4.979	63824.810	2	29.000	2	14.500	28.752
5	4.959	86401.300	3	28.000	2	9.333	26.535
6	4.976	54183.330	3	28.000	2	9.333	26.535
7	4.947	84617.950	4	27.500	2	13.750	22.936
8	4.975	73047.650	4	27.500	2	13.750	22.936
9	4.960	84526.050	6	24.000	2	12.000	21.533
10	4.975	47542.680	6	24.000	2	12.000	21.533
11	4.971	67502.550	3	28.000	2	9.333	20.840
12	4.958	82877.300	7	23.000	2	11.500	20.840
13	4.952	87726.440	7	23.000	3	11.500	20.320
14	4.976	74735.650	8	22.000	3	11.000	20.320
15	4.972	72838.830	5	25.000	2	12.500	20.152
16	4.956	84280.210	9	21.000	2	7.000	20.152
17	4.972	49520.940	5	25.000	2	12.500	18.796
18	4.947	83926.120	9	21.000	2	7.000	18.796
19	4.956	78799.470	9	21.000	2	7.000	13.642
20	4.963	76325.180	10	23.500	2	11.750	13.642
21	4.954	77837.970	11	18.000	2	9.000	12.430
22	4.954	77837.970	11	18.000	2	9.000	12.430
23	4.957	83354.520	12	17.000	3	8.500	12.166
24	4.971	60284.860	16	4.000	3	4.000	12.166
25	4.948	73391.840	20	3.000	3	3.000	12.166
26	4.953	44833.730	22	2.000	1	2.000	4.000
27	4.953	56224.950	21	1.000	1	1.000	3.000

Figure 8 and Figure 9, represent the Pareto's Front for the final generation and throughout the generations (in this case generations 1, 10, 50, 100, 1000, 2500 and 5000), respectively.

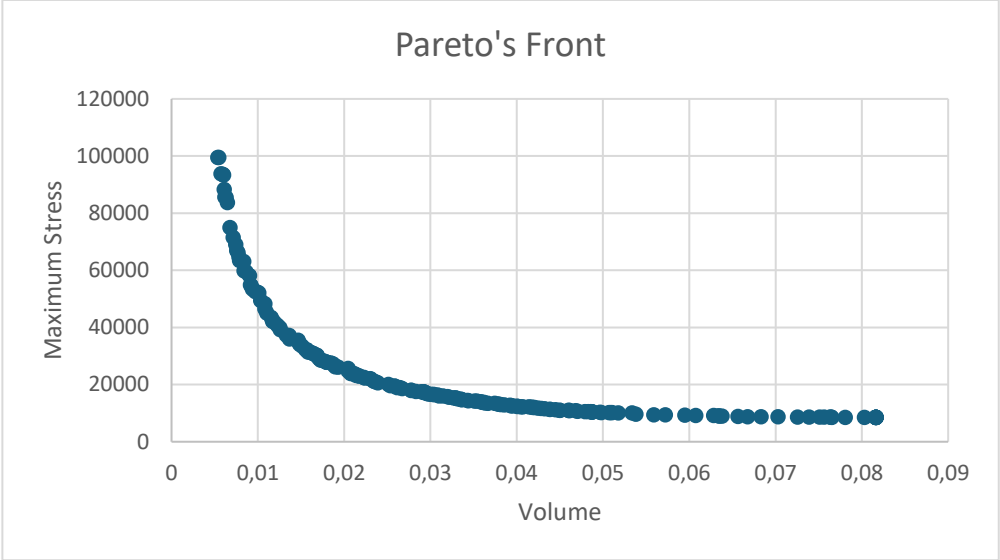


Figure 8 – Pareto's Front Results for the last generation, for the two-bar truss problem.

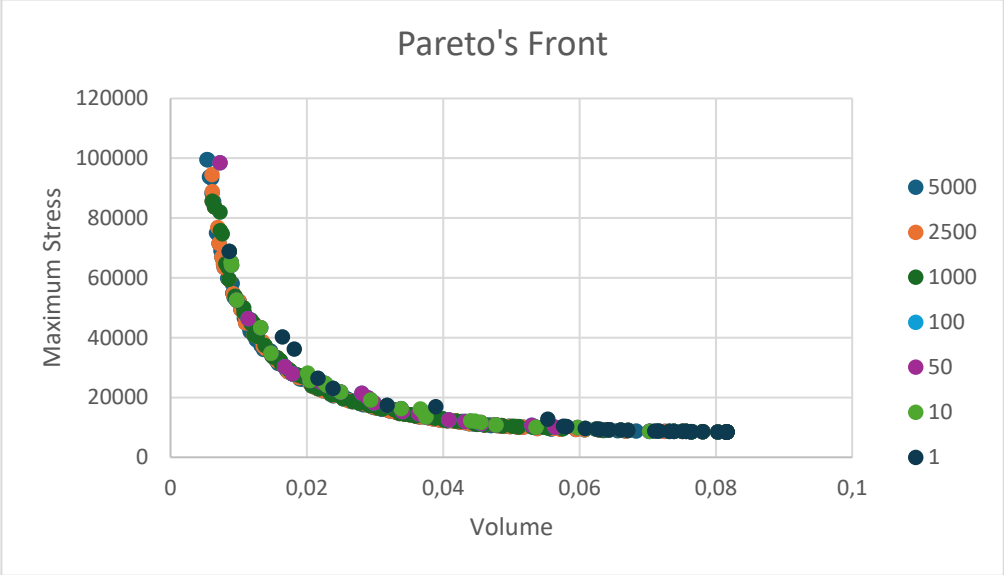


Figure 9 – Pareto's Front Results for the last generation, for the two-bar truss problem.

Once again, the algorithm showed a good performance, being able to reach the Pareto front effectively, while maintaining a high-quality distribution of solutions, throughout the evolutionary process.

4. Conclusions

An adaptation of a single-objective Biogeography-Based Optimization (BBO) memetic algorithm to a multi-objective optimization context was proposed. The core functionalities - migration, mutation, genetic recombination and local optimization - were restructured to deal simultaneously with multiple objectives. Ma's sinusoidal migration model and its strategy for multi-objective problems were adopted, the mutation rates' calculation was adjusted to account for the multi-objective migration rates, and the local procedure was modified so that the

dominant solutions were always reinserted into the population. The crossover operator remained mainly unchanged.

To manage the Pareto Front, an extended population was used which groups together the solutions from all generations, organized according to age and dominance criteria, applying elitism through niche-counting and fitness sharing. Validation was carried out on two classic engineering benchmarks - the design of a cantilever beam and a two-bar truss - in which rapid convergence to the Pareto Front and balanced distribution of commitments between objectives were observed.

The results demonstrate the effectiveness of this adaptation for multi-objective optimization, opening up prospects for application in more complex and dynamic engineering problems.

References

[1] A. C. F. Peixoto e C. A. C. António, "Memetic-Based Biogeography Optimization Model for the Optimal Design of Mechanical Systems," *Mathematics,* vol. 13, nº 3, p. 492, 2025.

[2] K. Deb, Mult-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms, West Sussex: John Wiley & Sons, Ltd, 2001.

[3] T. H. Cormen, C. E. Leiserson e R. L. Rivest, Introduction to Algorithms, New-Delhi: Prentice-Hall, 1990.

[4] V. Chankong e Y. Y. Haimes, Multiobjective Decision Making Theory and Methodology, New York: North-Holland, 1983.

[5] E. O. Wilson e R. MacArthur, The Theory of Island Biogeography, Princeton: Princeton University Press, 1967.

[6] D. Simon, "Biogeography-based optimization," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation,* vol. 12, nº 6, pp. 702-713, 2008.

[7] Y. Zheng, L. Sueqin, M. Zhang e S. Chen, Biogeography-Based Optimization: Algorithms and Applications, Beijing: Science Press Beijing, 2019.

[8] H. Ma, "An analysis of the equilibrium of migration models for biogeography," *Information Sciences,* vol. 180, pp. 3444-3464, 2010.

[9] H. Ma e D. Simon, "Blended biogeography-based optimization for constrained optimization," *Engineering Applications of Artificial Intelligence,* vol. 24, pp. 517-525, 2011.

[10] C. A. Conceição António, "A multilevel genetic algorithm for optimization of geometrically nonlinear stiffened composite structures," *Struc. Multidisc. Optim.,* vol. 24, pp. 372-386, 2002.

[11] C. A. Conceição António, "A hierarchical genetic algorithm for reliability based design of geometrically non-linear composite structures," *Composite Structures,* vol. 54, pp. 37-47, 2001.

[12] C. C. António, Optimization of Mechanical Systems, Porto: Efeitos Gráficos, 2022.

[13] L. Eshelman, A. Caruana e J. Schaffer, "Biases in the crossover landscape," *Proceedings of the third international conference on genetic algorithms,* pp. 10-19, 4-7 June 1989.

[14] H. Ma, X. Ruan e Z. Pan, "Handling multiple objectives with biogography-based optimization," *Int J Autom Comput,* vol. 9, pp. 30-36, 2012.

[15] M. A. C. Silva, L. S. Coelho e L. Lebensztajn, "Multiobjective Biogeography-Based Optimization Based on Predator-Prey Approach," *IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS,* vol. 48, nº 2, pp. 951-954, 2012.

[16] X. Bi, J. Wang e B. Li, "Multi-objective optimization based in hybrid biogeography-based optimization," *Syst Eng Electron,* pp. 179-186, 2014.

[17] X. Bi e J. Wang, "Constrained Optimization Based on Epsilon Constrained Biogeography-Based Optimization," em *International Conference on intelligence human-machine systems and cybernetics*, 2012.

[18] Z. Xu, Study on multi-objective optimization theory and application based on biogeography algorithm, Ph.D. Thesis, 2013.

[19] E. Zitler, M. Laurmanns e L. Thiele, "SPEA2: Improving the Strenght Pareto Evolutionary Algorithm," *Evolutionary methods for design, optimsation and control with applications to industrial problems.,* vol. TIK Report 03, 2001.

[20] D. Shah e S. Chatterjee, "Optimal VAR Dispatch Using Elitist Multi-objective Biogeography Based Optimization," em *2019 IEEE International Conference on Eletrical, Computer and Communication Technologies*, Coimbatore, India, 2019.

[21] B. Li, J. Wang e N. Xia, "Optimal Scheduling of a Microgrid Using Multiobjective Biogeography-Based Optimization Model and Algorithm with Adaptive Migration," *Mathematical Problems in Engineering,* vol. 2020, nº 25, pp. 1-15, 2020.

[22] D. Simon, H. Ma, P. Siarry, Z. Yang e M. Fei, "Biogeography-Based Optimization: A 10-Year Review," *IEEE TRANSACTIONS ON EMERGING TOPICS IN COMPUTATIONAL INTELLIGENCE,* vol. 1, nº 5, pp. 391-407, 2017.

[23] K. Jamuna e S. K, "Multi-objective biogeography based optimization for optimal PMU placement," *Appl. Soft. Comput.,* vol. 12, nº 5, pp. 1503-1510, 2012.

[24] S. Chouraqui e H. Benzater, "Multi-objective biogeography-based optimization technique for tuning PUMA 560's controller," *Nonlinear Dyn.,* vol. 4, nº 2577-2588, p. 79, 2015.

[25] C. A. C. António, " Local and global Pareto dominance applied to optimal design and material selection of composite structures," *Struct Multidisc Optim,* vol. 48, pp. 73-94, 2013.

[26] C. Fonseca e P. Flemming, "Genetic algorithms for multiobjective optimization: formulation, discussion and generalization," em *Proceedings of the fifth international conference on genetic algorithms*, San Francisco, 1993.

[27] C. C. António, "Memeplex-based memetic algorithm for the multi-objective optimal design of composite structures," *Composite Structures,* vol. 329, p. 117789, 2024.

ARTIGO Nº23456

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS, CINZAS DE CARVÃO MINERAL E LAMA VERMELHA, PARA PRODUÇÃO DE GEOPOLÍMEROS

João L.C. Magul [1 (*)], Jonas V. Matsinhe [2 (**)]
Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Maputo, Moçambique.
(*) Email: joaoluciano0117@gmail.com; (**) Email: jvmatsinhe@gmail.com

RESUMO

A produção de cimento Portland é um processo com alto consumo de energia e que gera impactos ambientais como a emissão de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, em vista disso, elaborou-se o presente artigo, com o objectivo de produzir geopolímeros a base de resíduos industriais (lama vermelha e cinza de carvão mineral) e solução de hidróxido de sódio, como uma alternativa para reutilização desses resíduos e para a substituição de cimento Portland na produção de pré-moldados. A lama vermelha foi extraída no distrito de Manica e a cinza na Cidade de Maputo. Após a extração fez-se a caracterização da matéria-prima e de seguida foram feitas diversas formulações de geopolímeros, variando os parâmetros de controlo (Razão cinza de carvão mineral/lama vermelho, temperatura e concentração da solução activadora). A fim de identificar as condições óptimas dos geopolímeros, foram determinadas as propriedades mecânicas (Resistência à Flexão e Resistência à Compressão) e propriedades físicas (densidade e porosidade) dos geopolímeros produzidos. A melhor resistência a compressão dos provetes geopoliméricos foi obtida nos provetes feitos com solução de 8 molares (P8C), tendo 24,50 MPa aos 7 dias e 27,48 MPa aos 28 dias. Os resultados obtidos nesta pesquisa são superiores em comparação com os resultados obtidos por SANTA (2012), que obteve uma resistência máxima de 19 MPa aos 28 dias e 25 MPa aos 90 dias. Os geopolímeros produzidos nesta pesquisa apresentam um bom desempenho quando submetidos a elevadas temperaturas, destacando-se os geopolímeros P10C que apresentaram uma resistência à compressão de 14,96 MPa após ser submetido a $800\,^{o}C$ durante 1 hora. Este resultado è 52,65 % superior ao resultado obtido nos provetos de cimento Portland que foi de 9,8 MPa.

***Palavras-chaves*:** Geopolímeros, Cimento Portland, resistência à compressão e resistência à flexão**.**

ARTIGO Nº23470

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO: ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS

Aurélio Sine[1(*)], Kevin Mavie[1], Kevin Muagerene[1]

[1]Laboratório de Engenharia de Moçambique, Instituto Público (LEM, IP) - Maputo, Moçambique
(*) *Email:* agsine@outlook.com

RESUMO

Tanto em estruturas em construção, quanto em estruturas existentes surge a necessidade de avaliar a resistência à compressão do betão. Os resultados obtidos podem ser um complemento ao controlo de qualidade do betão no primeiro caso ou para a avaliação da integridade no segundo. Em ambos, constituem uma informação útil para efeitos de avaliação da segurança estrutural. Neste trabalho, a determinação da resistência à compressão foi feita com base num ensaio destrutivo, por meio de extração de carotes e num ensaio não destrutivo, o esclerométrico. Os ensaios foram realizados em amostras de betões confecionados em laboratório e betão pronto, cujos resultados de resistência foram comparados com aqueles de provetes normalizados. Adicionalmente, analisaram-se resultados do betão aplicado em um edifício.

***Palavras-chave**:* betão, compressão, ensaio destrutivo, ensaio não destrutivo.

INTRODUÇÃO

A resistência à compressão do betão é uma das propriedades mecânicas mais importantes deste material, porque dela podem ser estimadas as demais características. Na avaliação de estruturas existentes de betão armado, ainda que se conheça o betão de projeto, é pertinente a avaliação de sua resistência *in situ*, como preconizado pela norma NP EN 13791 (IPQ 2008), quer seja por ensaios em carotes (IPQ 2009), ou por métodos indiretos, por exemplo pela determinação do índice esclerométrico (IPQ 2012).

O conceito de estruturas existentes é comumente associado a estruturas antigas e com certo valor histórico e/ou cultural, contudo, de acordo com Luechinger, et al. (2015) uma estrutura existente é parte de uma estrutura já finalizada, independentemente da idade.

A determinação da resistência à compressão do betão compreende um dos estágios dos procedimentos de avaliação detalhada de uma estrutura existente de betão armado, precedendo a análise estrutural e verificação da segurança. Note-se que a decisão de avaliar o desempenho de uma estrutura existente pode ser tomada com base nas seguintes circunstâncias: mudança de utilização ou do sistema estrutural; aumento do tempo de vida útil; acréscimo de cargas; deterioração devido a causas que dependem do tempo e exposição ambiental (por exemplo: corrosão das armaduras ou fadiga); dano estrutural; alteração de requisitos do projeto ou regulamentação vigente; e defeitos resultantes do projeto e/ou construção.

A avaliação do desempenho de uma estrutura tem o objetivo de eliminar eventuais dúvidas decorrentes da condição atual e de desempenho para identificar a intervenção mais eficiente com vista a satisfazer os requisitos básicos do seu funcionamento futuro (Luechinger, et al. 2015).

No que tange a tomada de decisão, de como intervir, quer seja por meio de reabilitação, reparação, reforço ou mesmo demolição, existem variáveis que influenciam na resistência, a ter em conta, sobretudo quando se pretende comparar os resultados obtidos dos ensaios supramencionados com uma determinada classe de resistência especificada pela norma NP EN 206-1 (IPQ 2007). Algumas destas variáveis são: as condições de cura, o tempo e geometria dos provetes.

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO

A avaliação da resistência *in situ* do betão pela norma NP EN 13791 (IPQ 2008) é aplicável conforme três casos possíveis: conformidade da resistência *in situ*; avaliação de estruturas antigas e em casos de litígio acerca da qualidade do betão (não conformidade), apresentada com mais detalhe no organigrama da Fig. 1.

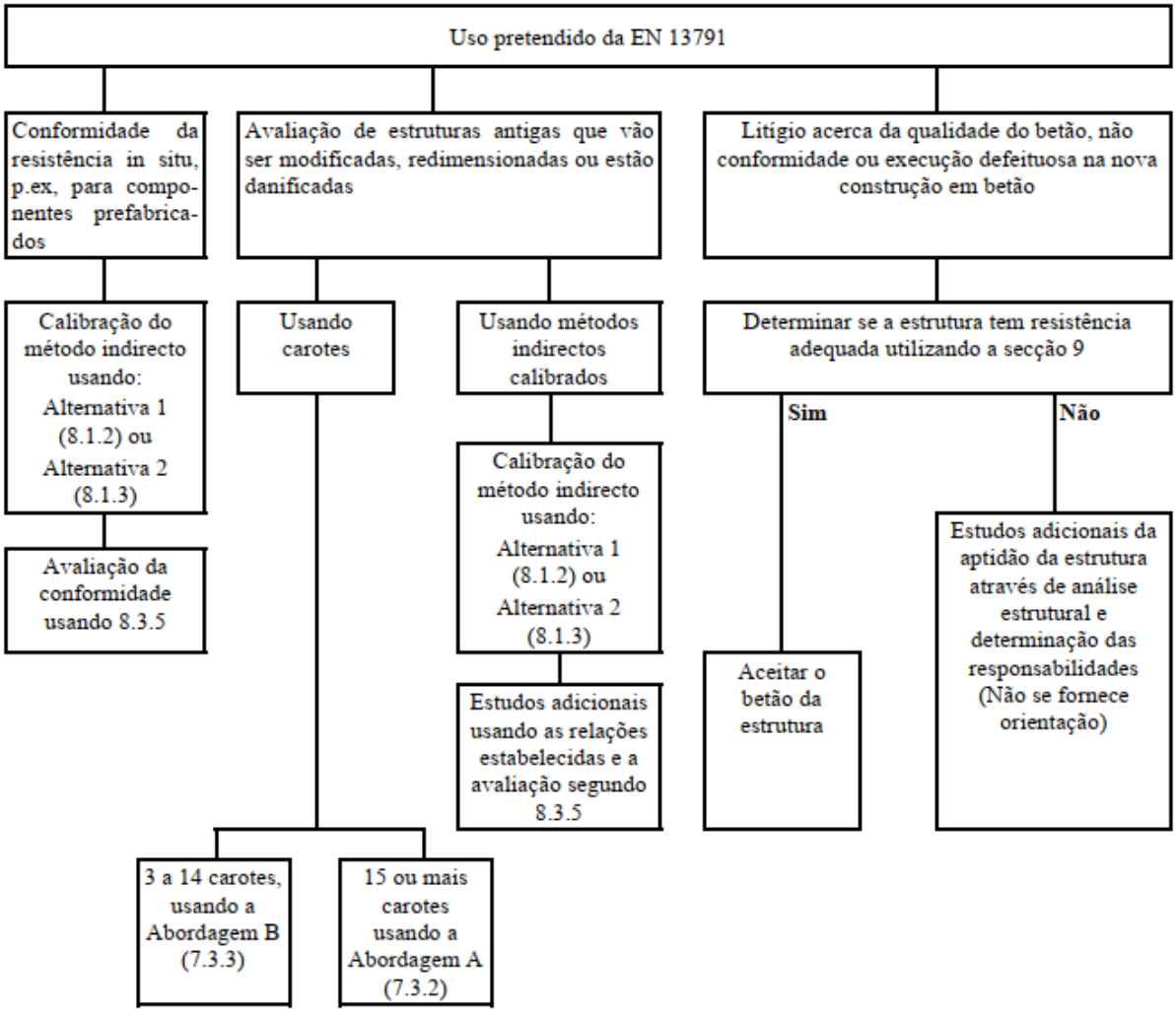


Fig. 1 – Organigrama sobre os procedimentos de avaliação (IPQ 2008).

MÉTODOS DE ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Métodos Directos (Ensaios Destrutivos)

A determinação da resistência à compressão pela norma NP EN 12390-3 (IPQ 2021) estabelece o método direto e de referência quando considerados provetes normalizados, cilíndricos e/ ou cúbicos. A mesma norma se aplica à carotes cuja obtenção deve obedecer a norma NP EN 12504-1 (IPQ 2009). O ensaio sobre carotes constitui um método direto, considerado relativamente destrutivo ou semi-destrutivo. Em estruturas existentes, os resultados de ensaio sobre carotes servem para validar os métodos indiretos.

Métodos Indiretos (Ensaios Não Destrutivos)

Os métodos indiretos de ensaio em estruturas de betão, sem qualquer ação intrusiva a estrutura, ou seja, não destrutivos, comumente usados têm que ver com (1) a determinação do índice esclerométrico (IPQ 2012) e (2) a determinação da velocidade de propagação de ultra-sons (IPQ 2007). Neste trabalho será feita a aplicação do primeiro.

RESULTADOS DE ENSAIOS

Campanha Experimental

A resistência de projeto do betão é especificada com base na norma NP EN 1992-1-1 (IPQ 2010) no que se refere a resistência à compressão, obedecendo a norma NP EN 206-1 (IPQ 2007), quanto a especificação, desempenho, produção e conformidade. Embora para o dimensionamento se usem valores de cálculo, derivados de ensaios sobre provetes normalizados, na prática, a execução deve obedecer a norma NP EN 13670 (IPQ 2011) onde se apresentam as regras a aplicar no processo de betonagem, incluindo as operações antes e após a betonagem. Como se pode perceber da norma NP EN 13670 (IPQ 2011), vários são os fatores que irão influenciar a resistência final do betão, daí que a avaliação da resistência do betão colocado em obra (existente) poderá não estar de acordo com o especificado, pelas diferentes condições de preparação dos provetes normalizados e a estrutura existente.

Foi levada a cabo uma campanha experimental com vista a aferir o impacto das condições de cura e ambientais. Assim, foram produzidas três amassaduras em laboratório, considerando dosagens de cimento de 367, 419 e 472 kg/m^3 compatíveis com relações A/C de 0,52, 0,46 e 0,40, respetivamente.

A validação dos resultados dos ensaios direto (carotes) e indireto (esclerométrico) será feita usando como referência o resultado de ensaios em cubos normalizados.

Em cada uma das amassaduras foram moldados três provetes cúbicos (150x150x150 mm^3) e dois maciços (150x500x500 mm^3). Os cubos de referência foram ensaiados aos 28 dias (Fig. 2(a)). Quanto aos maciços, um foi ensaiado aos 28 dias, tanto para determinação do índice esclerométrico em 8 áreas de ensaio (12 pontos por área) (Fig. 2(b)) e seguido da extração de 6 carotes de 95 mm de diâmetro (Fig. 2(c)), com altura igual ao diâmetro após retificação. No segundo maciço foram extraídas 3 carotes de 95 mm de diâmetro e ensaiadas após 42 dias. Os provetes foram colocados em tanques de cura 16 horas após a betonagem, tendo permanecido

por 28 dias. Posteriormente, os segundos maciços foram expostos ao ambiente exterior por mais duas semanas. Após a extração das carotes, estas foram colocadas novamente no tanque por mais 2 a 3 dias antes do ensaio. As primeiras carotes foram designadas de húmidas e as segundas de secas.



(a) (b) (c)

Fig. 2 – Provetes: (a) Ensaio de Cubo, (b) Ensaio esclerométrico e (c) Extracção de carotes.

Determinação da resistência à compressão em cubos

A resistência característica à compressão do betão determinada em cubos, f_{ck}, é dada pela equação (1), assim, a Tabela 1 apresentada os resultados de ensaio.

$$f_{ck}=(1\text{-}1{,}64\delta)f_{cm} \tag{1}$$

Onde:

δ - Coeficiente de variação

f_{cm} - Resistência média à compressão do betão

Tabela 1. Resultados de resistência à compressão do betão determinada em cubos.

Amassadura	**Idade [dias]**	**Secção [mm^2]**	f_{cm} **[MPa]**	δ **[MPa]**	f_{ck} **[MPa]**
1	28	22500	31,42	0,08	27,37
2			34,36	0,06	30,76
3			39,21	0,06	35,14

Determinação da resistência à compressão em carotes

A avaliação da resistência à compressão *in situ* característica, $f_{ck,is}$, em carotes de 95 mm de diâmetro equivalente a provetes cúbicos normalizados foi feita com base na norma NP EN 13791 (IPQ 2008), aplicando a equação (2).

$$f_{ck,is} = menor\ de \begin{cases} f_{m(n),is} - k \\ f_{is,menor} + 4 \end{cases} \qquad f_{ck,is,cubo} = 0{,}85\, f_{ck,is} \tag{2}$$

n	***k***
10 a 14	5
7 a 9	6
3 a 6	7

Onde:

$f_{ck,is,cubo}$ – Resistência à compressão *in situ* característica de provetes cúbicos de 150 mm de lado;
$f_{m(n),is}$ – Média dos resultados de *n* ensaios da resistência à compressão *in-situ;*
$f_{is,menor}$ – Menor resultado do ensaio de resistência à compressão *in-situ*;
n - Número de resultados (área de ensaio) por zona de ensaio;
k – Parâmetro que depende do número de resultados do ensaio (tamanho da amostra)

A Tabela 2 sumariza os resultados da resistência à compressão do betão em carotes.

Tabela 2. Resultados de resistência à compressão *in situ* do betão em carotes.

Amassadura	**Carotes**	***n***	***k***	**Idade [dias]**	**Secção [mm^2]**	$f_{cm(n),is}$ **[MPa]**	$f_{c,menor}$ **[MPa]**	$f_{ck,is}$ **[MPa]**	$f_{ck,is,cubo}$ **[MPa]**
1	húmidas	6	7	28	7088	23,56	19,60	23,56	27,7
	secas	3		44		27,58	27,04	27,58	32,4
2	húmidas	6		28		26,04	23,09	26,04	30,6
	secas	3		43		28,12	23,35	27,35	32,2
3	húmidas	6		28		31,27	27,27	31,27	36,8
	secas	3		42		28,46	27,27	28,46	33,5

Determinação da resistência à compressão através do ensaio esclerométrico

A estimativa da resistência à compressão pela determinação do índice esclerométrico, *Q*, foi feita considerando a curva de referência dada pela equação (3) proposta pelo fabricante do equipamento usado.

$$f_{ck}=2{,}77e^{0{,}048Q} \quad (3)$$

O resultado da resistência à compressão pelo método esclerométrico se apresenta na Tabela 3.

Tabela 3. Sumário dos resultados de resistência à compressão do betão pelo ensaio esclerométrico.

Amassadura	**Carotes**	***n***	**Idade [dias]**	$Q_{mediano}$	$f_{ck,cubo}$ **[MPa]**
1	húmidas	8x12	28	45	24,02
2	húmidas	8x12	28	46	25,20
3	húmidas	8x12	28	49	29,10

Estudo de Caso

O estudo de caso se refere a uma moradia unifamiliar, tipo 4, que se desenvolve em dois pisos e inclui o edifício principal, um anexo (torre), e vedação cuja estrutura é em betão armado (Fig. 3).

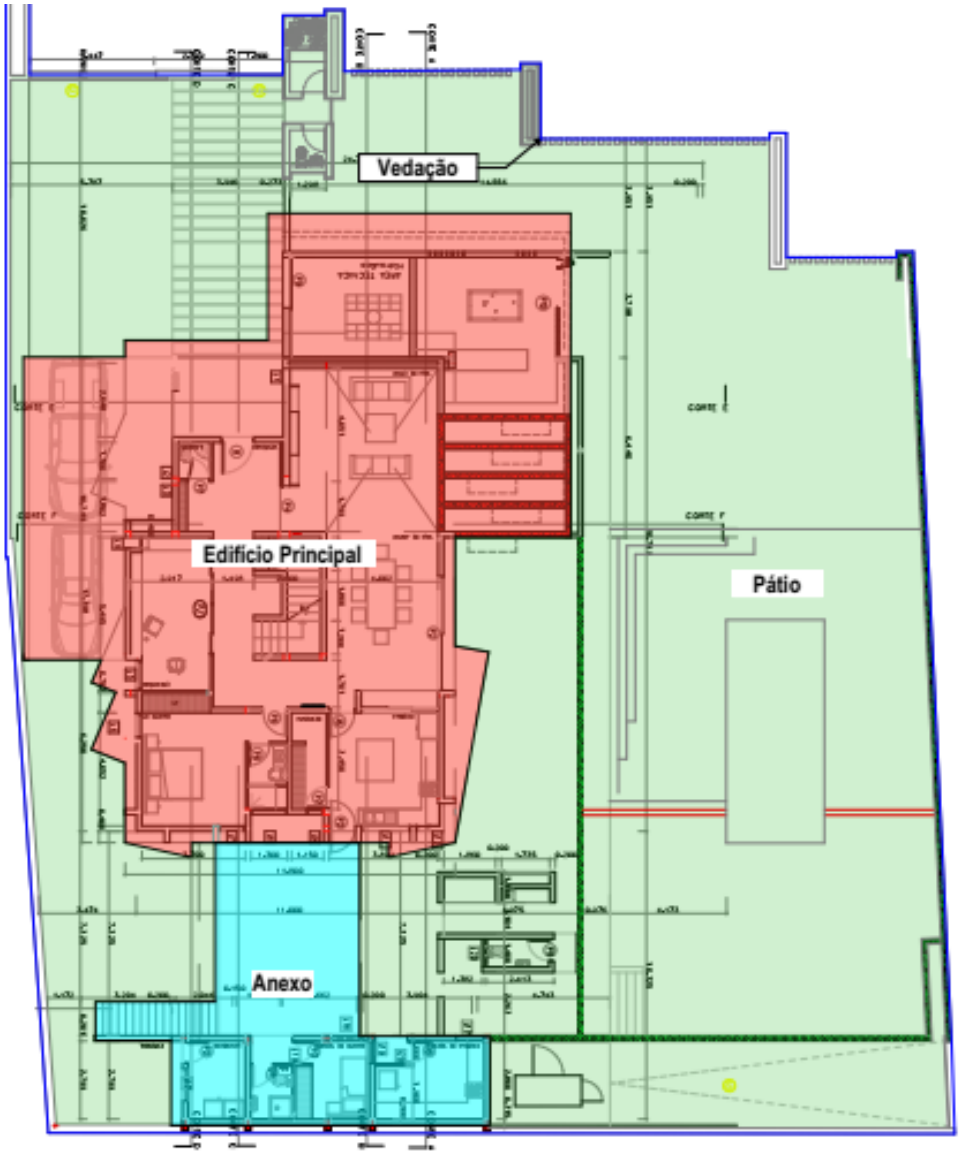


Fig. 3 – Planta de implantação do edifício caso de estudo.

Determinação da resistência à compressão em cubos

Os resultados da resistência à compressão do betão determinada em cubos referente a 86 amostras de 3 provetes cada e ensaiados aos 28 dias constam na Tabela 4.

Tabela 4. Resultados de resistência à compressão do betão determinada em cubos (caso de estudo).

Amostra, *n*	**$f_{c,menor}$ [MPa]**	**$f_{c,maior}$ [MPa]**	**f_{cm} [MPa]**	**f_{ck} [MPa]**
86	25,99	46,04	39,42	30,00

Determinação da resistência à compressão em carotes

A estimativa da resistência à compressão resultou da avaliação de 29 carotes com diâmetros variáveis de 94 e 104 mm, extraídas em pilares, muros, vigas e lajes, tendo sido obtidos os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Resultados de resistência à compressão *in situ* do betão em carotes (caso de estudo).

Amostra, *n*	$f_{c,menor}$ **[MPa]**	$f_{m(n),is}$ **[MPa]**	$f_{ck,is,cubo}$ **[MPa]**
29	16,35	28,49	23,95

Determinação da resistência à compressão através do ensaio esclerométrico

A estimativa da resistência à compressão pela determinação do índice esclerométrico, *Q*, resultou do ensaio de 21 elementos, dentre pilares, muros, vigas e lajes, com 12 pontos cada. Os resultados estão resumidos na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados de resistência à compressão do betão pelo ensaio esclerométrico (caso de estudo).

n	**Idade [dias]**	$Q_{mediano}$	$f_{ck,cubo}$ **[MPa]**
21x12	>365	50	30,53

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Campanha Experimental

A Tabela 7 apresenta a validação dos resultados dos ensaios pelos métodos direto (carotes) e indireto (esclerométrico). Os valores normalizados simplificam a análise e mostram uma superestimativa pelo método direto em cerca de 1,04, enquanto o método indireto subestima em 0,84. Os resultados do método direto consideram duas idades, 4 e 6 semanas, cuja diferença entre eles é marginal.

Tabela 7. Validação dos resultados dos ensaios da campanha experimental.

Amassadura	**Carotes**	**Idade [dias]**	**Cubos**	**Carotes**		**Esclerómetro**	
			f_{ck} **[MPa]**	$f_{ck,is,cubo}$ **[MPa]**	$f_{ck,is,cubo}/f_{ck}$	$f_{ck,cubo}$ **[MPa]**	$f_{ck,cubo}/f_{ck}$
1	húmidas	28	27,37	27,7	1,01	24,02	0,88
	secas	44	-	32,4	1,19	-	-
2	húmidas	28	30,76	30,6	1,00	25,20	0,82
	secas	43	-	32,2	1,05	-	-
3	húmidas	28	35,14	36,8	1,05	29,10	0,83
	secas	42	-	33,5	0,95	-	-
Média					1,04	-	0,84

Estudo de Caso

Contrariamente à campanha experimental, os resultados resumidos apresentados na Tabela 8, dos valores normalizados refletem uma subestimativa pelo método direto em cerca de 0,80, enquanto o método indireto superestima ligeiramente em 1,02. Em ambos métodos a idade de ensaio foi superior a 365 dias.

Tabela 8. Comparação dos resultados dos ensaios do caso de estudo.

Idade [dias]	Cubos	Carotes		Esclerómetro	
	f_{ck} [MPa]	$f_{ck,is,cubo}$ [MPa]	$f_{ck,is,cubo}/f_{ck}$	$f_{ck,cubo}$ [MPa]	$f_{ck,cubo}/f_{ck}$
28	30,00	-	-	-	-
>365	-	24,0	0,80	30,53	1,02
			0,80	-	1,02

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o estudo experimental e de um caso prático da avaliação da resistência à compressão do betão, tendo como referência resultados de cubos normalizados e ensaiados aos 28 dias, que serviram para validar o estudo experimental e aplicar na análise de um estudo de caso. Os resultados mostram que no caso do estudo experimental, o ensaio direto se aproxima à referência, enquanto o método indireto subestima. No que tange ao estudo de caso, os resultados apresentam uma tendência contrária. Nestes casos, convém considerar o método direto. A diferença, particularmente ao método directo pode estar associada às condições de cura e ambientais na campanha experimental e na obra.

REFERÊNCIAS

IPQ. EN 1992-1-1: Projecto de Estruturas de Betão, Parte 1-1: Regras Gerais para Edifícios. 2010.

—. NP EN 12390-3 Ensaios do betão endurecido: Parte - Resistência à compressão de provetes. Lisboa: IPQ, 2021.

—. NP EN 12504-1 - Ensaios do betão nas estruturas - Carotes: Parte 1 - Extracção, exame e ensaio à compressão. IPQ, 2009.

—. NP EN 12504-2 - Ensaios do Betão nas Estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo, Determinação do índice esclerométrico. Instituto Português de Qualidade (IPQ), 2012.

—. NP EN 12504-4: Ensaios do betão nas estruturas. Parte 4: Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons. Lisboa: IPQ, 2007.

—. NP EN 13670: Execução de estruturas de betão. Lisboa: IPQ, 2011.

—. NP EN 13791 - Avaliação da resistência à compressão do betão nas estruturas e em produtos pré-fabricados. Lisboa: IPQ, 2008.

—. NP EN 206-1: 2007 - Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade. Lisboa: IPQ, 2007.

Luechinger, Paul, et al. New European Technical Rules for the Assessment and Retrofitting of Existing Structures. Luxemburgo: JRC, 2015.

ARTIGO Nº 23493

AVALIAÇÃO DA CORROSIVIDADE DE SOLOS PELA DETERMINAÇÃO DA RESISTIVIDADE USANDO O MÉTODO DE WENNER

***Mabue, M. E[1]., [1]Timbane, A. F., Abel, L. S[2]**

1 Departamento de Hidráulica, Química e Ambiente, Laboratório de Engenharia de Moçambique. IP
2 Direcção de Hidráulica, Geotecnia e Vias de Comunicação, Departamento de Geotecnia e Vias de Comunicação, Laboratório de Engenharia de Moçambique, IP
** E-mail:* mabui.moises@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho, refere-se à avaliação da taxa de corrosividade dos solos e avaliação do impacto sobre as estruturas metálicas e de betão armado enterradas. A área de estudo está localizada na Provincia de Maputo, cidade da Matola nos bairros de Intaka I, Intaka II e Mali, num troço que compreende o traçado da linha para a colocação de tubos de transporte de água, no projecto de expansão do sistema de distribuição de água e construção de um centro distribuidor na zona de Missão Roque. Os resultados obtidos mostram que os solos estudados, apresentam uma baixa taxa de corrosividade, sendo por isso, pouco agressivos contra as estruturas metálicas e de betão armado enterrados.

Palavras Chave: Corrosividade, resistividade eléctrica, estruturas metálicas e betão armado.

INTRODUÇÃO

A corrosão de metais em contacto com o solo é um fenómeno bastante complexo e menos investigado se comparado com meio atmosférico ou de outra natureza, pelo facto de o solo ser um meio heterogéneo *(NÓBREGA C. A. at all, 2003).*

A corrosão de estruturas metálicas e a degradação de estruturas de betão armado têm preocupado muito o sector de construção e tem merecido estudos para a sua metigação.

Vários estudos têm sido feitos por forma a avaliar os factores que concorrem para a aceleração destes processos, por outro lado, outros são feitos no sentido de se identificar métodos eficazes para determinação da degradação de estruturas enterradas.

A avaliação da corrosividade de solos sobre estruturas enterradas pode ser feita pela determinação da resistividade eléctrica de solos bem como para estimar a razão esperada da taxa de corrosão e assim definir o sistema de protecção catódica. ***(ASTM D: G057 - 06 - 2012)***.

Para avaliação da taxa de corrosividade de solo pode ser feita, usando diferentes parâmetros como: composição química; textura e estrutura; condições de aeração e difusão do oxigênio (potencial redox); nível do lençol freático; pH; sais solúveis e resistividade elétrica. Esta última, por sua vez é afetada por alguns dos outros fatores mencionados. *(NÓBREGA C. A. at all, 2003)*

O presente trabalho, refere-se à avaliação da taxa de corrosividade dos solos e avaliar o impacto que podem ter em estruturas metálicas e de betão armado enterradas.

Muitos materiais, na sua natureza são eléctricos e a sua capacidade de conduzir a corrente eléctrica defere em função do tipo do material. Outro factor determinante é o tipo de partículas que compõem esse material e a natureza de cargas do mesmo *(Musstafa M. et all, 2018)*

A resistividade do solo é influenciada por vários factores tais como, características físico-quimicas do solo, humidade, temperatura, compactação do solo, profundidade das camadas etc.

A medição da resistividade, pode ser realizada de duas formas distintas *(Flores A. J. M., 2014)*:

a) **Medição por amostragem:** consiste em retirar uma amostra do solo em estudo e realizar as medições em laboratório;

b) **Medição no local:** consiste em injetar uma corrente para a terra entre duas hastes externas e medir a tensão resultante entre as hastes interiores, sendo que estas devem estar todas colocadas segundo o mesmo eixo. Este método é realizado, tal como o nome indica, no próprio local de estudo.

Para a medição de resistividade de solo no local, cumumete são utilizados três métodos método de Wenner, o método de Schlumberger e o método Driven Rod (*Flores A. J. M., 2014).* Para o presente trabalho foi usado o método de Wenner, o chamado método de quatro polos.

TIPO DE SOLO

O solo possui uma composição heterogênea, sendo que o valor da resistividade é influenciado pelo tipo de solo, humidade (seco ou húmido), profundidade, temperatura, salinidade, compactação etc.

Quando a variação é verificada em locais diferentes, isto é, devido a composição mineralógica do solo. Pois a variação em um mesmo local é devido a estratificação das camadas em profundidade. Quando aumenta a profundidade do solo a resistividade tende ao infinito, ou seja, o solo adquire características de um material isolante. Em alguns casos solos bem graduados apresentam resistividade constante com o aumento da profundidade ***(IEEE Std 81^{TM} - 2012)***

A tabela a baixo mostra a resistividade característica para diferentes tipos de solos e da água.

Tabela 1 – Variação de reistividade de acordo com o tipo de solo *(Silva, B. D., at all)*

Tipo de solo	**ρ, Ω.m**
Lama	5 - 100
Humus	10 - 150
Limo	20 - 100
Argila com 40% de humidade	80
Argila com 20% de humidade	330
Terra de jardim com 50% de humidade	140
Terra de jardim com 20% de humidade	480
Argila seca	1500 - 5000
Calcário fissurado	500 - 1000
Calcário compacto	1000 - 5000
Areia com 90% de humidade	1300
Areia seca	3000 – 8000
Granito	1500 - 10000
Basalto	10000 - 20000

ÁREA DE ESTUDO

A área escolhida para o presente estudo está localizada na Provincia de Maputo, cidade da Matola nos bairros de Intaka I, Intaka II e Mali num troço que compreende o traçado da linha para a colocação de tubos de transporte de água, no projecto de expansão do sistema de distribuição de água e construção de um centro distribuidor na zona de Missão Roque, Cidade de Maputo.

Para a relização das leituras de resistividade eléctrica de solos foram identificados os seguintes pontos:

i) Dois pontos na área onde será construido o centro distribuidor (Missão Roque), designadamente Missão Roque ERT 01 e Missão Roque ERT 02.

ii) Sete pontos no percurso do traçado de colocação de tubos desde Intaka I a Intaka II, nomeadamente TP1, TP2, TP3, TP4, TP5, TP6 e TP7.

iii) Três pontos para a construção de casas (de pequena dimensão) de máquinas respectivamente, Mali - C5, Mali-C7 and Mali-BH 1

A localização exacta dos pontos é mostrada na tabela 2.

Trabela 2 – Identificação dos locais de testagem (Incluindo a data e hora de testagem)

Iten	Localização	Ref.	Coordenadas		Data do Ensaio	Hora
			X Coord	Y Coord		
1	Missão Roque - Maputo	ERT 01	456966.08mE	7138106.64mS	30/01/2024	10:00
2	Missão Roque - Maputo	ERT 02	456954.01mE	7138089.43mS	30/01/2024	10:30
3	Intaka	TP 1	25°46'40.78"S	32°33'6.95"E	25/04/2024	11:35
4	Intaka	TP 2	25°46'9.73"S	32°32'53.67"E	25/04/2024	11:05
5	Intaka - Bokisso	TP 3	25º45'38.11"S	32°32'56.06"E	25/04/2024	10:30
6	Intaka - Bokisso	TP 4	25°45'8.79"S	32°32'56.24"E	25/04/2024	10:00
7	Mali	TP 5	25°44'40.96"S	32°32'36.57"E	25/04/2024	09:30
8	Mali	TP 6	25°44'33.17"S	32°33'10.55"E	25/04/2024	09:10
9	Mali	TP 7	25°44'24.56"S	32°33'45.08"E	25/04/2024	08:45
10	Mali	C7	5°44'19.62"S	32°33'29.44"E	26/09/24	9:00
11	Mali	C5	25°44'15.25"S	32°33'59.56"E	26/09/24	9:45
12	Mali	BH-1	25°44'27.94"S	32°33'31.56"E	26/09/24	10:45

RELEVÂNCIA

O uso do método de determinação de resistividade eléctrica " *in situ",* torna-se importante se se considerar que a determinação de propriedades do solo através de ensaios realizados em laboratório, apresenta como desvantagens a necessidade da coleta de amostras indeformadas no

campo, seu transporte e preparação, além de menor representatividade das amostras e consequentemente dos resultados obtidos *(NÓBREGA C. A. at all, 2003)*

Um dos princípios que se deve ter em conta na escolha do método de determinação de resistividade eléctrica "*in situ"* para a avaliação da corrosividade do solo é a rapidez e baixo custo.

Apesar das limitações típicas das técnicas expeditas, estas, quando bem planeadas e conduzidas, possibilitam a obtenção de informações representativas das condições dos locais de interesse (*NÓBREGA C. A. at all 2003)*.

Em Moçambique, há muitas obras de desenvolvimento económico nacional assim como aquelas que tem impacto social directo na vida das comunidades. São exemplo disso i) expansão da rede de fornecimento de água e de gás, onde há enterramento de tubos de aço, ii) os programas de expansão da rede de transporte de corrente eléctrica, onde há necessidade de construção de torres de transporte de corrente eléctrica; iii) construção de bombas de fornecimento de combustível, em que tanques de armazenamento de combustíveis são enterrados. Todos estes elementos mencionados são sujeitos a fenómenos de corrosão sendo por isso necessário estimar as taxas de corrosão dos solos para melhor decidir sobre os processos de protecção anticorrosivos a adoptar.

MATERIAL E MÉTODOS

MATERIAIS

Para determinar a resistividade eléctrica do solo, foi utilizado um aparelho da AEMC Instruments, pertencente ao grupo Chauvin Arnoux, que, para além do equipamento principal, é acompanhado dos seguintes acessórios: i) Quatro rolos de fio condutor de corrente electrica em cores diferentes (vermelho, azul, verde e preto, o que facilita a ligação ao aparelho), e ii) quatro pinos (eléctrodos) que são enterrados no solo a uma profundidade ***a*** para serem utilizados no ensaio. As figuras 1a) e 1b) ilustram o equipamento referido.



Figura 1a) – Equipamento usado



Figura 1b) Aparelho ligado aos eléctrodos

MÉTODO

As leituras de resistividade foram feitas, colocando os eléctrodos em linha recta, espaçados pela distância ***d***. Segundo o método de Wenner, a distância entre os eléctrodos é equivalente à profundidade da leitura de resistividade, considerando que os eléctrodos são enterrados a uma

profundidade ***(a)*** que não excede 5% da distância ***d (ASTM D: G057 - 06 - 2012)***. A distância ***(d)*** entre os eléctrodos variou de 1,0 a 2,0 metros.

De acordo com o método de Wenner, a variação da distância entre os electrodos é igual à variação da profundidade de leitura, ou seja quanto maior for a distância entre os electrodos maior será a profundidade de leitura. A figura 2 a baixo mostra o esquema usado para este trabalho.

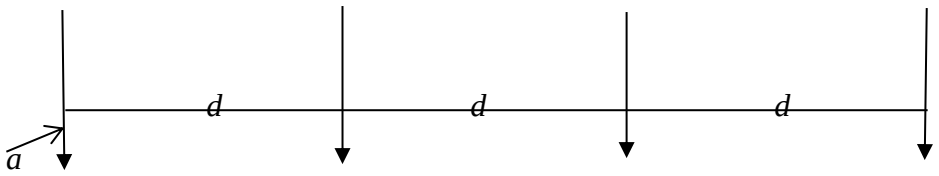


Figura 2. Espaçamento entre eléctrodos e profundidade de enterramento

Em cada ponto, as leituras foram feitas em duas direcções, norte a sul e este a oeste (N $\rightarrow$ S e E$\rightarrow$O), tendo sido achado o valor médio em cada ponto e profundidade. Na figura 3 ilustra se a direcção em que foram feitas as leituras.

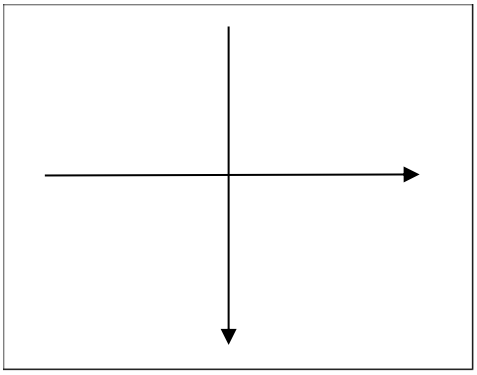


Figura 3 – Direcção em que foi feita a leitura da resistividade eléctrica

Para a determinação da resistividade média, foi considerada a variação da distância entre os eletrodos e sua direção, mantendo constante a profundidade de enterramento dos eletrodos.

A resistividade foi determinada em conformidade com a IEEE Std 81™-2012 (Revisão da IEEE Std 81-1983). Foi utilizado o método dos quatro pólos, que se baseia no seguinte.

$$\rho = 2\pi dR \quad (1)$$

Onde: ρ - Resistividade (Ω.m)

d - Distância entre os eléctrodos (m)

R - Resistência (Ω)

π = constante (3,1414)

Para o presente trabalho foram feitas várias determinações/leituras a uma profundidade que varia de 1,0m a 2,0, profundidade essa que é obtida variando a separação dos eléctrodos.

Nos mesmos pontos onde foram realizados ensaios de resistividade electrica, foram colhidas amostras para a realização de ensaios de identificação e classificação de solos.

RESULTADOS DE ENSAIOS

Os estudos efectuados em laboratório e a inspecção visual mostram que os solos da área de estudo, são solos arenosos, constituídos predominantemente por areias siltosas malgraduadas, do tipo SP-**SM (USCS/Unified Soil Classification System),**

Os resultados obtidos mostram, na sua maioria, valores que variam de 500Ω.m a 2400Ω.m, apesar de em duas amostras ter – se obtido valores de 180Ω.m e 260Ω.m (valores superiores a 100Ω.m), conclui se que os solos estudados apresentam uma baixa taxa de corrosividade, sendo por isso pouco agressivos contra as estruturas metálicas e de betão armado.

Os resultados dos ensaios de determinação da resistividade eléctrica in situ estão apresentados na tabela 3.

Tabela 2 - Reultados de Resistividade Eléctrica em diferentes pontos (Missão Roque, Intaka e Mali)

Referência do ponto	**Tipo do solo**	**Profundidade de leitura (m)**	**Resistividade, ρ (Ω . m)**		**Média da resistividade Eléctrica**
			N → S	**E → O**	
Missão Roque ERT1	Esbranquiçado/Arenoso	2,0	949	770	859,5
Missão Roque ERT2	Esbranquiçado/Arenoso	2,0	602	741	671,5
TP Nº 1 (Intaka)	Esbranquiçado/Arenoso	1,5	273	254	264
TP Nº 2 (Intaka)	Esbranquiçado/Arenoso	1,5	2480	2070	2275
TP Nº 3 (Intaka – Boquisso)	Avermelhdo/Branco/ Compactado	2,0	196	164	180
TP Nº 4 (Intaka – Boquisso)	Avermelhdo/Branco/ Compactado	1,5	1300	1020	1160
TP Nº 5 (Mali)	Esbranquiçado/Arenoso	1,5	568	459	523,5
TP Nº 6 (Mali)	Esbranquiçado/Arenoso	1,5	3830	4000	3915
TP Nº 7 (Male)	Esbranquiçado/Arenoso	1,5	841	1150	995,5
C7 - Mali	Esbranquiçado/Arenoso	2,0	3400	3540	3470
C5 - Mali	Esbranquiçado/Arenoso	2,0	1150	1370	1260
BH-1 - Mali	Esbranquiçado/Arenoso	2,0	2280	2580	2430

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos mostram que os solos da área de estudo, são constituídos por areias siltosas malgraduadas do tipo SP-SM e apresentam uma baixa taxa de corrosividade, sendo pouco agressivos contra as estruturas metálicas e de betão armado enterrados.

REFERÊNCIAS

[1] Adeoti, L., Adegbola, R.B., Ademilola, J.A. and Oyeniran, T.A., Soil Resistivity Measurement for Corrosivity Assessment using Barnes Method, Nigerian Research Journal of Engineering and Environmental Sciences, Vol. 3, No. 2, 703-712 ref. 28, 2018.

[2] Ahmed Hammuda[1], Hassan Nouri[1], Mohammed Saleh Al-Ayoubi[2,] An Investigation into Substation Grounding and Its Implementation on Gaza Substation, November 18, 2011.

[3] ASTM G57 - 06, Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method, pp 1, 2014.

[4] Duarte e Silva B., Silva C. G. T., Alves E. A., de Castro F. J. e Soares J. P. F. Desenvolvimento de Software para Elaboração de Projectos de Aterramento Eléctrico, Universidade FUMEC, v. 1 n. 1, 2015.

[5] *Flores, A. J. M.*, Análise e Aplicação de Métodos para o Cálculo da Resistência de Terra em Sistemas com N Elétrodos Instalados em Solos Heterogéneos, Tese de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP – U. Porto, 2014.

[6] IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, IEEE Std 81TM – 2014.

[7] Mustafa Ma, Mona B.A, AmrRadwana Application of electrical resistivity measurement as quality control test for calcareous soil**,** HBRC Journal Volume 14, Issue 3, Pages 379-384, December 2018.

[8] Nóbrega, C.A., Chang, H. K., Braga A. C. O., Ferreira, J. Oliva, A., Pede, M. A. Z., Avaliação Preliminar da Corrosividade de Solo com o Emprego de Resistividade Eléctrica em uma Planta Industrial Utilizada para Armazenamento de Derivados de Petróleo, 2003.

PAPER Nr.23510

CPFE-BASED FATIGUE MODELLING OF A RAILWAY BRIDGE'S CRITICAL LOCATION

António M.B.F.S. Mourão[1(*)], José A.F.O. Correia[1], Claúdio Horas[1], Abílio M.P. De Jesus[1], Túlio N. Bittencourt[2]

[1]CONSTRUCT & INEGI, Faculty of Engineering, University of Porto, 4200-465 Porto, Portugal
[2]Polytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, 05508-010 SP, Brazil
(*) *Email:* amourao@fe.up.pt

ABSTRACT

This study leverages a Crystal Plasticity Finite Element (CPFE) framework to assess fatigue behaviour at a critical location of a railway bridge, particularly a riveted connection prone to fatigue-induced damage. Realistic microstructural features and anisotropic grain responses are incorporated into a Representative Volume Element (RVE), which is generated through Voronoi tessellation under cyclic elastoplastic conditions. The Crystal Plasticity Fatigue Model (CPFM) that has been implemented is thus capable of accurately predicting the initiation sites of fatigue cracks and the propagation trajectories of microcracks by capturing crystallographic slip, intergranular interactions, and stress localisation effects. A refined mesh resolution and explicit characterisation of microstructural heterogeneities ensure accurate portrayal of stress gradients and deformation localisation phenomena found in polycrystalline steel aggregates. A targeted submodel integrated local microstructural characteristics to robustly evaluate structural performance under operational fatigue loading, thereby substantially improving predictive accuracy for structural integrity evaluations and fatigue life estimations.

***Keywords**:* crystal plasticity, fatigue modelling, multiscale simulation, railway bridges.

INTRODUCTION

Fatigue is a leading cause of in-service failure in metallic components, a phenomenon recognised since Wohler's seminal endurance experiments on railway axles in the mid-nineteenth century. A comprehensive review of technical literature consistently demonstrates that cyclic loading phenomena are responsible for 80% to 90% of all metal mechanical failures [1]. Such failures are ubiquitous across a wide range of engineering sectors, encompassing offshore platforms, wind-energy converters, aerospace structures, and metallic bridges, and often occur at nominal stress levels significantly below the material's monotonic yield strength [2]. The catastrophic collapse of the Silver Bridge in 1967 [3] and the calamitous derailment of the Intercity Express near Eschede in 1998, which tragically claimed 101 lives, stand as stark historical precedents, underscoring the profound economic and societal repercussions associated with undetected fatigue cracks. Beyond these prominent examples, a multitude of other incidents - such as the 1842 Versailles train crash due to a broken axle, the 1919 Bonton Molasses Disaster linked to tank fatigue, the 1980 Alexander L. Kielland oil platform capsize from a fatigue crack in a fillet weld, and numerous aircraft structural failures (e.g., Aloha Airlines Flight 243, Japan Airlines Flight 123) - continue to highlight the critical need for accurate fatigue life prediction.

The stress-life (S-N) methodology, initially conceived by August Wohler in 1858, remains a foundational pillar of contemporary design guidelines. This approach establishes a correlation

between stress amplitude and cycles to failure, typically derived from tests on polished, uniaxially loaded specimens. When coupled with linear cumulative-damage principles, most notably the Palmgren-Miner rule [4], the S-N methodology provides an intuitive deterministic framework for estimating fatigue life under both constant- and variable-amplitude loading spectra. In the Low-Cycle Fatigue (LCF) regime, where plastic deformation is significant, strain-life formulations like the Coffin-Manson relationship [5] offer a more appropriate framework, while crack-growth laws, such as the Paris-Erdogan equation, provide complementary methodologies for predicting the propagation of existing cracks [6]. However, a substantial body of research consistently highlights critical limitations inherent in these classical methodologies, particularly when confronted with multiaxial loading, local stress raisers, or environmental degradation. For instance, under complex, fully non-proportional stress states, no universally accepted S-N criterion exists, necessitating recourse to critical-plane or energy-based formulations whose predictive validity, especially under random loading sequences, remains a subject of ongoing debate [7]. Furthermore, the initiation of fatigue cracks is often profoundly influenced by severe stress-strain concentrations induced by geometric discontinuities, including notches, weld toes, or inclusions.

The ageing of existing transport infrastructure further exacerbates this problem. For example, many railway bridges, constructed initially with riveted connections seven to ten decades ago, are now subjected to traffic levels that significantly exceed their initial design assumptions. At the same time, their inherent fatigue resistance is progressively compromised by pervasive corrosion effects. As a result, traditional deterministic design curves face the critical risk of becoming either uneconomically conservative, leading to over-designed and costly structures, or, more perilously, non-conservative, thereby increasing the likelihood of unexpected failures [8]. This growing complexity and the limitations of traditional, macro-scale fatigue models underscore an increasing demand for more accurate and predictive methodologies, particularly for assessing the remaining service life of ageing assets and understanding fatigue behaviour in aggressive environments [9].

Decades of meticulous microstructural experimentation have conclusively clarified that the genesis and early propagation of fatigue damage are fundamentally governed by intricate processes operating at the grain level. At this mesoscopic scale, micro-cracks are observed to propagate intermittently through grain boundaries, while inherent inclusions or surface pits frequently act as nucleation sites [10]. A key microstructural phenomenon is the development of persistent slip bands (PSBs), which occurs along crystallographic planes that are favourably oriented with respect to the applied stress. These localised deformation mechanisms are not only responsible for the significant life scatter observed among nominally identical specimens, but also account for a remarkable up to 90% of the total fatigue life, particularly during the crack initiation and short crack growth stages [1]. Crucially, these inherently localised phenomena are intrinsically unresolvable within continuum plasticity models, which traditionally consider the metallic material as homogeneous and isotropic [11]. This fundamental limitation of macro-scale models to capture critical microstructural events necessitates a paradigm shift towards more physically based predictive strategies. Therefore, multiscale approaches have become increasingly popular, as they offer the unique capability to integrate microscale dislocation kinetics with mesoscale grain interactions and macroscopic stress redistribution, thereby providing a far deeper and more accurate understanding of the underlying fatigue mechanisms [12]. This transition from a macroscopic, phenomenological view to a mesoscopic/microscopic perspective is justified by the well-established influence of microstructure on fatigue behaviour, especially in the crucial short crack regime where

traditional Linear Elastic Fracture Mechanics (LEFM) often fails to accurately predict crack growth rates due to the interaction of the crack tip plastic zone with individual grains [12].

Within this emerging multiscale spectrum, the Crystal Plasticity Finite Element Method (CPFEM) has emerged as a particularly effective and powerful computational approach. CPFEM explicitly resolves anisotropic plastic flow, latent hardening, and orientation-dependent stiffness by embedding the fundamental principles of crystallographic slip systems within each finite element. This sophisticated framework directly accounts for plastic deformation through the shear of crystal planes along specific directions (slip systems), with slip resistance and the overall anisotropic response being directly computed from the collective behaviour of these systems within individual grains.

Within this emerging multiscale spectrum, the Crystal Plasticity Finite Element Method (CPFEM) has emerged as a particularly effective and powerful computational approach. CPFEM explicitly resolves anisotropic plastic flow, latent hardening, and orientation-dependent stiffness by embedding the fundamental principles of crystallographic slip systems within each finite element. This sophisticated framework captures plastic deformation through shear along specific crystallographic planes and directions (slip systems), with slip resistance and the resulting anisotropic response computed from the collective behaviour of these systems within individual grains. The intricate interplay of grain orientations, slip system activation, and hardening effects directly leads to the anisotropic plastic deformation observed at the macro scale. The ability to perform inverse parameter identification has been significantly enhanced by the advent of automatic differentiation, enable by recent GPU-accelerated implementations [13], [14]. These advancements have dramatically improved computational efficiency, making it feasible to simulate Representative Volume Elements (RVEs) containing thousands of grains at a practically viable cost. State-of-the-art studies increasingly employ CPFEM to predict heterogeneous strain localisation and incipient crack-initiation hotspots; to quantify the statistical scatter associated with microstructurally short crack-growth rates [15]; to evaluate grain-refinement or texture-control strategies for life extension; and to effectively upscale micro-scale indicators – such as accumulated crystallographic slip – into robust component-level fatigue metrics [16].

Building upon this robust foundation, our previous research established a validated CPFEM approach for simulating the monotonic tensile response of historic bridge steel. This framework rigorously demonstrated that Voronoi-based Representative Volume Elements (RVEs), combined with a user-material subroutine, accurately reproduce experimentally observed grain-size effects and yield anisotropy [17]. The current contribution significantly broadens the scope of the established framework to include explicit fatigue assessment and the complexities of cyclic loading. Specifically, this involves the incorporation of advanced hardening laws to capture cyclic plasticity, automated parameter back-calibration against stabilised macroscopic hysteresis loops, statistical representation of material variability to account for inherent microstructure differences, and the implementation of sophisticated sub-modelling workflows that embed refined RVEs at fatigue-critical regions of riveted railway-bridge connections, such as those subjected to complex local stress fields. By integrating these critical elements, our overarching aim is to deliver a physics-based methodology that substantially enhances the reliability of life predictions for aging metallic infrastructure, supports the development of targeted retrofitting strategies for improved structural integrity, and provides a robust foundation for probabilistic fatigue-field estimation, thereby improving the safety and longevity of vital engineering assets.

BRIEF STATE OF THE ART AND THEORETICAL BACKGROUND FOR CPFEM IN FATIGUE MODELING

Fatigue is a crucial failure mode in metals, estimated to account for at least half of all mechanical failures [18]. Traditional empirical approaches, such as Basquin's high-cycle and Coffin-Manson's low-cycle fatigue laws, correlate cyclic loading with life but offer limited insight into the physical crack initiation process. These methods require extensive parameter fitting for each material and condition and do not explicitly distinguish between crack initiation and propagation phases, even though crack nucleation, often spanning only a few grain sizes, can consume most of a component's fatigue life. This limitation has driven the development of mechanistic models that explicitly incorporate the material's microstructure, including crystal grains, crystallographic orientations, and defects, known to strongly influence fatigue behaviour [19]–[21]. These models aim to establish a more predictive, physics-based understanding of fatigue crack formation by accounting for microstructural features.

The CPFEM represents a powerful modern approach. CPFEM explicitly models a metal as a polycrystal, where crystal-level constitutive laws govern individual grains. Originating from the pioneering work of Pierce, Asaro and Needleman in the 80s [22], this method naturally captures the heterogeneity of stress-strain response arising from grain anisotropy, orientations and local constraints. CPFEM resolves the development of local plastic hotspots, such as persistent slip bands (PSBs), enabling a microstructure-sensitive analysis of fatigue that reveals how grain-level features cause damage to initiate at specific favourable locations [23]. Over the past two decades, computational power and material characterisation advancements have established CPFEM as a state-of-the-art tool for investigating microstructure-related fatigue crack initiation [11], [16], [24].

Microstructural Mechanisms of Fatigue Crack Initiation

Classical metallurgical studies established that fatigue crack initiation is intimately linked to microstructural slip deformation. Under cyclic loading, dislocations in the crystal structure accumulate and arrange into low-energy configurations. This leads to the formation of persistent slip bands. Alternating plastic shear in PSBs produces surface relief features (extrusions and intrusions), which act as precursors to cracks. In fact, Ewing and Humfrey's early 1900s experiments showed that microscopic slip markings appear in some grains, and eventually, tiny cracks develop along those bands [25]. The irreversible slip within PSBs is now understood as a critical mechanism for crack nucleation, as dislocations annihilate or pile-up persistently along the same crystallographic planes, local slip irreversibility accumulates, creating a damaged zone that can no longer accommodate strain without cracking. In summary, cyclic plasticity tends to localise in specific regions of a polycrystal (often at strain hotspots like PSBs), and strain localisations are a precursor to crack initiation.

Building on these experimental insights, Tanaka and Mura [26] developed one of the first quantitative microstructural models for fatigue crack initiation. They proposed a dislocation-based model in which cyclic slip in a surface grain produces a pile-up of dislocation dipoles at the grain boundary, corresponding to the formation of an intrusion/extrusion pair. With continued cycling, the pile-up grows and stores energy – a microcrack is assumed to nucleate once the stored elastic energy due to the dislocations reaches a critical value. Notably, Tanaka's model could derive the Coffin-Manson relationship (linking plastic strain range to fatigue life) from first principles, and it predicted a grain size dependence of fatigue strength consistent with a Hall-Petch type relationship. In essence, smaller grains lead to shorter dislocation mean free paths and thus higher resistance to crack nucleation – a trend observed empirically in fatigue

limits of steels and other alloys. Tanaka's work showed that microstructural fatigue life can be connected to cyclic slip processes and grain barriers.

Subsequent researchers have extended microstructural modelling to address not only crack nucleation in one grain, but also the early short crack growth across multiple grains. Navarro and de los Rios [27] developed a unified model for short and long crack growth by considering how a micro-crack propagates through a polycrystal, advancing grain by grain. In their formulation, the crack-tip driving force is the cyclic plastic zone ahead of the crack, and grain boundaries act as discrete barriers that temporarily halt the crack until the local stress is sufficient to push slip into the next grain. This produces an intermittent, stop-and-go crack advancement that explains why short cracks often grow faster than predicted by long-crack data and why they may even arrest completely at strong barriers. The Navarro-Rios model thus bridges microscale mechanisms and macroscopic crack growth behaviour, successfully reproducing the empirically observed transient acceleration and deceleration of short cracks. It rationalises the concept of a fatigue limit as the stress below which a crack's plastic zone cannot overcome the next grain boundary. If the applied stress is too low for the crack tip to plastically deform the next grain, the crack will cease to propagate, corresponding to an endurance limit. This model reinforced the view that the early stages of fatigue are dominated by microstructural features, and any comprehensive fatigue prediction must account for these details.

Another important thread in fatigue theory is the role of multiaxial stress states and how to quantify damage from complex loadings. A notable contribution here is the critical plane approach formulated by Fatemi and Socie [7]. Although their model was not explicitly microstructural, it implicitly recognised the influence of material slip planes on fatigue. Fatigue-Socie proposed that fatigue crack initiation is governed by the maximum cyclic shear strain amplitude on a critical plane and the maximum normal stress on that plane (to account for crack growth driving force). To capture this, they introduced a fatigue indicator parameter (FIP) of the form:

$$\mathrm{FS} = \frac{\Delta\gamma_{max}}{2}\left(1 + k\frac{\sigma_n^{max}}{S_y}\right) \tag{1}$$

Which combined the shear amplitude on the critical plane with a term for the concurrent normal stress (scaled by the yield strength). This parameter has successfully correlated multiaxial fatigue lives for many materials in both low-cycle and high-cycle fatigue regimes. Its physical interpretation is that cyclic shear is the primary driver of crack nucleation, but tensile stress superposed on that plane will accelerate micro-crack formation by promoting crack opening and Mode I growth. The Fatemi-Socie model has become a cornerstone for multiaxial fatigue design, and later researchers extended it to include mean stress effects. For instance, Fatemi and Kurath [28] demonstrated an approach to predict life under non-zero mean strains/stresses by incorporating cyclic hardening and mean stress relaxation into the critical plane parameter. These critical plane parameters are often used as damage metrics on a micro-scale as well – for instance, in a polycrystal simulation, one might evaluate the Fatemi-Socie FIP in each grain to identify the most vulnerable plane. In summary, classical models provide the theoretical foundation that fatigue crack initiation is controlled by cyclic microplasticity and that microstructural barriers and local stress states govern the early crack development. This sets the stage for modern computational approaches to tackle the same phenomena more thoroughly.

Crystal Plasticity Finite Element Method Fundamentals

Crystal plasticity theory treats the plastic deformation of a crystal as the shear on multiple crystallographic slip systems, each with its own resolved shear stress and strength. This framework can capture anisotropic yielding and the Bauschinger effect. CPFEM incorporates crystal plasticity constitutive laws at integration points, allowing each element to deform according to the physics of dislocation slip. An important example is the work by Peirce et al. [22], who performed finite element analysis of single crystals with a two-slip system model, demonstrating how material rate sensitivity and hardening on different slip systems influence the formation of shear bands. This provided insight into localised deformation patterns that simpler isotropic plasticity models could not reproduce.

When extended to polycrystalline aggregates, CPFEM models the specimen as an assembly of grains, each with a specified orientation and single-crystal flow properties. Early computational studies in the 1980s (e.g., Asaro, Needleman and coworkers) already showed that explicitly modelling grains could elucidate how microstructure governs phenomena like shear localisation and void nucleation. However, it was only in recent years that simulating large 3D polycrystals with hundreds or thousands of grains has become computationally feasible due to increased computational power. Techniques for generating realistic virtual microstructures are crucial. One common approach is to use Voronoi tessellations or other stochastic geometry methods to create an artificial grain structure that matches the statistical properties of the real material. For example, Quey et al. [29] introduced an open-source tool called Neper for generating and meshing large 3D random polycrystals for finite element analysis. They emphasised that the microstructure representation must be sufficiently large and statistically representative to predict local phenomena, such as life fatigue crack initiation. In other words, since fatigue cracks nucleate at the most extreme localities of plastic deformation, a simulation needs either a very large number of grains or multiple instantiations to capture those extreme hotspots reliably. This is aligned with extreme value statistics approaches to fatigue – the life of a component may be dominated by the single weakest-link grain or inclusion.

Within a CPFEM simulation, one tracks the cyclic plasticity in each grain at the scale of slip systems. Unlike traditional fatigue methods that consider only nominal stresses, CPFEM inherently links the macro-scale loading (which might be uni- or multi-axial, proportional or non-proportional, etc.) to the micro-scale response. This directly addresses the challenge noted by Dang Van and others: translating an applied stress to the actual stress state within individual grains in non-trivial, especially for high-cycle fatigue, where macroscopic behaviour is predominantly elastic. CPFEM solves this by essentially performing a virtual experiment on the microstructure: as the load is applied, some grains (depending on orientation and neighbours) will yield first and develop cyclic slip, while others remain elastic – even if the overall deformation is elastic – as is the case for high-cycle fatigue regime – the simulation can reveal the tiny regions of local plasticity that eventually cause crack initiation. In polycrystalline fatigue, such microplasticity plays a critical role. Indeed, Dang Van's infinite life criterion can be interpreted as requiring shakedown at the grain scale, which CPFEM can directly check by computing cyclic stabilisation of each grain's response.

A crucial output of CPFEM for fatigue studies is the identification of fatigue indicator parameters at the micro-scale. Researchers define FIPs to condense the complex multiaxial cyclic state at a material point into a single scalar metric of damage. Common FIPs include the accumulated plastic shear strain, the energy dissipated per cycle, the maximum plastic shear range, or critical plane measures like Fatemi-Socie's parameter. CPFEM provides the detailed stress-strain history needed to evaluate these quantities in every grain. For example, one can

compute the Fatemi-Socie parameter at each integration point within a simulated polycrystal to identify the grain and slip system experiencing the highest value – indicating a prime candidate location for crack nucleation. McDowell [2] highlights that the Fatemi-Socie shear-based parameter correlates well with crack initiation in both LCF and HCF at the grain scale. In fact, CPFEM studies have shown that micro-scale FIPs like plastic shear amplitude or cumulative slip typically govern small crack nucleation in surface grains. This reinforces the notion that a crack form can be predicted by finding the extreme local cyclic deformation. It also suggests a strategy for fatigue design: modify the microstructure, introducing a certain texture or secondary phase to homogenise slip.

Despite its strengths, CPFEM is computationally intensive, especially for simulating many cycles. Directly simulating each load cycle until crack initiation is infeasible. Hence, researchers often employ cycle-jump techniques or assume that cyclic deformation stabilises after a few cycles, then extrapolate the damage per cycle to predict life. Another challenge is that CPFEM, as a continuum model, does not explicitly capture the discrete nature of dislocations or the actual formation of a micro-crack. Current crystal plasticity models typically assume a crack initiates when a FIP exceeds a threshold but determining that threshold still relies on empirical calibration. Ongoing research aims to make CPFEM more predictive by integrating it with lower-scale models. For example, phase-field methods and discrete dislocation dynamics are being used to simulate defect evolution and crack nucleation at smaller scales. Wang and Li [30] review phase-field models that can naturally handle the nucleation and growth of defects and note that such techniques show promise in modelling deformation and fracture with complex microstructural interactions. In the future, one can envision a multiscale framework where CPFEM provides the macro/micro stress-strain fields, while a sub-grid model triggers an actual crack when the local conditions meet a nucleation criterion. This is an area of active development aimed at treating crack nucleation as a true phase transformation, as suggested by Sangid and McDowell.

CPFEM in Fatigue Modelling: Key Results

Over the past two decades, CPFEM has been increasingly applied to predict fatigue crack initiation, with notable success in reproducing experimental trends and offering new insights. Manonukul and Dunne [23] provided a landmark example by using CPFEM to predict both low-cycle and high-cycle fatigue lives in a nickel-based superalloy. They simulated a polycrystal of nickel-based alloy under various cyclic loads and introduced a simple crack initiation criterion: a crack is deemed to initiate once the accumulated plastic slip on any slip system in any grain exceeds a critical value. Remarkably, with only two material parameters (the critical resolved shear stress for slip and the critical accumulated slip for crack initiation), their model was able to predict the classic Basquin curve for high-cycle fatigue and the Coffin-Manson relationship for low-cycle fatigue, as well as the Goodman trend for mean stress effects. The CPFEM simulation naturally produced persistent slip bands within grains, and cracks were predicted to nucleate preferentially at grain boundary triple points, especially those on the free surface for HCF. This aligns with experimental observations that fatigue cracks often initiate at surface or interface sites where multiple grains meet, leading to a locally intense plasticity due to incompatibility of deformation. The ability to foresee where the crack will start is a key advantage of CPFEM over purely empirical methods. Manonukul and Dunne's work demonstrated that even a relatively small polycrystal model can capture the co-existence of macro-scale elastic behaviour and micro-scale plastic hotspots in HCF – a hallmark of microstructure-sensitive fatigue. Their critical slip criterion is conceptually similar to Tanaka's

dislocation model (both tie crack initiation to a certain amount of irreversible slip), but here the value was calibrated by one experiment and then shown to work over a range of lives from LCF to HCF, indicating a certain degree of transferability.

Another important contribution is the comprehensive overview by McDowell and Dunne [2] on microstructure-sensitive fatigue modelling. They articulate that modern high-performance computing and characterisation tools have ushered in a new era where the explicit modelling of grain-scale fatigue processes is feasible and beginning to mature. McDowell emphasises several points: modelling the micro-crack formation process is an emerging frontier, and we are still in the early stages of understanding and predicting it; a microstructure-sensitive approach is essential for linking material internal structure to fatigue resistance. They have defined microstructure-sensitive modelling as explicitly accounting for the polycrystalline grain structure and crystallographic slip in the constitutive law; and the scatter in fatigue life and the occurrence of outlier behaviours (e.g., an unusually short life due to a weak grain, internal defect, etc.), can only be understood by considering statistical distributions of microstructural features and their associated FIPs. For instance, CPFEM studies by McDowell's group have applied extreme value statistics to the maximum FIP values from many simulated microstructure samples to predict the distribution of cycles to crack initiation. The worst-case grain in each sample dictates the minimum life, and by simulating many realisations, one can estimate the scatter band of life for a given material condition. Such an approach is useful in reliability-critical applications where a conservative life prediction is needed.

McDowell and co-workers have also introduced enhanced FIPs to address specific mechanisms. For example, they proposed a persistent slip band rupture parameter to account for cracks caused by impingement of slip-on grain boundaries. This parameter, also referred to as the plastic zone parameter (PZP), is similar to Fatemi-Socie but uses the net plastic shear strain that actually impinges on a boundary, along with the local normal stress on that boundary. The idea is to quantify damage for cracks that nucleate at grain boundaries. By comparing different FIPs, researchers can infer what the dominant nucleation mechanism is under certain conditions. In general, studies find that measures of cyclic shear deformation (either total accumulated slip or cyclic plastic shear range) tend to be the most reliable indicators for micro-crack nucleation. This is consistent with the physical picture from Sangid's review: fatigue initiation is driven by irreversible slip and the resulting structures. As long as a CPFEM model can capture the accumulation of such irreversible slip, it can serve as a predictive tool for where a crack will initiate.

Sangid [1] provides a complementary perspective by focusing on the physics of initiation and how models align with experimental observations. In his review, he underscores that persistent slip bands in cyclically deformed crystals are the precursors to cracks and that a deep understanding of PSB formation and structure is needed to truly predict crack initiation. He discusses how modern techniques like digital image correlation (DIC) with electron backscatter diffraction (EBSD) mapping allow the direct observation of strain localisation in grains and at boundaries during cyclic loading. These experimental insights have provided validation for CPFEM models – for instance, CP simulations that show strain hotspots at certain grain boundaries can be checked against DIC measurements of surface strain localisation. Sangid also points out that while CPFEM can simulate the stress/strain localisation, the actual nucleation event may require considering atomistic details like bond breaking or the role of precipitates and inclusions. One future direction is to couple CPFEM with fracture models at the micro-scale, such as cohesive zone elements at grain boundaries that activate once a critical slip or stress is reached. This would allow the simulation to not just indicate a likely crack site but actually insert a crack and follow its early growth (transgranularly or intergranularly). Some

recent works have taken steps in this direction by inserting cohesive interfaces along all grain boundaries in a polycrystal FE model to study micro-crack propagation after initiation. Such models, when calibrated, can connect life-to-initiation with subsequent crack growth in a unified way.

In summary, the state-of-the-art understanding is that fatigue crack initiation is a localised, microstructurally driven process governed by cyclic slip irreversibility. CPFEM has proven to be an invaluable tool in capturing this process: it links applied loads to microscopic slip accumulation and identifies the structural weak links where cracks are likely to form. CPFEM-based studies, like those by Dunne, McDowell, and others, have successfully reproduced classical fatigue laws and trends from the microstructure up, lending confidence that these methods have predictive power. They also allow virtual experiments to probe scenarios that are difficult to observe directly, such as the competition between surface and subsurface crack initiation in very-high-cycle fatigue or the effect of crystallographic texture on crack nucleation sites. Still, challenges remain in bridging the remaining gaps, particularly the extreme scales involved. The current trajectory of research is very much toward multi-scale models and probabilistic frameworks that incorporate the inherent variability of microstructures. With continued advances, CPFEM coupled with physics-based nucleation criteria is expected to become a standard part of fatigue life prediction and materials design, enabling engineers to tailor microstructures for improved fatigue performance. For instance, if simulations show that certain grain orientations or sizes are particularly prone to early cracking, manufacturing processes can be adjusted to produce a more favourable grain structure. This integration of microstructural modelling into fatigue engineering represents a significant leap beyond the empirical approaches of the past, toward a more robust, mechanism-informed prediction of fatigue life.

A NEW APPROACH TO MODEL CPFE-BASED FATIGUE DAMAGE ASSESSMENT OF CRITICAL BRIDGE DETAIL

A novel methodology for fatigue damage assessment in critical bridge components, grounded in the crystal plasticity finite element method, is presented herein. This methodology systematically encompasses four key stages: material property characterisation, global-local analysis, equivalent variable range computation, and, ultimately, fatigue lifetime assessment. A detailed description of each stage is provided below.

Stage 1: Characterisation of Material Properties

Sub-stage 1.1 – Material Testing: Comprehensive mechanical characterisation of metallic samples (e.g., construction steels, extant metallic materials) is required. This includes the determination of monotonic and fatigue strengths, alongside the acquisition of monotonic and cyclic elastoplastic curves.

Sub-stage 1.2 – Microstructural Analysis: The chemical composition and microstructural behaviour of the material must be thoroughly investigated. Subsequently, the phase diagram is to be ascertained, and the constituent crystal structures rigorously analysed. A representative metallographic diagram is then employed to derive the grain size distribution.

Sub-stage 1.3 – Crystal Plasticity Model Development and Calibration: A crystal plasticity finite element model of a representative volume element, incorporating the appropriate number of grains randomly generated in accordance with the metallographic diagram and the established grain size distribution, must be developed. The material’s

crystal plasticity parameters are subsequently calibrated against experimental monotonic and fatigue stress-strain curves.

Stage 2: Performing the Global-Local Analysis

Sub-stage 2.1 – Global Structural Modelling: A global structural model is to be developed and analysed to ascertain the dynamic behaviour of the bridge, accounting for fatigue loads as prescribed by relevant design codes (e.g., Eurocode, AREMA). From this model, dynamic boundary conditions pertinent to sub-modelling are extracted.

Sub-stage 2.2 – Local Sub-model Analysis: A local sub-model, specifically for critical locations, is to be analysed utilising the dynamic boundaries derived from the global structural model. This sub-model is based on the crystal plasticity finite element method. Within the critical location, a region is meticulously defined, incorporating material parameters of the crystal plasticity finite element model estimated through knowledge of monotonic and fatigue properties, alongside microstructural and grain size distribution data.

Sub-stage 2.3 – Stress and Strain State Assessment: The stress and strain states in the vicinity of the critical location are to be rigorously assessed. The stress-time histories are then processed to generate the crystal plasticity behaviour for the designated crucial region. Subsequently, stress and strain amplitudes are determined for the subsequent implementation of a local fatigue criterion, such as those predicated on stress, strain, or energy methods, employing either a bilinear or full-range form, the latter with sigmoidal configuration.

Sub-stage 2.4 – Cycle Count Determination: Upon estimation of the local fatigue criterion, which dictates the onset of fatigue failure, the stress-time histories obtained from the global structural evaluation are then employed to compute the corresponding number of cycles. This is achieved via a rain-flow counting method, which estimates the frequency distribution with respect to the variable range of the local fatigue criterion.

Step 3: Calculation of Equivalent Variable Range

Assuming the independent effect of each cycle and considering fatigue failure (fracture) as the cumulative outcome of a fatigue damage variable—defined as the inverse of the slope of the fatigue curve within the medium fatigue life region—the equivalent variable range of the local fatigue criterion for each applied loading condition is systematically determined.

Step 4: Fatigue Lifetime Assessment

Finally, the fatigue life assessment for the critical location of each bridge detail, under each applied loading condition derived from the global-local analysis, is estimated. This assessment is to be performed by integrating the Palmgren-Miner's rule with an appropriate fatigue model (e.g., a fatigue curve), such as the generalised Kohout-Věchet fatigue model proposed by Correia et al. [31], to evaluate the service lives of structures subjected to full-range loading conditions.

CONCLUSIONS

This paper introduces a novel Crystal Plasticity Finite Element Method (CPFEM)-based methodology for assessing fatigue damage in critical railway bridge components, offering a substantial improvement over the traditional empirical model. Our comprehensive approach meticulously integrates material characterisation - including monotonic and cyclic elastoplastic behaviour and microstructural features—with a robust CPFEM model to precisely link macro-scale loading to micro-scale deformation, which is crucial for understanding crack initiation at the grain level. By combining global structural analysis to capture the dynamic behaviour of the bridge with detailed local sub-models for critical regions and then applying rain-flow counting to stress-time histories to obtain cycle distribution, we enable a highly accurate fatigue lifetime assessment. This physics-based methodology, which uses an equivalent variable range for a local fatigue criterion alongside the Palmgren-Miner rule and an appropriate fatigue model, significantly enhances the fidelity of life predictions for aging metallic infrastructure, providing a solid foundation for probabilistic fatigue estimation, targeted retrofitting strategies, and ultimately improving the safety and longevity of vital engineering assets.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was financially supported by Funding - UID/04708 of the CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - funded by Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P./ MCTES through the national funds. António Mourão would like to thank the individual Ph.D. grant (PD/BD/150306/2019) awarded by national funds (PIDDAC) through the Portuguese Science Foundation (FCT/MCTES). This work is a result of Agenda "PRODUCING RAILWAY ROLLING STOCK IN PORTUGAL", nr. C645644454-00000065, investment project nr. 55, financed by the Recovery and Resilience Plan (PRR) and by European Union - NextGeneration EU.

REFERENCES

[1] M. D. Sangid, "The physics of fatigue crack initiation," *Int. J. Fatigue*, vol. 57, pp. 58–72, 2013, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2012.10.009.

[2] D. L. McDowell and F. P. E. Dunne, "Microstructure-sensitive computational modeling of fatigue crack formation," *Int. J. Fatigue*, vol. 32, no. 9, pp. 1521–1542, 2010, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2010.01.003.

[3] National Transportation Safety Board, "Collapse of U.S. 35 Highway Bridge, Point Pleasant, West Viginia," *Highway Accident Report*, no. HAR-71-1. p. 202, 1970.

[4] A. G. Palmgren, "Die Lebensdauer von Kugellagern," *Zeitschrift des Vereines Dtsch. Ingenieure*, vol. 14, pp. 339–341, 1924.

[5] L. F. Coffin, "A Study of the Effects of Cyclic Thermal Stresses on a Ductile Metal," *J. Fluids Eng.*, vol. 76, no. 6, pp. 931–949, 1954, doi: 10.1115/1.4015020.

[6] P. Paris and F. Erdogan, "A critical analysis of crack propagation laws," *J. Fluids Eng. Trans. ASME*, vol. 85, no. 4, pp. 528–533, 1963, doi: 10.1115/1.3656900.

[7] A. Fatemi and D. F. Socie, "a Critical Plane Approach To Multiaxial Fatigue Damage Including Out-of-Phase Loading," *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 11, no. 3, pp. 149–165, 1988, doi: 10.1111/j.1460-2695.1988.tb01169.x.

[8] C. S. Horas, J. N. Silva, J. A. F. O. Correia, and A. M. P. De Jesus, "Fatigue damage assessment on aging riveted metallic railway bridges: A literature review," *Structures*, vol. 58, no. August, pp. 0–2, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.105664.

[9] C. S. Horas, J. A. F. O. Correia, A. M. P. De Jesus, P. Kripakaran, and R. Calçada, "Application of the modal superposition technique combined with analytical elastoplastic approaches to assess the fatigue crack initiation on structural components," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 185, pp. 271–283, 2017, doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.06.001.

[10] D. Khan, D. Leonetti, V. G. Kouznetsova, M. G. D. Geers, and J. Maljaars, "A two-scale approach for assessing the role of defects in fatigue crack nucleation in metallic structures," *Int. J. Fatigue*, vol. 188, no. July, p. 108489, 2024, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2024.108489.

[11] F. Roters, P. Eisenlohr, L. Hantcherli, D. D. Tjahjanto, T. R. Bieler, and D. Raabe, "Overview of constitutive laws, kinematics, homogenization and multiscale methods in crystal plasticity finite-element modeling: Theory, experiments, applications," *Acta Mater.*, vol. 58, no. 4, pp. 1152–1211, 2010, doi: 10.1016/j.actamat.2009.10.058.

[12] C. Luo, J. Wei, M. Parra-Garcia, A. Chattopadhyay, and P. Peralta, "Fatigue damage prediction in metallic materials based on multiscale modeling," *AIAA J.*, vol. 47, no. 11, pp. 2567–2576, 2009, doi: 10.2514/1.39559.

[13] N. Nouri, V. Ziaei-Rad, and S. Ziaei-Rad, "An approach for simulating microstructures of polycrystalline materials," *Comput. Mech.*, vol. 52, no. 1, pp. 181–192, 2013, doi: 10.1007/s00466-012-0805-8.

[14] N. Kovachki *et al.*, "Multiscale modeling of materials: Computing, data science, uncertainty and goal-oriented optimization," *Mech. Mater.*, vol. 165, no. November 2021, p. 104156, 2022, doi: 10.1016/j.mechmat.2021.104156.

[15] G. M. Castelluccio and D. L. McDowell, "Mesoscale modeling of microstructurally small fatigue cracks in metallic polycrystals," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 598, pp. 34–55, 2014, doi: 10.1016/j.msea.2014.01.015.

[16] M. Yaghoobi, K. S. Stopka, A. Lakshmanan, V. Sundararaghavan, J. E. Allison, and D. L. McDowell, "PRISMS-Fatigue computational framework for fatigue analysis in polycrystalline metals and alloys," *npj Comput. Mater.*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.1038/s41524-021-00506-8.

[17] J. Bi *et al.*, "Multiscale Modeling for the Science and Engineering of Materials," *Int. J. Multiscale Comput. Eng.*, vol. 19, no. 3, pp. 1–80, 2021, doi: 10.1615/INTJMULTCOMPENG.2021040247.

[18] S. Suresh, *Fatigue of Materials*, 2nd ed. Cambridge University Press, 1998.

[19] M. Sauzay and L. P. Kubin, "Scaling laws for dislocation microstructures in monotonic and cyclic deformation of fcc metals," *Prog. Mater. Sci.*, vol. 56, no. 6, pp. 725–784, 2011, doi: 10.1016/j.pmatsci.2011.01.006.

[20] D. L. McDowell, "Simulation-based strategies for microstructure-sensitive fatigue modeling," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 468–470, no. SPEC. ISS., pp. 4–14, 2007, doi: 10.1016/j.msea.2006.08.129.

[21] G. M. Castelluccio and D. L. McDowell, "Microstructure-sensitive small fatigue crack growth assessment: Effect of strain ratio, multiaxial strain state, and geometric

discontinuities," *Int. J. Fatigue*, vol. 82, pp. 521–529, 2015, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2015.09.007.

[22] D. Peirce, R. J. Asaro, and A. Needleman, "Material rate dependence and localized deformation in crystalline solids," *Acta Metall.*, vol. 31, no. 12, pp. 1951–1976, 1983, doi: 10.1016/0001-6160(83)90014-7.

[23] A. Manonukul and F. P. E. Dunne, "High- and low-cycle fatigue crack initiation using polycrystal plasticity," *Proc. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 460, no. 2047, pp. 1881–1903, 2004, doi: 10.1098/rspa.2003.1258.

[24] G. M. Castelluccio and D. L. McDowell, "Microstructure and mesh sensitivities of mesoscale surrogate driving force measures for transgranular fatigue cracks in polycrystals," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 639, pp. 626–639, 2015, doi: 10.1016/j.msea.2015.05.048.

[25] J. Polák and A. Chlupová, "Mechanisms of intergranular fatigue crack initiation in polycrystalline materials," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 43, no. 2022, pp. 197–202, 2023, doi: 10.1016/j.prostr.2022.12.258.

[26] K. Tanaka and T. Mura, "A Dislocation Model for Fatigue Crack Initiation.," *Am. Soc. Mech. Eng.*, vol. 48, no. 81-APM-3, pp. 97–103, 1981, doi: 10.1115/1.3157599.

[27] A. Navarro and E. R. de los Rios, "a Microstructurally-Short Fatigue Crack Growth Equation," *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.*, vol. 11, no. 5, pp. 383–396, 1988, doi: 10.1111/j.1460-2695.1988.tb01391.x.

[28] A. Fatemi and P. Kurath, "Multiaxial Fatiguue Life Predictions Under the Influence of Mean-Stress," *Eng. Mater. Technol.*, vol. 110, no. October 1988, 1988, [Online]. Available: http://www.asme.org/about-asme/terms-of-use

[29] R. Quey, P. R. Dawson, and F. Barbe, "Large-scale 3D random polycrystals for the finite element method: Generation, meshing and remeshing," *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.*, vol. 200, no. 17–20, pp. 1729–1745, 2011, doi: 10.1016/j.cma.2011.01.002.

[30] Y. Wang and J. Li, "Phase field modeling of defects and deformation," *Acta Mater.*, vol. 58, no. 4, pp. 1212–1235, 2010, doi: 10.1016/j.actamat.2009.10.041.

[31] J. A. F. O. Correia *et al.*, "A generalization of the fatigue Kohout-Věchet model for several fatigue damage parameters," *Eng. Fract. Mech.*, vol. 185, pp. 284–300, 2017, doi: 10.1016/j.engfracmech.2017.06.009.

ARTIGO Nº23511

MODELAÇÃO DE PÓRTICOS DE BETÃO ARMADO PREENCHIDOS COM ALVENARIA

Sebastião P. Cumbane[1(*)], Pedro Sing-Sang[1(**)]
[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil - Maputo, Moçambique
(*) *Email:* sebastiaopedro04@gmail.com; **(**)** *Email:* psingsang@gmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a viabilidade da inclusão de painéis de alvenaria no travamento de pórticos de betão armado com recurso no Método da Diagonal Equivalente (MDE) e pelo Método dos Elementos Finitos (MEF), realizando um estudo comparativo entre as diversas formulações que permitem determinar a largura da biela diagonal equivalente. O estudo foi conduzido para modelos com variada relação vão/altura, e identifica como esta mesma largura varia em função da rigidez dos pilares e vigas. Posteriormente, apresenta um estudo de caso referente a um edifício real. O estudo é conduzido em termos da análise da redistribuição de esforços internos e em termos de redução dos deslocamentos horizontais.

***Palavras-chave**:* Pórticos, Alvenaria, Rigidez, Diagonal Equivalente, Elementos Finitos.

INTRODUÇÃO

Tendo em vista a exploração de soluções que incluam a alvenaria no modelo estrutural de pórticos de betão armado, foi realizado um estudo para pórticos, com um vão e um piso, estudando como a rigidez dos painéis de alvenaria para as diversas formulações que se baseiam no MDE variam entre si, em função da relação vão/altura do pórtico e comparando qual das formulações melhor se aproximou à modelação através MEF. Por outro lado, este método foi usado para verificar o desenvolvimento da biela diagonal, escora, quando o pórtico se distorce e transmite tensões à alvenaria face ao carregamento a que está sujeito.

Os resultados deste estudo e os dados experimentais disponíveis na literatura, comprovaram a eficiência e praticidade da sua utilização. Pois, ficou demostrada a redistribuição de esforços e ganho de rigidez que foi de até 92% no estudo paramétrico e de 78% no estudo de caso, demostrando que este tipo de análise pode conduzir a soluções de estabilidade estrutural mais eficientes e económicas, resultando em edifícios mais resilientes diante dos cada vez mais frequentes eventos ciclónicos.

REFERÊNCIAS

Al-shaikh, Ibrahim; Falah, Nabil. Numerical Analysis of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames. Journal of Science and Technology, v. 19, n. 2, Junho 2014.

Asteris, Panagiotis G. *et al.* Masonry infilled reinforced concrete frames with openings, Corfu, Greece., 26-28 Maio 2011.

Mainstone, R J. On the stiffnesses and strengths of infilled frames. Proceeding of the Institute of Civil Engineers, Supplement IV. Her Majesty's Stationery Office. 1971. p. 57-90.

Simpósio Nº2: Recursos Geológicos - Caracterização, Avaliação, Exploração e Aplicação

22176 GEOMATEMÁTICA APLICADA AO ESTUDO DE CONTAMINAÇÕES DECORRENTES DE ÁREAS MINEIRAS ABANDONADAS. O CASO DE ESTUDO DA MINA DE VALE DAS GATAS (PORTUGAL). Isabel Fagundes; Joaquim Góis; Bárbara Fonseca; José Feliciano; Cristina Carvalho; Paulo Bravo. 871

22180 TRANSPORTES MINEIROS SUBTERRÂNEOS E A SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA EXPLORAÇÃO. O CASO DE ESTUDO DA MINA DA PANASQUEIRA (PORTUGAL). Joaquim Góis; Susana Almeida. 873

22201 APLICAÇÃO DE RESÍDUOS MINEIROS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO À BASE DE GEOPOLÍMEROS. Fernando Rocha; Andreia Santos; Slavka Andrejkovičová; Fernando Almeida. 891

22207 ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO PARA CONSTRUÇÃO DE ESTRADA. ESTUDO DE CASO BAIRRO DA MANANGA- CIDADE DA BEIRA. Lucas Simão Lucas; Felisberto F. Lima; Pedro Franque Bernardo. 893

22223 CONTRIBUTO PARA A DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE, MOÇAMBIQUE. Augusto Mazezo; Paulo Mesquita; Júlio Carneiro; Salvador Mondlane; Gilberto Bauque; Idalina Muchanga; Boaventura Cuamba; Daud Jamal; Luís Magaia; Helton Massingue; Gilberto Mendonça; Bento Muxhanga; Alberto Tsamba. 909

22225 APLICAÇÃO DE SUB-PRODUTOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA E TRANSFORMADORA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS EM COMPÓSITOS PÉTREOS. Ruben Martins; Antônio Azzalini; Jorge Velez; Luís Lopes; Paula Afonso; Paula Faria; Paulo Mourão; Vera Pires. 911

22478 CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DA COMUNIDADE DE GOANE 1, DISTRITO DE MOAMBA, PARA UTILIZAÇÃO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Tárcia A. Novela; Isabel R. Duarte; António B. Pinho. 925

22491 AVALIAÇÃO DE RISCO DE INSTABILIDADE DE VERTENTES EM CONTEXTO DE ARRIBA FÓSSIL (ALMADA, PORTUGAL). Paulo Sá Caetano; Daniela Nascimento; João Saúde; Francisco Paulino; Margarida Faleiro; António Dinis; Carlos Costa; Daniel Vendas. 937

23478 UTILIZATION OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES TO DEFINE POTENTIAL TAILINGS AREAS IN ABANDONED MINING AREAS. Bárbara Fonseca; Joaquim Góis; António Guerner Dias; Henrique Garcia Pereira. 939

ARTIGO Nº22176

GEOMATEMÁTICA APLICADA AO ESTUDO DE CONTAMINAÇÕES DECORRENTES DE ÁREAS MINEIRAS ABANDONADAS. O CASO DE ESTUDO DA MINA DE VALE DAS GATAS (PORTUGAL)

Isabel Fagundes[1], Joaquim Góis[1(*)], Bárbara Fonseca[1], José Feliciano[2], Cristina Carvalho[2], Paulo Bravo[2]

[1]Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Eng.ª Civil e Georecursos - Porto, Portugal
[2]LNEG — Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P., Portugal
(*) *Email:* jgois@fe.up.pt

RESUMO

O objetivo deste trabalho é a aplicação de uma série de modelos geomatemáticos que analisem, não só o sistema de relações entre os diferentes Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), mas também as suas dispersões espaciais nas áreas circunvizinhas a antigas explorações mineiras abandonadas. O recurso a técnicas da estatística multivariada no âmbito dos Métodos Fatoriais (Análise em Componentes Principais e Análise de Correspondências), aliada a modelos geoestatísticos caracterizadores do comportamento espacial dos EPT, permitem não só efetuar um diagnóstico ambiental do local, mas também equacionar uma eventual viabilidade económica para o reaproveitamento (remineração e revalorização) das escombreiras de antigas explorações mineiras abandonadas.

***Palavras-chave**:* geomatemática, EPT, escombreiras mineiras, revalorização.

INTRODUÇÃO

O Portugal oitocentista era, sobretudo, um país com uma vivência rural distante dos ventos da revolução industrial que nessa altura percorriam toda a Europa. Será necessário esperar pelo início do séc. XX para se assistir a um tímido processo de industrialização do país. O advento das duas guerras Mundiais alimentou uma rápida, anárquica e voraz proliferação de pequenas explorações mineiras que, após o término das guerras, foram abandonadas deixando o país com graves passivos ambientais. Paralelamente, a contribuição de uma legislação antiga em nada sensível aos problemas ambientais, agravou, durante anos, os problemas ambientais então existentes. A revolução de abril, a entrada na UE e, sobretudo, o aumento de uma consciência ambiental trouxe a Portugal a mudança de mentalidades que se impunha para a resolução dos problemas do passado. Com a criação da Empresa de Desenvolvimento Mineiro, pertença do estado Português, cujo principal enfoque passou a ser a recuperação ambiental de áreas mineiras degradadas, assistiu-se a uma minimização dos impactos ambientais existentes. Mas, se muito já foi feito, outro tanto ainda está por fazer. É, pois, considerando o que foi referido, que propomos estudar eventuais contaminações e possíveis revalorizações de escombreiras mineiras abandonadas, analisando em particular o caso de estudo da Mina de Vale das Gatas.

REFERÊNCIAS

Pereira, H. Garcia (1990). Análise de Dados Geológico-Mineiros. Provas de Agregação na área de Geomatemática do Curso de Eng.ª de Minas, IST, Lisboa, 263 pp.

Soares, A. (2006). Geoestatística para as Ciências da Terra e do Ambiente, 2.ed., IST Press, Lisboa. 214 pp.

ARTIGO Nº22180

TRANSPORTES MINEIROS SUBTERRÂNEOS E A SUA RELAÇÃO COM A PRODUTIVIDADE DA EXPLORAÇÃO. O CASO DE ESTUDO DA MINA DA PANASQUEIRA (PORTUGAL).

Joaquim Góis [1(*)], Susana Almeida [2]

[1] Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil e Georrecursos - Porto, Portugal
[2] Beralt Tin & Wolfram (Portugal) S.A,
(*) *Email:* jgois@fe.up.pt

RESUMO

Neste trabalho procura-se caracterizar um sistema de transporte mineiro subterrâneo através do estudo de caso da mina da Panasqueira, com especial foco na análise das variáveis que influenciam a produtividade dos conhecidos equipamentos *Load, Haul and Dump* (LHD's). O principal propósito é proceder à análise do transporte das LHD's, perspectivando não só os fatores que interferem no seu desempenho, mas também e a partir das considerações anteriores, a construção de um modelo matemático previsional da própria produtividade das LHD's. Com base na realização de uma campanha de registos *in loco* e numa metodologia baseada em tratamentos estatísticos multivariados (Análise das Correspondências) foi possível estabelecer o sistema de correlações entre alguns dos principais fatores de produção das LHD's, tais como os tempos de ciclo e de carga, a distância, o índice de desempenho, a capacidade do balde e a velocidade das LHD's. Paralelamente construíram-se as relações funcionais entre a distância, o tempo de viagem e destas com a produtividade.

***Palavras-chave**:* Transporte mineiro subterrâneo, LHD, Tempos de ciclo, Produtividade.

INTRODUÇÃO

A atividade mineira recorre aos princípios de uma produção em série nas suas diferentes operações, considerando uma fase de planeamento global das tarefas e não apenas o planeamento de cada operação singular. Alguns dos trabalhos de exploração mineira subterrânea, tais como a perfuração, a detonação, o saneamento, a remoção e o transporte de material, consistem num conjunto de operações cíclicas em série, cada uma composta por um conjunto de eventos discretos (Åstrand et al., 2018) e (Moradi Afrapoli & Askari-Nasab, 2019), ver figura 1.

As operações de transporte em subterrâneo são de grande relevância no ciclo de operações de lavra mineira, não só pelos elevados custos operacionais dos equipamentos, mas também pelos condicionalismos impostos ao seu normal funcionamento devido às condições de trabalho a que estão sujeitos. Dos inúmeros fatores que afetam a produtividade mineira, destacam-se os associados ao transporte, principalmente quando a distância de transporte se caracteriza por distâncias individuais em função do *layout* do desmonte mineiro. A cada transporte corresponde não só um fator distância devido à sua variabilidade, mas também outros fatores ou indicadores tais como a produtividade, a disponibilidade, os custos, etc.



Fig. 1 - Esquema de operações mineiras. Adaptado de Liu et al., (2024).

No processo produtivo de uma exploração mineira subterrânea, o subprocesso transporte, em particular, apresenta inúmeros condicionalismos aos quais se torna necessário dar resposta e de onde emergem três problemas para a engenharia, a saber: i) o caminho/percurso mais curto; ii) a otimização da produção; iii) a monitorização em tempo real (Moradi Afrapoli & Askari-Nasab, 2019). Tendo consciência que o transporte na operação mineira pode representar entre 10% a 50% dos custos operacionais, enquanto 6% a 20% dos custos de mina dependem do transporte de minério (Souza et al., 2019), torna-se imperativo a otimização de todo o ciclo produtivo e, em particular, do ciclo de transporte como ferramenta de apoio à gestão e linha condutora de todas as operações.

MATERIAL E MÉTODOS

Transporte em minas subterrâneas. Pás carregadoras de baixo perfil (LHDs)

As pás carregadoras de baixo perfil (LHDs - acrónimo de *Load-Haul-Dump*) são equipamentos bastante utilizados no carregamento e transporte de material em minas subterrâneas (ver Figura 2). No entanto, revelam curvas de produtividade caracterizadas por quedas abruptas com o aumento da distância.



Fig. 2 – LHD CAT R2900G (Fonte: https://www.caterpillar.com).

As formas mais habituais para determinar a produtividade dos equipamentos, Miranda (1986), Berkhimer, (2011), Filas (2020) invocam, invariavelmente, entre outras variáveis, o tempo de ciclo. Adiante verificar-se-á que, no cálculo da produtividade, a opção foi pela formulação

proposta por Miranda (Miranda, 1986), na qual a produtividade em (ton/h), obedece à expressão:

$$P = \frac{60}{t_c} CF \quad (1)$$

Em que:

t_c- Tempo de ciclo em minutos

C – Capacidade do balde, em ton

F – Fator de enchimento do balde

Faz-se notar que existem inúmeros outros fatores que afetam a produtividade das LHDs, (dos quais relembram-se os associados ao equipamento, às condições de operação, à estrutura de carga, a fatores humanos, etc, ...), ver figura 3.

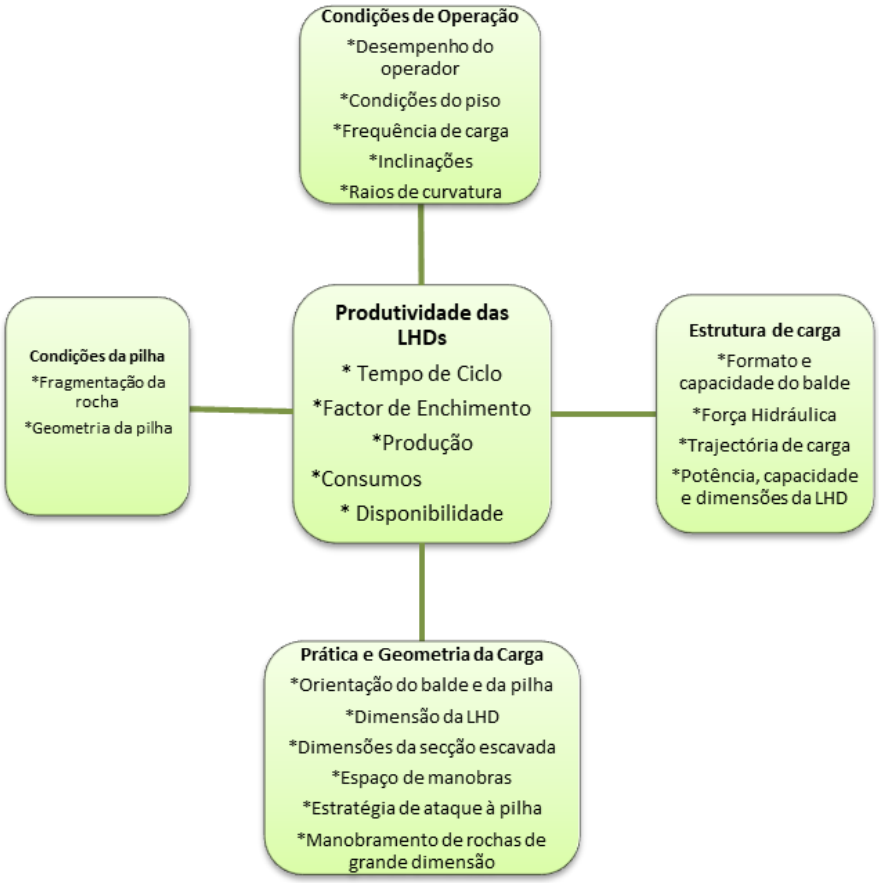


Fig. 3 - Fatores de produtividade das LHDs

Neste trabalho procura-se contextualizar o sistema de transporte subterrâneo da mina da Panasqueira, considerando que a mina possui uma frota de equipamentos LHDs que efetuam o carregamento de material nas frentes de desmonte até às torvas de descarga. As galerias de desmonte são utilizadas como rotas de transporte nas quais a distância a percorrer varia. Sendo a distância uma das variáveis mais determinante do tempo de ciclo e, consequentemente, para a produtividade dos equipamentos LHDs foi fundamental monitorizar as operações de carga e transporte nas suas diferentes componentes. O tempo de ciclo (diferente do tempo de ciclo efetivo que compreende ainda os tempos de manobras, esperas e paragens) é entendido, neste

trabalho, somente como a duração conjunta das ações de carregamento, transporte cheio, descarga e transporte de regresso vazio.

O tempo de ciclo t_c pode ser obtido através da soma dos diversos tempos (Berkhimer, 2011).

$$t_c = t_{car} + t_{vc} + t_d + t_{vv} \quad (2)$$

Em que:

t_{car} – Tempo de carregamento

t_{vc} – Tempo de viagem cheio

t_d – Tempo de descarga

t_{vv} – Tempo de viagem vazio

Foram consideradas várias variáveis (adiante explicitadas) e os seus valores foram obtidos em sucessivas campanhas de amostragem nas frentes de desmonte.

Os registos recolhidos foram analisados com recurso a estatísticos básicos (estatística linear e estatística circular) e à correlação entre os tempos de ciclo e os tempos de carga. Foi aplicada a Análise Fatorial de Correspondências Binárias às variáveis, o que permitiu identificar a estrutura inter-relacional e multidimensional entre as diferentes classes de variáveis. Foram ainda aplicados Modelos de Regressão para aferir a correlação entre as variáveis, culminando no modelo inferencial não linear da produtividade face à distância.

O CASO DE ESTUDO DA MINA DA PANASQUEIRA

A mina da Panasqueira (Fundão e Covilhã, Castelo Branco) encontra-se em exploração há cerca de 130 anos e é atualmente gerida pela empresa Beralt Tin & Wolfram Portugal S.A. que detém os direitos de concessão. Trata-se de um caso raro a nível mundial que se deve, em grande parte à riqueza do seu jazigo. Não obstante, outras razões foram sublinhadas para a longevidade da mina da Panasqueira, nomeadamente as indicadas por Pacheco (2017), tais como a capacidade de adaptação ao progresso, a introdução de novos equipamentos e metodologias capazes de fazer frente aos desafios que a mina enfrentou, em particular a falta de mão-de-obra, o aumento do custo das matérias-primas, a concorrência e crise dos mercados. A região onde a mina está inserida contempla os terrenos pertencentes à Zona Centro-Ibérica, onde predominam formações metamorfizadas e metassedimentares de xistos argilosos do Complexo Xisto-Grauváquico das Beiras (Thadeu, 1979). Subjacente ao xisto encaixante, encontra-se uma rocha granítica cuja ação metassomática se supõe ser a origem da mineralização (Ribeiro, A. & Pereira, E., 1982). Os trabalhos de exploração intersectaram um granito fortemente greisenizado mineralizado principalmente por sulfuretos e que, por sua vez, é intersectado por filões de quartzo com volframite. O sistema de fraturas sub-horizontais abertas, ocorre por cima de toda a área à volta da mina e também regionalmente, mas só nas proximidades do granito da Panasqueira é que se desenvolvem filões com mineralização de volframite.

O campo filoniano é constituído por filões de quartzo mineralizados em volframite, cassiterite e sulfuretos. Os filões apresentam espessuras variáveis desde alguns centímetros até possanças que podem ultrapassar um metro. Os filões contêm, na sua composição mineralógica, volframite, arsenopirite, pirite, calcopirite, cassiterite, apatite, marcassite, fluorite, siderite, topázio, fluorite, blenda, calcite e panasqueirite. Ao nível económico extraem-se volframite (WO_3), cassiterite (SnO_2) e calcopirite ($CuFeS_2$).

Considerando as particularidades do jazigo da Mina da Panasqueira, o método de desmonte utilizado na Mina da Panasqueira é, desde 1983, o designado método de Câmaras e Pilares (tornando possível o desmonte através de galerias de malha ortogonal). O método consiste na remoção do material nas câmaras, ficando os pilares íntegros para suporte. Este método adapta-se a corpos planos e lateralmente grandes, daí que o jazigo possa ser dividido em secções delimitadas pelos painéis e pelas *drives*. As secções ou blocos têm dimensão de 100m x 100m, no interior dos quais se vão abrindo câmaras ou galerias com uma altura de cerca de 1,8m e cujos pilares são alinhados verticalmente uns em cima dos outros. Ou seja, a malha que subdivide os blocos é constante e multiplica-se por toda a área a explorar (Figura 4).

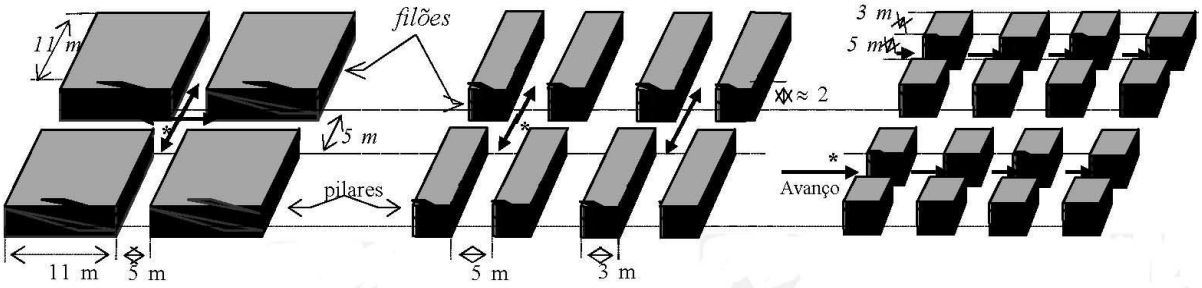


Fig. 4 - Método de desmonte, as três fases da definição de pilares

Na primeira fase são abertos inclinados para intersectar filões numa malha de 100m por 100m, ou 100m por 50m, com uma secção de 4,5m de largura por 2,2m de altura, seguindo o filão e a informação de sondagens na envolvente da escavação, com o objetivo de determinar o potencial desse filão em termos de teor. Na segunda fase inicia-se o desmonte propriamente dito com abertura de pilares de 11 x 11 metros. A escavação mantém a secção, alinhando os pilares acima e sobrepostos sobre qualquer pilar definido num desmonte abaixo, repetindo o processo até se esgotar o filão ou o teor do mesmo. Na fase seguinte, os pilares 11x11m são abertos longitudinalmente em pilares com 3m por 11m e por fim, estes são novamente cortados, restando quatro pilares de 3m por 3m. Na última fase do desmonte, efetua-se a limpeza em retirada com pequenas giratórias, do material mais fino deixado no piso do desmonte nas fases anteriores.

O processo de desmonte atrás descrito deve-se a operações de desmonte ou operações unitárias que descrevem os passos básicos utilizados para extrair o minério do jazigo. As operações unitárias compreendem as fases de perfuração, carregamento, detonação, ventilação, remoção e transporte de material. Após a detonação e a ventilação da mina, procede-se à limpeza das frentes que consiste na lavagem das frentes desmontadas para diminuir as poeiras e os gases do rebentamento e para expor as superfícies do teto e dos hasteais onde se efetua o saneamento. Estão então reunidas as condições para a remoção do minério das frentes de desmonte com recurso a equipamentos LHDs.

Uma exaustiva campanha de amostragem tornou possível obter um elevado número de registos, que perfizeram 3072 ciclos distribuídos por 135 frentes amostradas, correspondentes a um mesmo número de distâncias. Em cerca de metade dos ciclos medidos, foi possível medir o tempo de carga, ou seja, em 1553 ciclos, num total de 7494 minutos. Foi com base nesta informação que se efetuaram as análises estatísticas subsequentes.

INFORMAÇÃO RECOLHIDA E OBJETO DE TRATAMENTO

Após a avaliação da informação disponível e da validação dos dados registados, consideram-se as seguintes variáveis:

- Tempo ciclo;
- Tempo de carga;
- Distância;
- Indicador de eficiência;
- Capacidade do balde;
- Velocidade dos equipamentos.

Os tempos de ciclo corresponde à soma dos tempos das várias manobras a realizar pela LHD até completar um ciclo. No âmbito deste trabalho trata-se da variável em estudo mais importante pois depende de outros fatores tais como a distância, as condições físicas do percurso, a habilidade do operador, as condições da pilha de material e a potência e velocidade do equipamento. Ou seja, o tempo de ciclo caracteriza em si mesmo de forma implícita um conjunto de outras variáveis. Também o tempo de carga foi registado e incorpora, igualmente, outras variáveis.

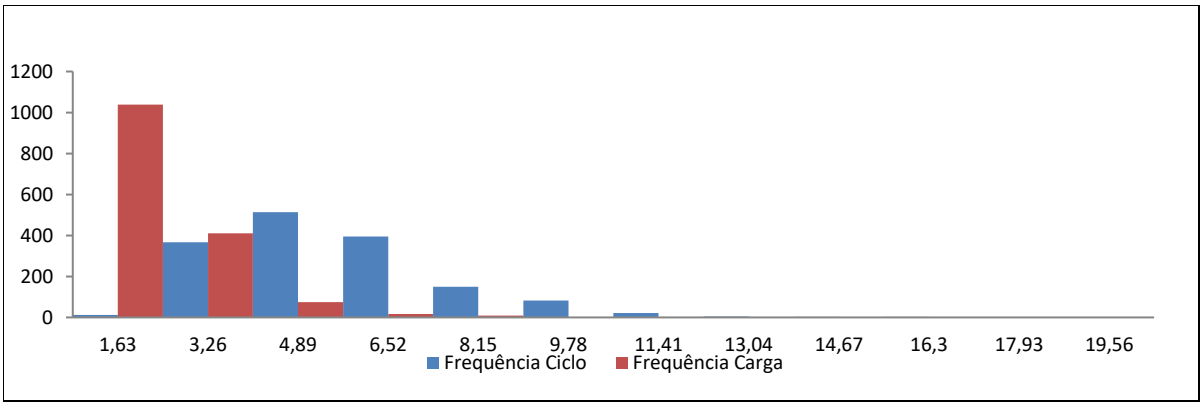


Fig. 5 - Histogramas do tempo de ciclo e do tempo de carga

As distâncias percorridas pelos equipamentos estão condicionadas pelas frentes de desmonte e pela localização das torvas para descarga que por sua vez obedece à configuração geométrica da mina. Embora exista uma rede de torvas com uma malha bastante próxima, na realidade, parâmetros geomecânicos, de exploração e da localização dos próprios filões impõem trajetos com distanciamento variáveis. O gráfico da Figura 6 apresenta o histograma que caracteriza a distribuição por classes das distâncias percorridas pelas LHDs.

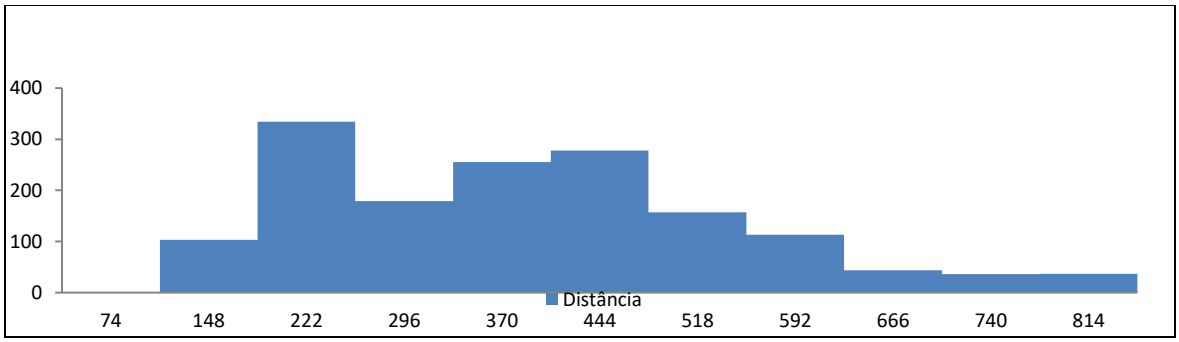


Fig. 6 - Histograma com distribuição das distâncias

Um dos parâmetros essenciais no cálculo da produtividade é a capacidade do balde dos equipamentos. A mina dispôs, no período em estudo, de 13 equipamentos LHD em cinco modelos diferentes. Atendendo aos valores da força hidráulica de transporte de cada equipamento (Tabela 1) e às informações recolhidas, foram definidos os critérios para identificação da capacidade do balde do equipamento na mina.

Tabela 1. Indicadores de Eficiência e Fatores de Enchimento dos baldes

Descrição do Balde	Indicador de Eficiência	Factor de Enchimento	Capacidade Balde do Equipamento (Ton)			
			ST600/ST3,5	ST7	SandvikLH208L	GHH LF 4,4
Coroado	5	1	5	5,5	6	3,35
Raso	4	0,85	4,3	4,7	5,1	2,8
Semi-raso	3	0,75	3,8	4,1	4,5	2,5

A velocidade de transporte obteve-se a partir das variáveis mensuráveis da distância e do tempo de transporte. Com os dados obtidos no local, a velocidade média por ciclo obtém-se a partir da expressão (3).

$$v\left(\frac{km}{h}\right) = \frac{dist(m)}{\frac{t_{ciclo} - t_{carga}}{60} - 0{,}25} * 3{,}6 \qquad (3)$$

Os resultados obtidos apresentam-se na Figura 7.

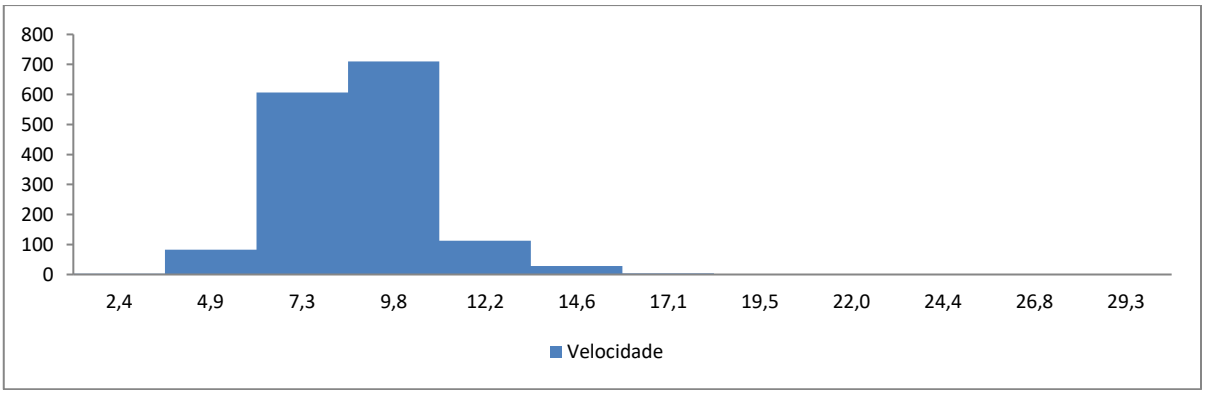


Fig. 7 - Histograma da distribuição da velocidade dos equipamentos LHD

TRATAMENTO ESTATÍSTICO DA INFORMAÇÃO

Em função da natureza das diferentes variáveis consideradas neste estudo (variáveis qualitativas e quantitativas – circulares e lineares) foram estabelecidas diferentes abordagens e vários métodos estatísticos no tratamento da informação.

Para além da tradicional determinação dos estatísticos básicos relativo às variáveis lineares quantitativas (distância, capacidade do balde e velocidade), uma primeira abordagem diferenciadora, envolvendo os tempos de carga e tempos de ciclo, implicou o uso da estatística circular, nomeadamente no cálculo dos estatísticos básicos e dos coeficientes de correlação circular-circular entes as duas variáveis circulares em estudo. Desta forma, considerando os registos de cada uma das duas variáveis (Tempo de Ciclo - Θ e Tempo de Carga - Φ), explicitados pelo tempo em relação a um qualquer tempo inicial $\theta_1, \theta_2, \ldots, \theta_n$ ou $\phi_1, \phi_2, \ldots, \phi_n$, é possível definir um tempo médio, para cada um dos dois conjuntos de dados, através de:

- Vetor média (μ) através da expressão:

$$\hat{\mu} = \begin{cases} arctan(\overline{S}/\overline{C}), se \overline{S} \geq 0 e \overline{C} > 0 \\ arctan(\overline{S}/\overline{C}) + \pi, se \overline{C} < 0 \\ arctan(\overline{S}/\overline{C}) + 2\pi, se \overline{S} < 0 e \overline{C} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

com

$$\overline{C} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \cos(\theta_i) e \overline{S} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \text{sen}(\theta_i) \quad (5)$$

e considerando ainda o comprimento do vetor resultante $\hat{\rho} = \overline{R}$, como

$$\overline{R} = \sqrt{\overline{C}^2 + \overline{S}^2} \; com \; \overline{R} \leq 1 \quad (6)$$

O coeficiente de concentração k (medida inversa da dispersão da distribuição dos dados) e que, por ser mais consistente e de mais fácil interpretação, é habitualmente determinado nos tratamentos estatísticos básicos das variáveis circulares, foi calculado através da expressão:

$$\hat{k} = \begin{cases} 2\overline{R} + \overline{R}^3 + 5\overline{R}^5/6 & se \; \overline{R} < 0.53 \\ -0.4 + 1.39\overline{R} + 0.43(1 - \overline{R}) & se \; 0.53 \leq \overline{R} < 0.85 \\ 1/(\overline{R}^3 - 4\overline{R}^2 + 3\overline{R}) & se \quad \overline{R} \geq 0.85 \end{cases} \quad (7)$$

Os momentos de ordem superior determinados foram a assimetria circular s_K e a curtose circular K_c os quais vem expressos de acordo com,

assimetria circular

$$s_K = \frac{\rho_2 \, sin(\mu_2 - 2\mu)}{(1-\rho)^{3/2}} \quad (8)$$

e curtose circular

$$K_c = \frac{\rho_2 \, cos(\mu_2 - 2\mu) - \rho^4}{(1-\rho)^2} \quad (9)$$

Um importante indicador na estatística circular é a medida do grau de associação entre variáveis (com uma leitura e interpretação em tudo semelhante ao coeficiente de correlação linear de Pearson na estatística linear). O grau de associação entre uma variável linear *X* e uma variável circular *Θ*, baseada numa série de observações $(x_1, \theta_1), \ldots, (x_n, \theta_n)$, poderá ser obtida através do coeficiente de correlação linear-circular $r_{x\theta}$, cujo conceito, é expresso pela fórmula,

$$r_{x\theta}^2 = \frac{r_{xc}^2 + r_{xs}^2 - 2 r_{xc} r_{xs} r_{cs}}{1 - r_{cs}^2} \quad (10)$$

na qual

$r_{xc} = cor[x_i, cos(\theta_i)];$

$r_{xs} = cor[x_i, sen(\theta_i)];$

$r_{cs} = cor[\cos(\theta_i), \text{sen}(\theta_i)];$

com r_{xc} , r_{xs} e r_{cs} determinados através do usual coeficiente de correlação linear de Pearson.

Neste trabalho em concreto e porque a natureza das duas variáveis em estudo assim o obrigava, foi também possível estabelecer um coeficiente de correlação circular-circular entre uma série de pares de observações (θ_1 , ϕ_1),…, (θ_n , ϕ_n), resultantes de duas variáveis circulares Θ (tempo de Ciclo) e Φ (tempo de Carga), tal que

$$circor = \frac{\sum_{1\le i\le j\le n} sen(\theta_i - \theta_j) sen(\varphi_i - \varphi_j)}{\sqrt{\sum_{1\le i\le j\le n} sen^2(\theta_i - \theta_j) \sum_{1\le i\le j\le n} sen^2(\varphi_i - \varphi_j)}} \quad (11)$$

O cálculo dos estatísticos básicos circulares implicou a análise da totalidade dos 79 registos, com a consideração dos 1553 tempos de ciclo e tempos de carga registados.

Uma outra abordagem metodológica proposta para o tratamento estatístico da informação disponível passou pela opção do uso da Análise Fatorial das Correspondências (AFC), em particular por uma das suas variantes, a Análise Fatorial das Correspondências Binárias (AFCB) a qual, não seguindo a linha tradicional da estatística clássica paramétrica baseada em funções teóricas de densidades de probabilidade, estabelece a não obrigatoriedade de hipóteses distribucionais à priori, procurando identificar a estrutura inter-relacional entre todas as variáveis (de natureza qualitativa e/ou quantitativa) presentes na matriz inicial de dados.

Uma das vantagens da aplicação da AFCB em relação a outros métodos estatísticos multivariados consiste na possibilidade que esta técnica estatística proporciona no tratamento estatístico conjunto e simultâneo de variáveis expressas em escalas quantitativas contínuas (no caso deste trabalho, por exemplo, as distâncias percorridas pelos equipamentos), variáveis expressas em escalas ordinais discretas (por exemplo os fatores de enchimento dos equipamentos) ou mesmo variáveis expressas em escalas intervalares (velocidade dos equipamentos).

O principal objetivo desta aplicação assentará na tentativa de identificar a estrutura de relações entre as diferentes "subvariáveis" em análise. Por subvariáveis entende-se as classes em que foram subdivididas as variáveis iniciais (em AFCB estas subvariáveis são comumente designadas por modalidades). A estrutura de relações é construída e posteriormente identificada através de uma redução da dimensionalidade da matriz inicial de dados, conseguida através da criação de novas variáveis (eixos fatoriais) para as quais as modalidades contribuem em combinação linear. Assim a projeção das modalidades nos eixos fatoriais entretanto construídos permite assinalar a(s) modalidade(s) que estão, ou não, associadas positiva ou negativamente (correlações no sentido matemático do termo) entre si.

Como já assinalado anteriormente, a existência, neste trabalho, de variáveis de natureza distinta obriga à recodificação da matriz inicial da informação, através de uma métrica que possibilite exprimir todas as variáveis e respetivas modalidades da mesma forma. A construção que a seguir se exemplifica, atribui a todas as modalidades o mesmo estatuto permitindo o tratamento simultâneo de toda a informação independentemente da sua natureza original. A estratégia seguida passa pela codificação dicotómica das linhas da matriz (indivíduos em AFCB) em "0" (ausência da modalidade nesse individuo) e "1" (presença da modalidade no individuo considerado). Considera-se assim a matriz inicial de dados, codificada em disjuntiva completa segundo o critério:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 - se\ o\ indivíduo\ i\ ocorre\ na\ modalidade\ j \\ 0 - no\ caso\ contrário \end{cases} \quad ,\forall\, x_{ij} \in K \quad (12)$$

Tabela 2. Exemplo do quadro de descrição lógica (presença – ausência), matriz de input de dados codificada em disjuntiva completa e utilizada na AFCB

modalidades (p=18)

Q – Variáveis	Tempo de Ciclo **(TC)**			Tempo de Carga (**TG)**			….	Capacidade do balde do equipamento (**Ca)**			Velocidade do equipamento (**V)**		
p - Modalidades (Código) → i - Indivíduos (Equipamento de carga) ↓	**TC1**	**TC2**	**TC3**	**TG1**	**TG2**	**TG3**	**….**	**Ca1**	**Ca2**	**Ca3**	**V1**	**V2**	**V3**
i_1	1	0	0	1	0.	0	….	0	0	1	0	1	0
i_2	0	1	0	1	0	0	…	1	0	0	0	0	1
…	…	…	…	…	…	…	….	…	…	…	…	…	…
i_k	1	0	0	1	0	0		1	0	0	0	1	0
i_{k+1}	1	0	0	1	0	0		1	0	0	1	0	0
…	…	…	…	…	…	…	….	…	…	…	…	…	…
i_{1552}	0	1	0	0	0	1	…	0	1	0	1	0	0
i_{1553}	0	0	1	0	1	0	….	0	1	0	0	0	1

indivíduos (n = 1553)

Em AFCB, os fatores hierarquizados por ordem decrescente da sua importância para a explicação da tabela de partida, constituem um sistema de eixos ortonormais (espaço de dimensão compatível com a interpretação) onde é possível visualizar, sob a forma gráfica, as projeções da matriz de dados. A interpretação das projeções baseia-se num conjunto de regras que pretendem evidenciar as relações mais importantes existentes nos dados de partida "a interpretação dos gráficos faz apelo a conceitos topo-morfológicos, ligados à posição relativa das projeções da nuvem inicial no espaço dos fatores retidos e à própria forma sugerida pelo conjunto dessas projeções" (Pereira, 1990, p. 53).

Os resultados da AFCB permitem-nos visualizar, através de gráficos bidimensionais construídos a partir dos eixos fatoriais, não só o sistema de relações no interior de cada um dos conjuntos formados pelas modalidades (colunas da matriz) ou pelos indivíduos (linhas da matriz), mas também os sistemas de relações conjuntos existentes entre modalidades e indivíduos.

RESULTADOS OBTIDOS

A análise a cada par de variáveis tempo de ciclo versus tempo de carga implicou a representação gráfica da evolução, ao longo dos ciclos para uma frente de trabalho num determinado desmonte das variáveis em estudo, a título de exemplo ilustra-se o desmonte L1D29R13AW14 (Figura 8). Paralelamente identificam-se, igualmente para o mesmo desmonte, os estatísticos básicos obtidos pela estatística circular (tabela 3).

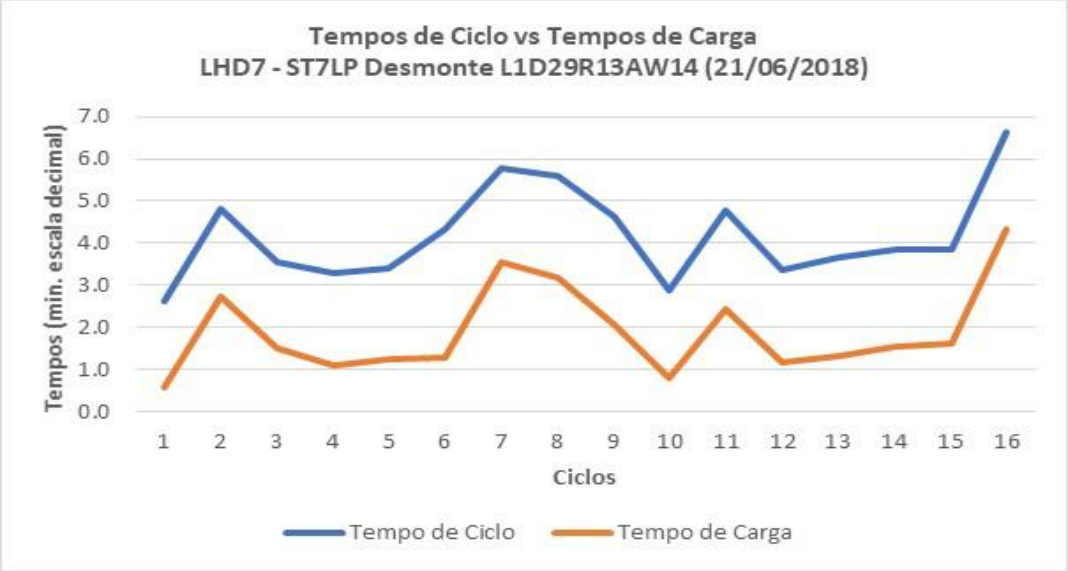


Fig. 8 - Representação gráfica dos tempos de ciclo e de carga da LHD7 ao longo de um registo

Tabela 3. Cálculo dos estatísticos circulares básicos

Estatísticos básicos das duas variáveis circulares		
Variável	Tempo de Ciclo	Tempo de Carga
Média circular (μ)	04:10	01:53
Comprimento do vector média (R)	0,961	0,965
Coeficiente de concentração (K)	12,97	14,36
Coeficiente de assimetria circular (s_K)	00:45	01:00
Coeficiente de Curtose circular (K_c)	00:00	00:15
Coeficiente de correlação circular-circular (r_{cc})	0,975	

Com base nos resultados obtidos, considerando ainda o acompanhamento *in loco* e a análise critica que foi efetuada durante a campanha de medições, foi possível extrair as seguintes conclusões parcelares:

- As médias dos tempos de ciclos e tempos de carga são indicadores estatísticos, muitas vezes, afetados por fatores exógenos à própria natureza da operação em causa (como já anteriormente referido a propósito dos fatores influenciadores da produção), tais como, entre outros: i) Mudança de operador e mais raramente do equipamento operado durante o decurso dos ciclos; ii) Pequenas avarias e substituição de equipamentos; iii) Paragens com diversas origens quer sejam as condições de acesso à frente de desmonte (visibilidade e existência de fumo, etc), saneamento e limpeza da frente de desmonte e/ou da via de acesso, a breve alimentação e/ou hidratação do operador, cedências de passagens, etc…;

- As médias dos tempos de ciclo relativamente às médias dos tempos de carga são, pelas razões anteriormente indicadas, substancialmente mais afetados pelos fatores exógenos indicados;

- Como resultado das considerações anteriores as medidas de dispersão, apresentam valores mais elevados nos tempos de ciclo do que nos tempos de carga, embora os tempos de carga apresentem valores mais baixos. Faz-se notar que contrariamente aos valores das medidas de dispersão e como era expectável, a medida de concentração apresenta maiores valores nos tempos de carga relativamente aos tempos de ciclo;

- Existe uma tendência, no decurso dos ciclos, para um ligeiro aumento dos tempos de ciclo e de carga nos ciclos finais. Este facto é justificável pelas mais difíceis condições de carga nos ciclos finais;

- É sobejamente conhecido e indicado na literatura estatística que as tentativas em estabelecer relações de causa-efeito entre variáveis baseado unicamente nos valores dos coeficientes de correlação é cientificamente proibida e não raras vezes falaciosa. Contudo todos os coeficientes de correlação simples e múltiplos, lineares e não lineares, são bons indicadores do grau de associação entre variáveis e do comportamento conjunto dessas mesmas variáveis. Os coeficientes de correlação circular-circular determinados indicam que, em aproximadamente 80% dos registos analisados (63 registos), a associação entre os tempos de ciclo e tempos de carga é muito forte (r_{cc} superior a 0.80). Nos restantes registos apenas 3 (cerca de 4%) indicam uma total ausência de correlação entre os tempos de ciclo e os tempos de carga (r_{cc} inferior a 0.50).

Da enorme profusão de outputs obtidos a partir da aplicação da AFCB à matriz inicial de dados (16 colunas – variáveis consideradas por 1553 linhas – ciclo medidos), foi selecionado o gráfico da Figura 9 que, a título exemplificativo, ilustra um dos muitos resultados que decorrem da AFCB. Faz-se notar que foram efetuados vários ensaios, compreendendo diferentes critérios de organização dos valores em classes, cujos limites foram estabelecidos em função da natureza meramente estatística ou resultantes da intervenção dos especialistas, a saber:

• No ensaio 1, as classes (leia-se modalidades) são de igual amplitude (critério estatístico);

• No ensaio 2, classes de frequências absolutas de igual valor (critério de equiprobabilidade);

• No ensaio 3, limites das classes estabelecidos em função da experiência dos técnicos da mina.

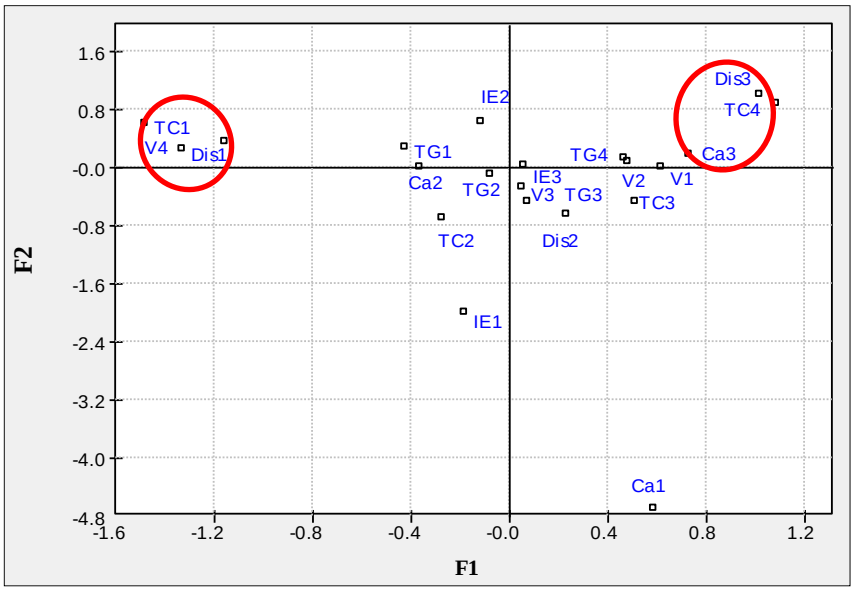


Fig. 9 - Ensaio 3. Projeção das modalidades no primeiro plano fatorial (F1, F2). Interpretação das modalidades ao longo do primeiro eixo fatorial, F1.

Eixo fatorial F1 (semieixo positivo) – Projetam-se, em associação positiva, o grupo de modalidades TC4, Dis3 e Ca3. O que claramente indicia que os mais elevados tempos de ciclo estão fortemente correlacionados com às maiores distâncias percorridas entre os desmontes e as zonas de descarga e os equipamentos cujas capacidades do baldes são também as mais elevadas. A natureza dos fenómenos em estudo e a característica das próprias modalidades torna perfeitamente plausível a associação encontrada.

Eixo fatorial F1 (semieixo negativo) – Projetam-se, em associação positiva, as modalidades TC1, Dis1 e V4. Os baixos tempos de ciclo estão intimamente associados ao percurso de curtas

distâncias por parte dos equipamentos (distâncias entre as frentes de desmonte e as zonas de descargas) e às velocidades mais elevadas dos equipamentos. Sabendo-se da influência dos tempos de ciclos na produtividade das LHD deverá considerar-se as relações e influências agora evidenciadas para a otimização desses mesmos tempos de ciclo. Seguindo um raciocínio muito semelhante ao explanado no parágrafo anterior para justificar as fortes correlações positivas assinadas, poder-se-á afirmar que é a natureza das próprias modalidades e das operações em análise que validam o agrupamento das modalidades no semieixo negativo F1.

Os dois grupos de modalidades que se opõem ao longo do primeiro eixo fatorial estão em forte correlação negativa.

Tal como foi observado noutros ensaios, o eixo fatorial F1 é claramente o eixo que separa os tempos de ciclo mais baixos TC1, TC2 dos tempos de ciclo mais altos TC3 e TC4. Também aqui a projeção simultânea, no mesmo plano fatorial, dos registos e das modalidades, permite identificar qual(ais) o(s) equipamento(s) (entenda-se LHDs) que, localizados nas proximidades de um dos dois grupos de modalidades identificados, apresentam maiores ou menores tempos de ciclo em função das distâncias percorridas, capacidades do balde e da sua própria velocidade.

Na tabela 4 podem-se observar os resultados dos diferentes ensaios, sendo possível individualizar, em cada ensaio, as associações positivas e negativas entre os "*cluster*" das diferentes modalidades.

Tabela 4. Resumo dos resultados da AFCB relativamente à projeção das modalidades nos planos fatoriais

Ensaio n.º	**Codificação das Variáveis e Indivíduos**	**% Exp**	**Variáveis Relacionadas**	**% Exp**	**Variáveis Relacionadas**	**% Exp**	**Variáveis Relacionadas**
1	6 Variáveis (18 modalidades ou sub-variáveis) – colunas da matriz de input 1553 Indivíduos (registos) – linha da matriz de input	**Eixo 1**		**Eixo 2**		**Eixo 3**	
		16.4	TC2, TC3, TG2, TG3, Ca3, Dis3 ⇕ IE1, Dis1	12.5	n.i. ⇕ n.i.	11.4	Dis2 ⇕ Dis3, TC2, IE1, Ca1
		Eixo 4		**Eixo 5**		**Eixo 6**	
		9.6	TG2, Dis1, IE3, V2 ⇕ Dis2, IE2	9.2	TC2, TG2, IE2, Ca2, V2, V3 ⇕ Dis2, IE2	8.4	Dis3, V2 ⇕ TG2
2	6 Variáveis (18 modalidades ou sub-variáveis) – colunas da matriz de input 1553 Indivíduos (registos) – linha da matriz de input	**Eixo 1**		**Eixo 2**		**Eixo 3**	
		18.3	TC3, Dis3, Ca3, V1 ⇕ TC1, Dis1, V3	14.2	Dis3 ⇕ TC2, Dis2, IE1, Ca1	10.9	IE3, Ca3, V2 ⇕ IE1, IE2, Ca1, V1
		Eixo 4		**Eixo 5**		**Eixo 6**	
		9.4	TG1, TG2, IE2, Dis3, Ca1 ⇕ TG3	8.5	TC2, IE2, Ca2, V2 ⇕ IE3, Ca1, Ca3, V1	8.2	TG1, ⇕ TG2
3	6 Variáveis (21 modalidades ou sub-variáveis) – colunas da matriz de input 1553 Indivíduos (registos) – linha da matriz de input	**Eixo 1**		**Eixo 2**		**Eixo 3**	
		15.9	TC4, Ca3, Dis3 ⇕ TC1, Dis1, V4	11.4	TC4, Dis3, IE2 ⇕ TC2, Dis2, Ca1, V1	9.6	TC2, IE3, Ca3, V3 ⇕ IE1, IE2, Ca1, V1
		Eixo 4		**Eixo 5**		**Eixo 6**	
		7.8	TG1, TG2, Ca1, V3 ⇕ TG4	7.2	TC2, TG2, V1 ⇕ TC3, TG1, V2	6.8	TG3, IE2, V3 ⇕ IE3, Ca1, Ca3

Considerando os diferentes ensaios, as diferentes codificações efetuadas e a forma como construída as diferentes modalidades, poder-se-á afirmar:

- No 1º ensaio os resultados revelam-se pouco aderentes à realidade experimentada no fundo da mina, facto a que não deve ser estranho a desproporção, em termos de frequências absolutas, exibida por algumas modalidades dentro da mesma variável. A reduzida ocorrência de registos em algumas das modalidades torna estas pouco representativas dos fenómenos em estudo.

- Comum aos resultados obtidos a partir dos ensaios 2 e 3, parece ser clara a influência das elevadas distâncias e das elevadas capacidades do balde a maiores tempos de ciclo, verificando-se, pelo contrário e como expectável que os baixos tempos de ciclo estão associados às curtas distâncias e equipamento com velocidades mais elevadas. A construção, no ensaio 3, de novas modalidades permite uma análise mais pormenorizada da relação entre as diferentes modalidades.

Através de dados reais foi possível criar modelos que traduzissem a dependência de uma variável (variável dependente – produtividade ou tempo de ciclo) em relação a outra ou mais variáveis (variáveis independentes – distância ou tempo de operações) com o objetivo de estimar ou prever o valor esperado. Para minimizar o afastamento dos dados reais em relação aos valores previstos ao modelo convém que os dados reais sejam em número suficientemente elevado.

Após as análises incluídas nos pontos anteriores, neste ponto, começou-se por estudar analiticamente os valores esperados e as variâncias em modelos de comportamento das variáveis, pelo que se propôs a aplicação de um método de estimação baseado num modelo de regressão do tempo de ciclo versus a produtividade. O método foi aplicado a um conjunto de dados reais, já anteriormente identificado. No entanto, dada a complexidade de representação dos 1553 valores das variáveis, considerou-se ao valor médio da produtividade para cada distância de percurso. A análise sequencial dos dados e respetivos modelos de regressão linear entre os diferentes tempos de ciclo, de carga e de viagem e ainda o modelo de regressão não-linear (do tipo exponencial) entre a distância versus a produtividade, pode ser observado nas figuras seguintes.

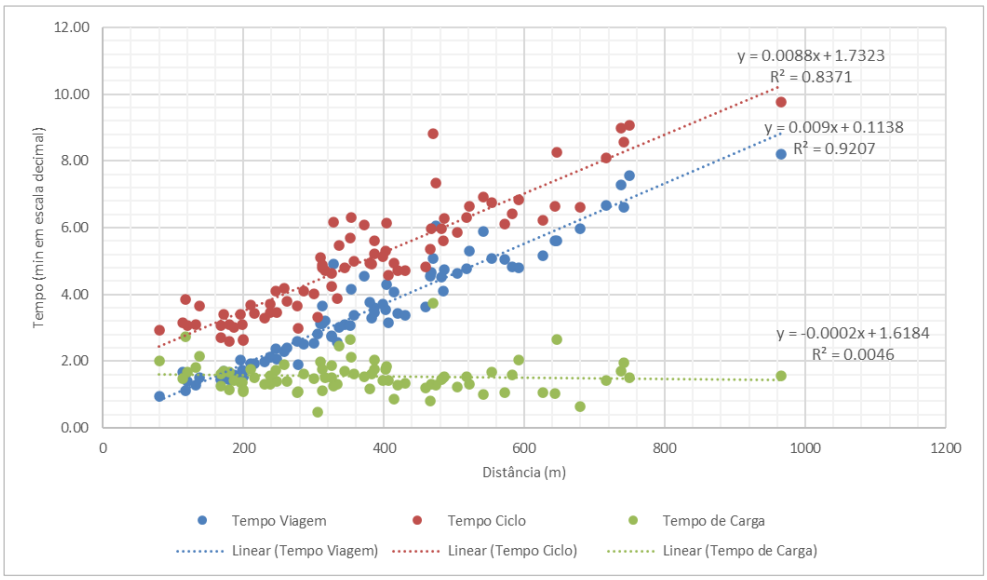


Fig. 10 - Dispersão dos dados médios e regressão dos Tempos de Ciclo, de Viagem e de Carga.

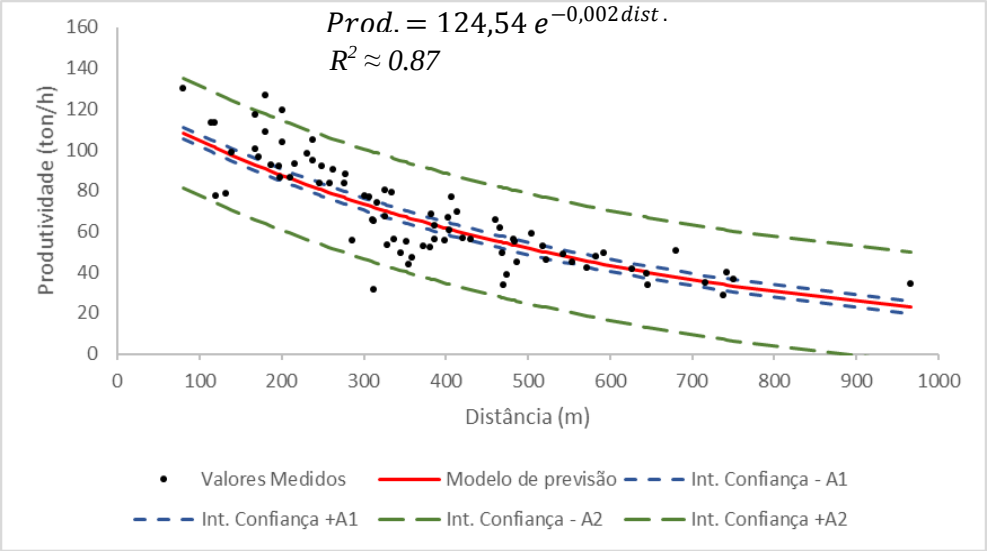


Fig. 11 - Modelo de Regressão Não-Linear da Produtividade em função da Distância.

Considerando o nível de significância estipulado (α=0,05) pode-se afirmar que o verdadeiro modelo de regressão se situa nos intervalos indicados. Com 95% de confiança, o modelo obtido está dentro dos limites representados na Figura 11.

O intervalo mais pequeno é construído à custa de A1 no qual se prevê o valor médio de y para diferentes valores de x, ou seja, estima-se um valor médio para um dado x. O intervalo mais alargado resulta do cálculo de A2, atendendo à variabilidade da variável dependente y, ou seja, determina-se o intervalo de confiança em torno dos valores de y e não da sua média (Fiúza, 2003).

CONCLUSÕES

Neste estudo ficou demonstrado a forte relação existente entre o tempo de ciclo e o tempo de carga; a relação direta entre o tempo de viagem e a distância; a forte influência da distância, do tempo de carga e da velocidade no tempo de ciclo e o impacto das condições de trabalho no tempo de ciclo da LHD, principalmente no carregamento do balde. O modelo de produtividade das LHDs revelou a queda exponencial da produtividade com o aumento da distância.

Com este trabalho foi possível caracterizar o sistema de transporte das LHDs no contexto real de uma mina subterrânea. A aquisição de dados dos tempos de ciclo e dos tempos de carga assim como todas as outras informações necessárias, foram determinantes para conseguir identificar os fatores da produtividade das LHDs nomeadamente, o tempo de carga, o tempo de viagem em proporcionalidade direta com a distância, a capacidade do balde e o fator de enchimento do mesmo e quantificar as variáveis atrás indicadas.

Relativamente aos fatores que influenciam o tempo de ciclo, identificam-se dois aspetos fundamentais. Por um lado, o tempo de carga, que é parte integrante do tempo de ciclo é bastante variável, influenciado pela granulometria do material, pela configuração da frente, pela eficácia do rebentamento com explosivos, pela experiência do operador, pela visibilidade, pela inclinação da frente. Veja-se, por exemplo, a variabilidade do tempo de carga com uma tendência crescente na parte final da limpeza da frente de desmonte fruto essencialmente da dificuldade de enchimento por desaparecimento do minério na pilha. São, portanto, inúmeros os fatores associados ao local e ao operador, mas o tempo de carregamento tem também associado a aleatoriedade do número e do tempo de paragens.

Por outro lado, o tempo de viagem, também integrado no tempo de ciclo, apresenta menor variação, mas é fortemente dependente da distância dos percursos.

O tempo de ciclo varia na proporção do tempo de carregamento, existindo uma relação bastante forte entre ambos.

A análise através dos modelos fatoriais permitiu-nos não só identificar e comprovar a relações que se estabelecem entre as várias variáveis (modalidades) em estudo, mas também comprovar a validade destas metodologias ao integrar, na mesma análise, variáveis quantitativas, qualitativas, discretas, continuas, expressas em métricas lineares ou mesmo expressas em métricas circulares.

É claramente visível a estreita associação, não só entre os tempos de carga e os tempos de ciclo, mas também destes últimos com as distâncias percorridas, com as capacidades dos baldes e velocidades dos equipamentos. Estas últimas duas variáveis estritamente ligadas às características dos equipamentos analisados. Os modelos mais recentes das LHDs analisados apresentam produtividades mais elevadas.

O modelo de produtividade resulta de uma amostra de 1553 ciclos, sendo possível obter, através dos mesmos, um modelo exponencial, com os respetivos intervalos de confiança, o qual decresce exponencialmente com o aumento da distância. Apesar dos inúmeros fatores que condicionam a produtividade, as distâncias, o fator enchimento do balde e a capacidade do balde são determinantes na produtividade.

Quanto mais curto o percurso, maior a variabilidade de tempo. À medida que a distância aumenta, o intervalo de produtividades diminuiu e a operação torna-se mais constante.

AGRADECIMENTOS

Este artigo baseia-se nos trabalhos de dissertação de Mestrado desenvolvidos por um dos autores e envolveu também um estudo de caso graças ao trabalho desenvolvido na Mina da Panasqueira, a quem profundamente agradecemos. Neste contexto, tiveram um papel importante o Engenheiro Manuel Pacheco, ao Engenheiro João Pedro Real e ao Engenheiro Miranda Coelho pelo apoio na fase de realização deste trabalho. A todos eles, os nossos sinceros agradecimentos.

REFERÊNCIAS

Åstrand, M., Johansson, M., & Greberg, J. (2018). Underground mine scheduling modelled as a flow shop: A review of relevant work and future challenges. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, *118*(12), 1265–1276. https://doi.org/10.17159/2411-9717/2018/v118n12a5

Berkhimer, E. N. (2011). Selection and Sizing of Excavating, loading, and Hauling Equipment. In P. Darling (Ed.), Mining Engineering Handbook (3rd ed., pp. 931–939). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. https://doi.org/10.4

Dammers, M., Barnewold, L., Merchiers, A., Jeschke, P., & Pütz, M. (2019). Development of an Underground Haulage System Evaluation Tool for Feasibility Studies. In *Mining, Metallurgy and Exploration* (Vol. 36, Issue 3, pp. 487–494). Springer. https://doi.org/10.1007/s42461-019-0055-9

Filas, F. J. (2020). Excavation, Loading, and Material Transport. In H. N. Dougherty & A. P. Schissler (Eds.), Mining Reference Handbook (2nd ed., pp. 293–318). Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

Fiúza, A. (2003). *Análise e Aquisição de Dados. Texto Pedagógico para uma disciplina do 3º ano de Engenharia de Minas e Geo-ambiente*. FEUP.

Liu, X., Zhang, X., Wang, L., Qu, F., Shao, A., Zhao, L., Wang, H., Yue, X., Li, Y., Yan, W., & He, J. (2024). Research progress and prospects of intelligent technology in underground mining of hard rock mines. Green and Smart Mining Engineering, 1(1), 12–26. https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.007

Miranda, Henrique. (1986). Transporte Mineiro. Efeitos peculiares da disciplina de fecho do relevo. Tese de Doutoramento à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Moradi Afrapoli, A., & Askari-Nasab, H. (2019). Mining fleet management systems: a review of models and algorithms. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 33(1), 42–60. https://doi.org/10.1080/17480930.2017.1336607

Pacheco, Manuel Sousa (2017). Panasqueira. Projecto Mineiro atípico. Contributo técnico-económico da alteração do Diagrama de Fogo. Dissertação submetida para satisfação dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pereira, H. Garcia (1990). Análise de Dados Geológico-mineiros. Aplicações e Estudo Metodológico. Provas de Agregação na área da Geomatemática do curso de Engenharia de Minas do Instituto Superior Técnico. IST – U.T.L. Lisboa. 263pp.

Ribeiro, A. & Pereira, E. (1982). Controles paleogeográficos, petrológicos e estruturais na génese dos jazigos portugueses de estanho e volfrâmio. Geonovas, 1/3: 23-31.

Souza, F. R., Câmara, T. R., Torres, V. F. N., Nader, B., & Galery, R. (2019). Mine fleet cost evaluation - dijkstra's optimized path. Revista Escola de Minas, 72(2), 321–328. https://doi.org/10.1590/0370-44672018720124

Thadeu, D. (1979). Le Gisement stranno-volframitique de Panasqueira (Portugal). Chronique et Recherche Minière. Vol. 47, nº 450, pp. 35-41.

ARTIGO Nº22201

APLICAÇÃO DE RESÍDUOS MINEIROS EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO À BASE DE GEOPOLÍMEROS

Fernando Rocha[1(*)], Andreia Santos[1], Slavka Andrejkovičová[1], Fernando Almeida[1]

[1]Geobiotec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro - Aveiro, Portugal
[(*)] *Email:* tavares.rocha@ua.pt

RESUMO

A produção de resíduos mineiros pode colocar sérios desafios aos ecossistemas circundantes, incluindo a acidificação do solo e da água. Consequentemente, têm sido realizadas pesquisas para reutilizar esses resíduos e mitigar seu impacto ambiental.

Por outro lado, o setor da construção, particularmente a produção de Cimento Portland Ordinário (OPC), está associado a desvantagens ambientais. Cada tonelada de OPC gera aproximadamente uma tonelada de emissões de dióxido de carbono (CO2).

Uma solução para ambos os problemas é a incorporação de resíduos de mineração em materiais ativados com ativadores alcalinos, comumente referidos como geopolímeros. Geopolímero é um termo usado para descrever polímeros inorgânicos formados através da reação química entre aluminossilicatos e soluções altamente alcalinas.

Este trabalho centra-se na caracterização de resíduos de antigas minas de cobre e ferro, em Portugal. Foram incorporados em caulinos provenientes do NW de Portugal.

Vários métodos, incluindo difração de raios X (DRX), fluorescência de raios X (FRX), granulometria e análise de pH, foram empregados para caracterizar esses resíduos, que são cruciais para sua incorporação em geopolímeros. Adicionalmente, foram realizadas análises mecânicas e químicas, tais como resistência à compressão simples, XRD, XRF, para verificar a viabilidade destes geopolímeros.

A geopolimerização foi alcançada com sucesso, e aproximadamente 20% dos resíduos de mineração puderam ser incorporados. Analisando os resultados dos testes de compressão simples após 90 dias de cura, foram observados valores da ordem de 37 MPa para o DP, 34 MPa para o W, 33 MPa para o L e o IH. Valores de compressão que variam entre 28 e 35 MPa são adequados para aplicações básicas, enquanto valores mais altos podem ser aplicados para fins mais avançados, como proteção contra corrosão para armaduras de concreto.

***Palavras-chave**:* Resíduos de mineração, caulinos, geopolímeros.

ARTIGO Nº22207

ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO PARA CONSTRUÇÃO DE ESTRADA. ESTUDO DE CASO BAIRRO DA MANANGA- CIDADE DA BEIRA

Lucas Simão Lucas[1], Felisberto F. Lima[2], Pedro Franque Bernardo[3]
[1,2,3] Universidade Licungo – Dondo, Moçambique
Email: llucas@unilicungo.ac.mz [1]; felisbert.lima@gmail.com [2]; pedrofranque1994@gmail.com

RESUMO

O estudo das características físicas do solo é fundamental na Construção Civil e em outras áreas para garantir a qualidade das obras. Esta pesquisa teve como objetivo analisar as propriedades físicas do solo no Bairro da Mananga, Cidade da Beira, visando a construção de uma estrada. O solo foi identificado, caracterizado e classificado em conformidade com as normas vigentes em Moçambique (Norma Sul-Africana e Norma Portuguesa). Para atingir os objetivos propostos, foram realizados ensaios laboratoriais de Análise Granulométrica do Solo, Ensaio de Compactação (Proctor), Ensaio de Limite de Consistência e Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC). As amostras foram coletadas em nove pontos distintos, com distâncias entre 550 e 739 metros, cobrindo uma área de 60382,622 m². Os resultados dos ensaios laboratoriais indicaram que os solos arenosos do Bairro da Mananga não possuem uma percentagem adequada de material fino para pavimentação de estradas. Quanto aos solos argilosos, estes mostraram uma plasticidade medianamente plástica, o que favorece o surgimento de assentamentos diferenciais e fendas na pavimentação. Contudo, o ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) revelou que o solo apresenta um CBR aceitável para a pavimentação de estradas no Bairro da Mananga.

Palavras-chave: propriedades físicas do solo, construção de estradas, bairro da Mananga, cidade da Beira.

INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, o estudo aprofundado do solo é crucial. Este trabalho propõe a análise das propriedades físicas do solo, incluindo granulometria, densidade das partículas, porosidade, humidade, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Índice de Suporte Califórnia (ISC) e índice de vazios. A necessidade de compreender esses índices físicos é premente para a aplicação adequada dos solos na pavimentação de estradas.

O solo, resultante da decomposição das rochas da crosta terrestre, é o material mais empregado na construção civil. Devido à sua diversidade em formas e tamanhos de partículas, um estudo detalhado e a identificação dos diferentes tipos de solo em profundidade são de grande importância para a construção de estradas, especialmente no que tange à sua capacidade de suporte de carga.

No Bairro da Mananga, a diversidade de solos implica que cada tipo possui propriedades físicas específicas, como granulometria, densidade, porosidade, humidade, Limite de Liquidez, Limite de Plasticidade, Índice de Suporte Califórnia e índice de vazios.

O conhecimento dessas propriedades, obtido por meio de ensaios laboratoriais, permite definir com precisão os procedimentos construtivos mais adequados para estradas no Bairro da

Mananga. Além disso, possibilita determinar o tipo de estabilização *in situ* necessária, adotar as melhores técnicas de fundação para infraestruturas e prevenir problemas geotécnicos decorrentes das características dos solos locais.

Assim, a análise das propriedades físicas do solo é imprescindível.

Problemática

Até o ano de 2020, o Bairro da Mananga não possuía ruas pavimentadas. A ausência de um estudo geotécnico prévio pode levar à adoção de técnicas construtivas inadequadas para estradas no Bairro, resultando em elevados custos de manutenção a longo prazo, comprometendo a circulação de pessoas e bens com a comodidade e conforto desejados. O Bairro da Mananga está situado próximo aos bairros da Muchatazina (oeste), Matacuane (sul), Chota (este) e Maraza (norte). Observa-se a ocorrência de assentamentos diferenciais e fendas grosseiras em trechos recém-construídos, como na Avenida 24 de Julho (que liga Muchatazina a Maraza) e na nova rua da Chota (que liga Matacuane a Munhava).

Acredita-se que esses problemas estejam associados à capacidade de suporte de carga e à baixa estabilização dos maciços terrosos. Diante deste cenário, a realização de um estudo do solo no Bairro da Mananga para futuras construções de estradas é de extrema importância. Levanta-se, então, a seguinte questão de pesquisa: As propriedades físicas do solo da Mananga podem propiciar o aparecimento de assentamentos diferenciais e fendas em futuras estradas pavimentadas no Bairro?

ENQUADRAMENTO FÍSICO-GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade da Beira localiza-se numa região pantanosa, na foz do Rio Púnguè, e sobre extensões de dunas de areia ao longo da costa do Oceano Índico. A vegetação natural é caracterizada por terras baixas e mangais costeiros. Com uma área de 633 km² e altitude média de 14 metros acima do nível do mar, a cidade está situada nas coordenadas 19° 50' sul e 34° 51' leste. Limita-se a norte e oeste com o distrito de Dondo, a leste com o Oceano Índico e a sul com o distrito do Búzi. E O estudo concentra-se no Bairro da Mananga (10º Bairro) (Figura 1), pertencente ao Posto Administrativo da Munhava, com uma área de 60.382,622 m².

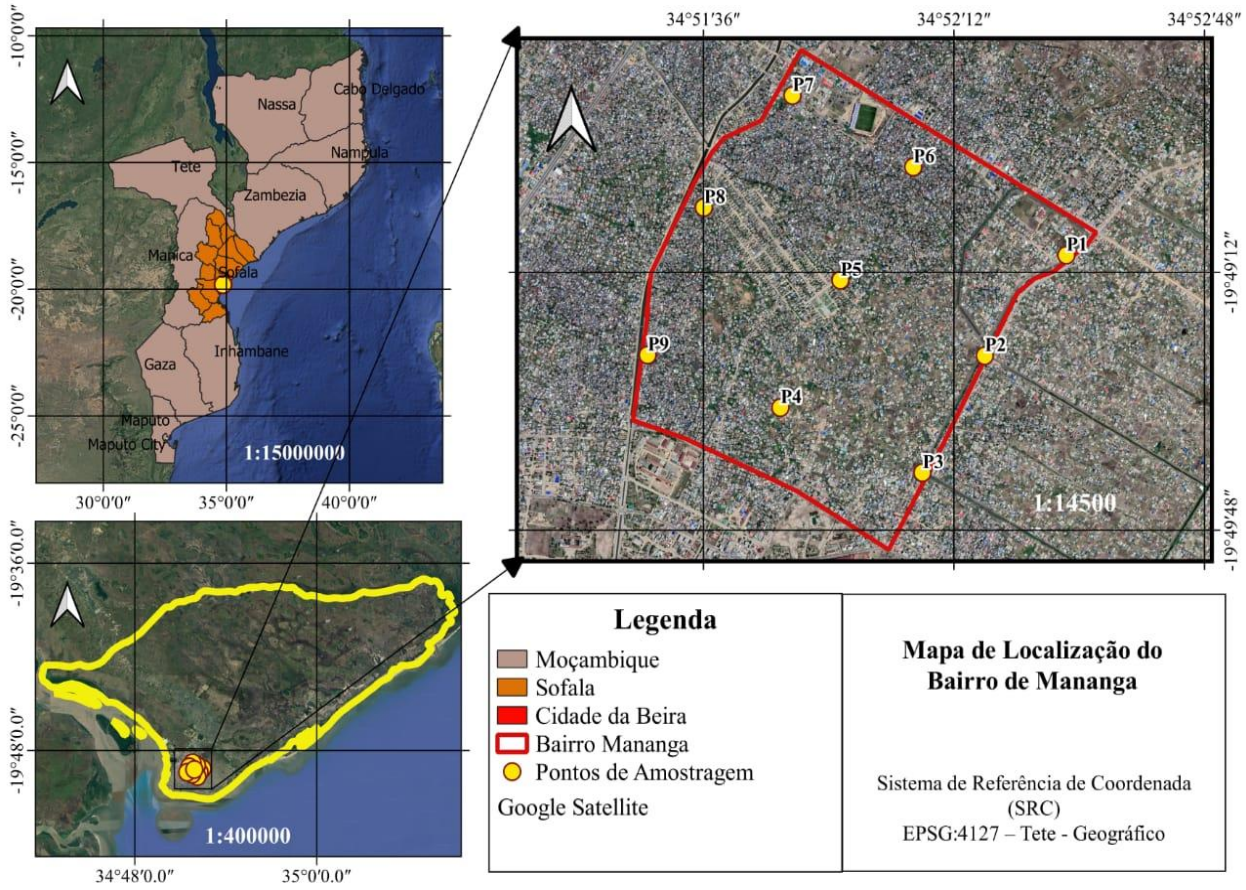


Figura 1: Mapa da localização Geográfica do Bairro da Mananga. Autores (2020 Adaptado do Qgis)

Solos

Pedologicamente, os solos da cidade da Beira são divididos em dois grandes grupos: Solos costeiros e estuarinos, desenvolvidos a partir de sedimentos marinhos estuarinos, caracterizam-se por serem argilosos, cinzentos, profundos, frequentemente saturados e com drenagem deficiente a muito deficiente e Solos interiores (Solos de Mananga), apresentam cobertura arenosa de espessura variável e são predominantemente arenosos amarelados (FERNANDES et al., 2010).

Geologia local

A maior parte da cidade da Beira (Figura 2) é caracterizada por uma superfície horizontal de depósito de preenchimento, que corresponde a uma extensa planície de inundação. Esta superfície é composta principalmente por areia, sendo parte dos depósitos quaternários. Geologicamente, a cidade da Beira insere-se nos terrenos fanerozóicos de Moçambique, com idades terciárias e quaternárias. As rochas terciárias (Plioceno) são denominadas Formação Mazamba, enquanto as quaternárias (Plistoceno) são constituídas por aluviões arenosos e argilo-arenosos. Na porção mais costeira, os sedimentos quaternários são recobertos por materiais mais recentes, como aluviões e dunas costeiras paralelas. (DIAS et al., 2010)

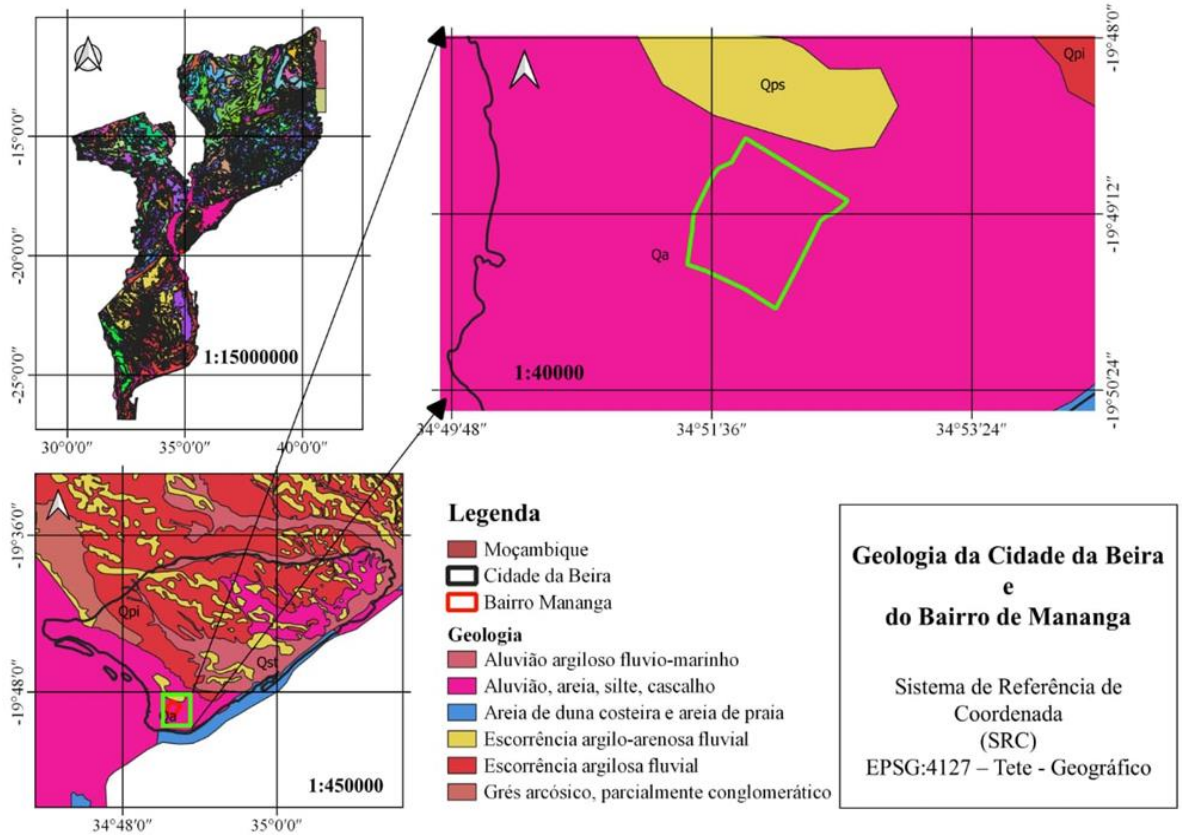


Figura 2: Mapa da Geologia da Cidade da Beira Autores (2020 Adaptado do Qgis)

METODOLOGIA

Para elaboração do presente trabalho, os autores basearam-se nas seguintes metodologias:

- Consultas bibliográficas;
- Estudo de campo;
- Ensaios laboratoriais.

Consultas bibliográficas

Esta etapa consistiu no levantamento das bibliografias relacionadas ao tema, incluindo livros, artigos científicos e normas estabelecidos para a determinação das propriedades física do solo. O objetivo foi conciliar os conceitos e aspetos relevantes para o presente trabalho

Estudo de campo

O estudo de campo foi realizado no Bairro da Mananga e consistiu na identificação de nove pontos potenciais para a coleta intencional de amostras de solo, com o objetivo de avaliar a qualidade de suas propriedades físicas. Os nove pontos de amostragem designados por A, que varia de A1 ate A9, foram espaçados da seguinte forma: 593,601m entre o primeiro e o segundo; 739,831m entre o segundo e o terceiro; 550,091m entre o terceiro e o quarto; 566,511m entre o quarto e o quinto; 656,563m entre o quinto e o sexto; 594,791m entre o sexto e o sétimo; 684,172m entre o sétimo e o oitavo; e 655,607m entre o oitavo e o nono ponto.

Nesta etapa, as amostras foram coletadas em nove pontos distintos utilizando um trado manual. O trado manual foi construído em conformidade com as normas do LINEC, apresentando uma precisão de 75%, o que permite considerá-lo calibrado.

Ensaios laboratoriais

Os ensaios laboratoriais foram conduzidos no laboratório da CETA, uma empresa de construção civil reconhecida em Moçambique. Em laboratório, foram realizados os seguintes ensaios:

- ✓ Ensaio de Análise Granulométrica;
- ✓ Ensaio de Compactação (Proctor);
- ✓ Ensaio de Limite de Consistência (Limite de Liquidez e de Plasticidade);
- ✓ Ensaio de CBR (Califórnia Bearing Ratio ou Índice de suporte Califórnia).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Granulométrica

Foram realizados ensaios laboratoriais em nove (9) amostras de solo coletadas. A determinação granulométrica foi efetuada pelo método de peneiração, conforme a especificação E (233-1969) da norma portuguesa do LNEC.

De acordo com a especificação E (233-1969) da norma portuguesa do LNEC, para a determinação granulométrica a partir do método de peneiração, obteve-se nas figuras 3 e 4, gráficos representando curvas granulométrica dos agregados miúdos das amostras.

Amostras A1, A2, A3 e A4

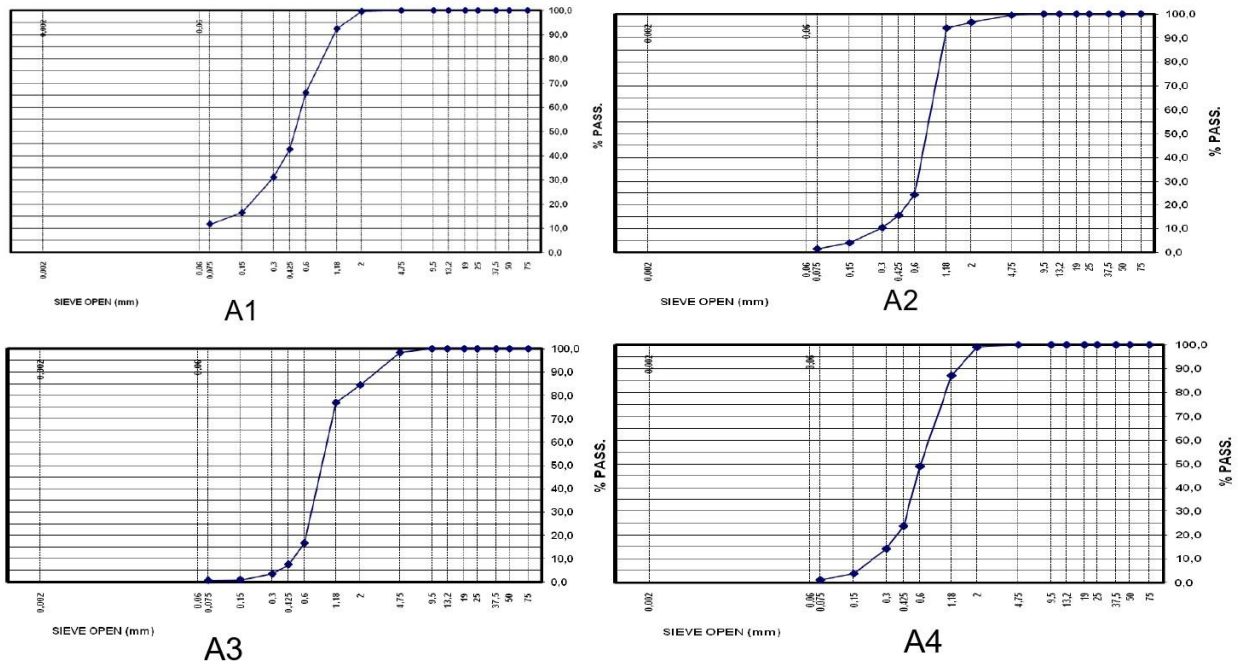


Figura 3 Curva granulométrica dos agregados miúdos das amostras A1, A2, A3 e A4. Autores (2020 Adaptado Microsoft Excel).

A análise granulométrica da amostra A1 revelou a seguinte composição: 21,4% de areia grossa, 73,5% de areia média e 2,7% de areia fina. De acordo com as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a amostra A1 possui uma percentagem adequada de material fino para pavimentação de estradas no Bairro da Mananga. Embora solos com grande proporção de finos sejam considerados inadequados para subleito e solos mal graduados (como areias finas) sejam difíceis de compactar para alta densidade, a amostra A1 parece apresentar um balanço favorável dentro das normas. A zona ótima de finura para agregados miúdos, segundo ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), varia de 2,20% a 2,90%. A percentagem de finos da A1

(2.7%) está dentro da zona ótima, o que justificaria a afirmação de "boa percentagem" e não se enquadraria na categoria de "grande proporção de finos" que seriam inadequados.

Tabela 1: Modo de Finura de Agregado Miúdo (ABNT, ASTM, ISO

Agregado miúdo	Modo de finura (%)
Zona utilizável inferior	1.55 a 2.20%
Zona óptima	2.20 a 2.90 %
Zona utilizável	2.90 a 3.00 %
Zona não utilizável	3.00 a mais %

A análise granulométrica da amostra A2 revelou a seguinte composição percentual: 7,5% de areia grossa, 61,4% de areia com grãos médios e 19,4% de areia fina. De acordo com as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para agregados miúdos, que é desejável para pavimentação de estradas, varia de 2,20% a 2,90%. Uma vez que a amostra A2 apresenta um modo de finura de 19,4% de areia fina, que está significativamente acima dessa faixa ótima, conclui-se que esta amostra não possui uma percentagem adequada de material fino para ser utilizada diretamente na pavimentação de estradas no Bairro da Mananga. Solos com uma elevada percentagem de finos tendem a ser mais plásticos e, consequentemente, menos resistentes, o que os torna inadequados como material de subleito para pavimentos. Para a amostra A3, os resultados obtidos indicam uma composição percentual de 21,4% de areia grossa, 73,5% de areia com grãos médios e 2,7% de areia fina. De acordo com as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia de 2,20% a 2,90%. Com base nesse critério, a amostra A3 apresenta uma percentagem de material fino que a classifica como ótima para pavimentação de estrada no Bairro da Mananga. A análise granulométrica da amostra A4, obtida por crivagem, resultou nas seguintes percentagens: 12,8% de areia grossa, 73,0% de areia com grãos médios e 13,1% de areia com grãos finos. Conforme as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. Dado que o modo de finura da amostra A4 (13,1% de areia fina) está significativamente acima dessa faixa ótima, conclui-se que a amostra A4 não apresenta uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estradas no Bairro da Mananga.

Amostras A5, A6, A7 e A8

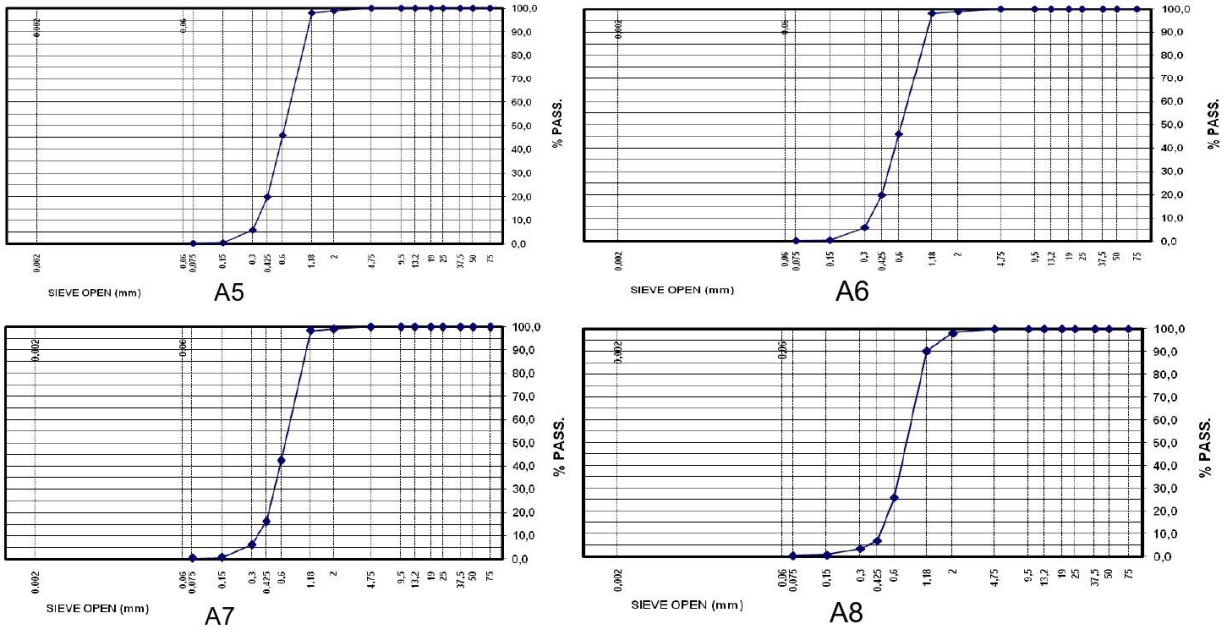


Figura 4: Curva granulométrica dos agregados miúdos das amostras A5, A6, A7 e A8. Autores (2020 Adaptado Microsoft Excel)

A análise da amostra A5 revelou a seguinte composição granulométrica: 1,9% de areia grossa, 91,9% de areia com grãos médios e 5,8% de areia fina. Com base nas classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. Dado que a percentagem de areia fina na amostra A5 (5,8%) está acima dessa faixa ótima, conclui-se que a amostra A5 não apresenta uma percentagem adequada de finos para pavimentação de estradas no Bairro da Mananga. Após o processo de crivagem, a amostra A6 apresentou a seguinte composição granulométrica: 1,9% de areia grossa, 92,0% de areia com grãos médios e 5,8% de areia fina. De acordo com as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. Uma vez que a percentagem de areia fina na amostra A6 (5,8%) está fora dessa faixa ideal, conclui-se que esta amostra não possui uma percentagem adequada de material fino para a pavimentação de estradas no Bairro da Mananga. Para a amostra A7, os resultados obtidos indicam a seguinte composição granulométrica: 1,8% de areia grossa, 92,0% de areia com grãos médios e 6,0% de areia fina. De acordo com as classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011), a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. Uma vez que a percentagem de areia fina na amostra A7 (6,0%) está acima dessa faixa ideal, conclui-se que esta amostra não apresenta uma percentagem adequada de finos para a pavimentação de estradas no Bairro da Mananga. No procedimento da análise granulométrica da amostra A8, foram obtidos os seguintes resultados: 9,7% de areia grossa, 87,0% de areia com grãos médios e 3,0% de areia fina. As classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011) indicam que a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. De acordo com os resultados obtidos, observa-se que a amostra A8 não apresenta uma percentagem adequada de material fino para a pavimentação de estradas no Bairro da Mananga, visto que seu teor de finos (3,0%) excede a faixa ótima.

Amostra A9

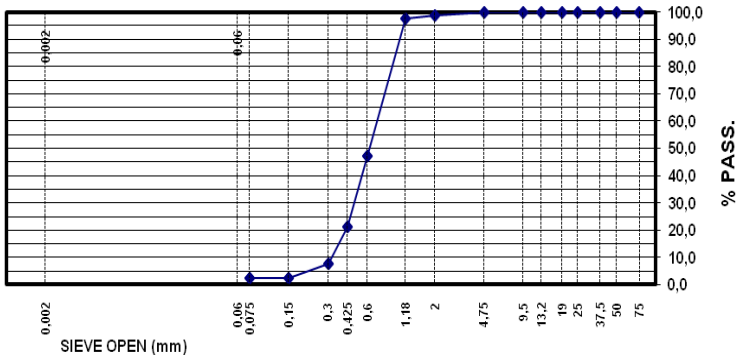


Figura 5: Curva granulométrica dos agregados miúdos da amostra (A9). Autores (2020 Adaptado Microsoft Excel)

Para a amostra A9, os resultados do ensaio indicaram a seguinte composição: 2,3% de areia grossa, 90,0% de areia com grãos médios e 7,3% de areia fina. As classificações da ABNT (2005), ASTM (2009) e ISO (2011) estabelecem que a zona ótima de finura para pavimentação de estradas varia entre 2,20% e 2,90%. Com base no resultado obtido na amostra A9, observa-se que o solo não apresenta uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estradas no Bairro da Mananga, pois seu teor de finos (7,3%) excede a faixa ótima.

Ensaio de Compactação

O ensaio de compactação (Proctor) foi realizado em amostras A5, A6 e A7 com o objetivo de reduzir o índice de vazios do solo para otimizar a compactação nas obras de construção.

Amostra A5

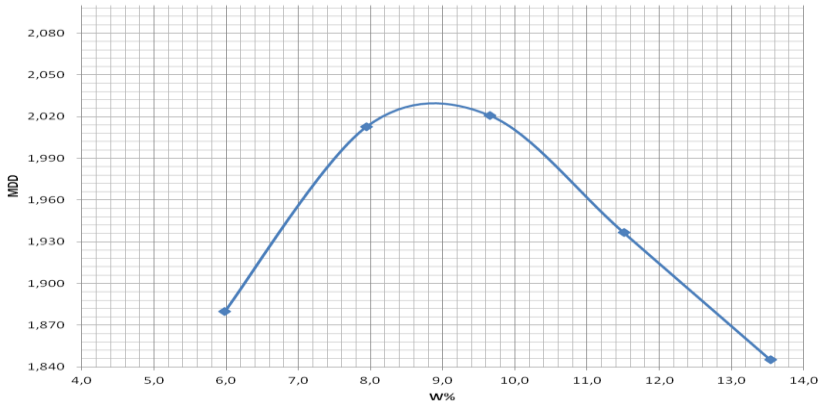


Figura 6: Curva de compactação da amostra (A5). Autores (2020 Adaptado do Microsoft Excel)

Com base na curva do gráfico de compactação da amostra A5, foi possível a obtenção do teor de humidade ótimo da água que é de 9% e a baridade seca máxima de 2031 gr/cm³.

Amostra A6

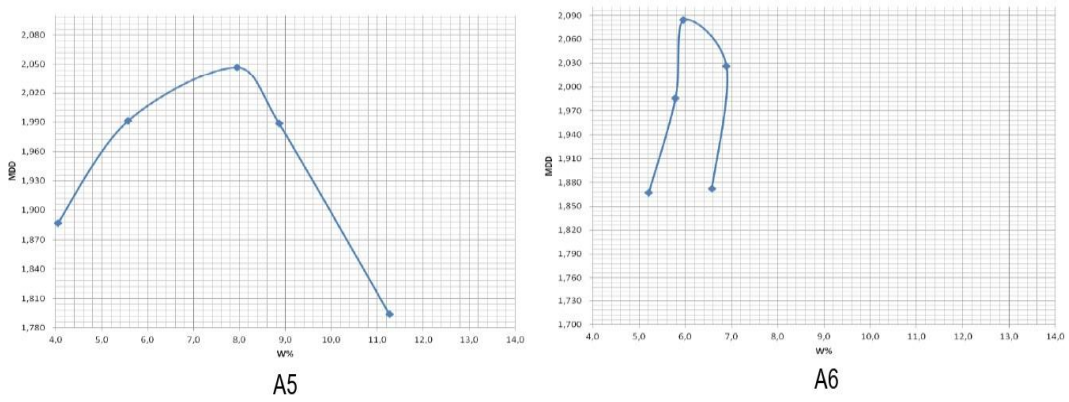


Figura 7: Curva de compactação das amostras A6 e A7. Autores (2020 Adaptado do Microsoft Excel)

Resultante do ensaio de compactações nas amostras (A6 e A7), foram obtidos na amostra A6 os seguintes resultados: Baridade seca máxima 2049 gr/cm^3 e Teor de humidade ótimo 7,9%. E para a amostra A7, foram obtidos valores de Baridade seca máxima 2085 gr/cm^3 e Teor de humidade ótimo 6%.

Ensaio de Limite de Consistência (Amostra A1)

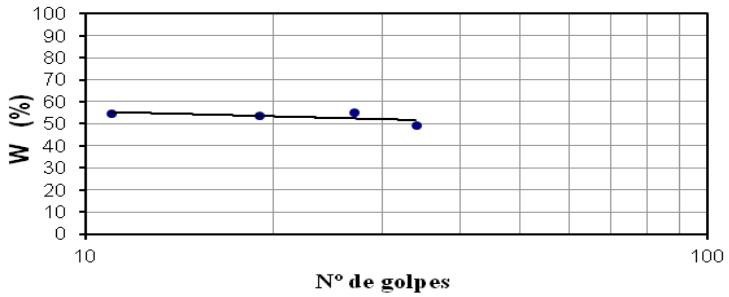


Figura 8: Leitura do ponto de intercessão dos 25 golpes. Autores (2020)

O ensaio de limite de liquidez foi conduzido com o objetivo de determinar as características do solo, estabelecendo os limites de transição de um comportamento para outro mediante a variação do teor de água em uma massa de solo que contém argila em sua composição. Na área de estudo, observou-se uma maior percentagem de solos argilosos em comparação com os solos arenosos e siltosos. Para a primeira amostra (A1), o limite de liquidez obtido foi de 53%. Conforme as normas europeia ASTM e brasileira NBR, o solo deve apresentar um limite de liquidez menor ou igual a 45%. Valores elevados de Limite de Liquidez indicam que o material é suscetível à expansibilidade, característica considerada indesejável para a construção civil.

Tabela 2: Cálculo da percentagem do Limite de Plasticidade

N° da cápsula		**11**	**8**	**15**
Peso da cápsula	(g)	**16,00**	**16,40**	**16,30**
Amostra hum.+ Cápsula (P1)	(g)	**24,90**	**23,40**	**24,50**
Amostra seca+ cápsula (P2)	(g)	**22,98**	**21,31**	**21,52**
Peso de água P3 = (P1) - (P2)	(g)	1,92	2,09	2,98
Amostra seca P4 = (P2) - (P3)	(g)	6,98	4,91	5,22
Teor de humidade W=P3/P4×100	(%)	27,5	42,6	57,1
Teor de humidade médio	(%)	**42**		

Fonte: Autores (2020)

Tabela 3: Resultados obtidos no ensaio de limite de consistência da amostra (A1)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
53	42	11

Fonte: Autores (2020)

De acordo com CAPUTO (1988), o Limite de Plasticidade (LP) é determinado pelo cálculo da percentagem de humidade na qual o solo começa a fraturar ao ser moldado. Na primeira amostra (A1), o limite de plasticidade obtido foi de 42%. O Índice de Plasticidade (IP) refere-se à diferença entre o Limite de Liquidez e o Limite de Plasticidade. Para a primeira amostra (A1), obteve-se um IP de 11%. Segundo CAPUTO (1988), os solos são classificados quanto ao Índice de Plasticidade como Fracamente plásticos quando os valores variam de 1 <IP <7, Medianamente plásticos quando os valores variam de 7 <IP <15 e por fim como Altamente plásticos quando apresentam valores maiores de 15 (IP> 15). Com base nos resultados obtido na amostra (A1), observa-se que o solo é medianamente plástico porque apresenta (7 <IP <15). Assim sendo, o solo não apresenta um bom índice de plasticidade para pavimentação de estrada.

Tabela 4: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A2)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
19	10	9

Fonte: Autores (2020)

De acordo com os resultados obtido, observa-se que o solo apresenta IP medianamente plástica, sendo pouco desejável para pavimentação de estrada.

Tabela 5: Resultado do ensaio de limite de consistência (Amostra A3)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
64	56	8

Fonte: Autores (2020)

De acordo com os dados obtido na amostra (A3), o solo apresenta IP medianamente plástico, pouco desejável para pavimentação de estrada.

Tabela 6: Resultado do ensaio de limite de consistência (Amostra A4)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
36	30	7

Fonte: Autores (2020)

Mediante os resultados obtidos na amostra (A4), o índice de plasticidade (IP) é medianamente plástico, pouco desejável para pavimentação de estrada (7 <IP <15).

Tabela 7: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A5)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
65	55	10

Fonte: Autores (2020)

Com base na classificação feita por CAPUTO (1988), o solo é medianamente plástico (7 <IP <15), pouco desejável para pavimentação de estrada. Tendo em conta que neste ponto o solo apresenta índice de plasticidade igual a 10%.

Tabela 8: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A6)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
39	27	14

Fonte: Autor (2020)

De acordo com o índice de plasticidade obtido na amostra (A6), indica que o solo é medianamente plástico pouco desejável para pavimentação de estrada. Segundo a classificação feita por CAPUTO (1988). Que diz se o (7 <IP <15) o solo é medianamente plástico.

Tabela 9: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A7)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
42	36	6

Fonte: Autor (2020)

Com base nos resultados obtidos na amostra (A7), o solo apresenta um bom índice de plasticidade, isto é fracamente plástico desejável para pavimentação de estrada. Segundo a classificação feita por CAPUTO (1988). Que diz o solo é fracamente plástico se (1 <IP <7).

Tabela 10: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A8)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
34	29	6

Fonte: Autor (2020)

Mediante o resultado de índice de plasticidade obtido na amostra (A8), o solo é classificado como sendo fracamente plástico desejável para pavimentação de estrada. Com base na classificação feita por CAPUTO (1988), que diz se (1 <IP <7) o solo é fracamente plástico.

Tabela 11: Resultados do ensaio de limite de consistência (Amostra A9)

LL (%)	**LP (%)**	**IP (%)**
21	14	7

Fonte: Autor (2020)

De acordo com os resultados obtido, o solo é classificado como sendo fracamente plástico para pavimentação de estrada. Com base na classificação feita por CAPUTO (1988), que diz se (1 <IP <7) o solo é fracamente plástico.

Ensaio de ISC (Índice de Suporte Califórnia)

Amostra (A5)

O ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR) foi realizado para determinar a resistência do solo à penetração. O objetivo é obter a força necessária para que um pistão normalizado penetre no solo a uma determinada profundidade, mantendo uma velocidade constante, com leituras da resistência do solo sendo feitas dentro do molde através de uma prensa a cada 30 segundos. Por norma, utilizam-se as penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm para a determinação do CBR. O solo foi compactado em três moldes, cada um com a mesma quantidade de água (438 ml por determinação). Para a compactação dos moldes, foram aplicados os seguintes números de golpes: Molde G1 = (55×5), Molde G2 = (25×5) e Molde G3 = (55×3). Os valores de CBR utilizados como parâmetro base foram os obtidos do Molde G1 (55x5), que corresponde à maior energia de compactação.

De acordo com a classificação de CBR, para capacidade de suporte de carga do solo segundo LNEC (E 233 e 2335 - 1969, 1970), diz que temos baixo valor quando é maior que zero e menor que trinta e cinco porcento (0 <CBR <35%), Medio quando temos valores que que são maiores de trinta e cinco porcento e menor que setenta e cinco porcento (35% <CBR,75%) e por fim Alto quando o seu valor é maior que setenta e cinco porcente (CBR> 75%)

Tabela 12: Resultados do ensaio de CBR (Amostra A5)

CBR	2.5mm=13.344KN	5.0mm=20.016KN	7.5mm=25.354KN
2,5mm	37.1%	35.5%	34.9%
5,0mm	68.0%	53.4%	34.7%

Fonte: Autores (2020)

A tabela apresenta os resultados do ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR), que mede a capacidade de suporte de carga do solo. As primeiras linhas indicam as forças de penetração necessárias em diferentes profundidades:2.5mm, 5.0mm e 7.5mm. Para a penetração de 2.5mm, os valores de CBR obtidos variam entre 34,9% e 37,1% e para a penetração de 5.0mm: Os valores de CBR obtidos variam entre 34,7% e 68,0%. Os resultados mostram uma variação nos valores de CBR para as diferentes penetrações e, possivelmente, para diferentes pontos de ensaio ou condições de compactação (como indicado pelo contexto prévio de moldes G1, G2, G3). Conforme mencionado no documento, materiais com CBR entre 35% e 75% são considerados de capacidade de suporte "Médio" e aceitáveis para terraplanagem ou pavimentação de estrada. Com base nos valores apresentados, a amostra (A5) que gerou esses resultados tem um CBR que, em grande parte, se enquadra na faixa aceitável para pavimentação, com alguns valores atingindo o nível de "Médio".

Segundo MACHADO & ANNA (2017), o solo para ser utilizado como reforço do subleito de estrada, deve possuir um CBR superior ao do subleito, ao passo que para a sub-base, deve apresentar CBR igual ou superior a 20%, enquanto para a base, este deve ser superior a 80%.

Tabela 13: Resultados do ensaio de CBR (Amostra A6)

CBR	2.5mm=13.344KN	5.0mm=20.016KN	7.5mm=25.354KN
2,5mm	47,5%	11,4%	4,4%
5,0mm	47,9%	8,8%	3,5%

Fonte: Autores (2020)

Na amostra A6, as leituras do ensaio CBR foram realizadas com base nas penetrações de 2,5 mm e 5,0 mm. Na penetração de 2,5 mm, os valores de CBR variaram de 11,4% a 47,5%. Para a penetração de 5,0 mm, o CBR variou de 8,8% a 47,9%. De acordo com a classificação estabelecida pela LNEC (E 233 e 2335 - 1969, 1970), que considera um material aceitável para terraplanagem ou pavimentação de estrada se o CBR for de 35% ou mais, a amostra A6 apresenta um CBR aceitável para tais fins.

Tabela 14: Resultados do ensaio de CBR (Amostra A7)

CBR	2.5mm=13.344KN	5.0mm=20.01KN	7.5mm=25.354KN
2,5mm	36,3%	33,9%	26,2%
5,0mm	62,9%	48,4%	29,3%

Fonte: Autores (2020)

Resultante do ensaio de CBR nas penetrações de 2,5mm e 5,0mm da amostra A7, foram obtidos os seguintes resultados: na penetração de 2,5mm, o CBR variou de 33,9% a 36,3%; e na penetração de 5,0mm, o CBR variou de 48,4% a 62,9%. De acordo com a classificação da LNEC (E 233 e 2335 - 1969, 1970), todo material com CBR de 0 a 35% é considerado fraco, enquanto valores de 35% em diante são aceitáveis para terraplanagem ou pavimentação de estrada. Com base nesses critérios, a amostra A7 apresenta um CBR aceitável para pavimentação de estrada.

CONCLUSÕES

No estudo realizado, foi possível analisar os solos coletados em nove pontos distintos no Bairro da Mananga. A análise laboratorial indicou que o Bairro da Mananga é caracterizado por grandes quantidades de solos argilosos.

Com base nas classificações das normas vigentes em Moçambique e nas normas europeias (ABNT, ASTM e ISO), que estabelecem uma zona ótima de finura entre 2,20% e 2,90% para solos adequados à construção de estradas, as seguintes conclusões foram obtidas em relação à granulometria:

- A amostra A1, com 2,7% de areia fina, apresenta uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estrada.
- A amostra A2, com 19,4% de areia fina, não apresenta uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estrada.
- A amostra A3, com 2,7% de areia fina, é classificada como ótima para pavimentação de estrada.

- As amostras A4 (13,1% de areia fina), A5 (5,8% de areia fina), A6 (5,8% de areia fina), A7 (6,0% de areia fina), A8 (3,0% de areia fina), e A9 (7,3% de areia fina) não apresentam uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estrada.

- De modo geral, os agregados miúdos do Bairro da Mananga são predominantemente constituídos por areia com grãos de tamanho médio, seguida por areia grossa, e com menor percentagem de areia fina.

Os resultados do ensaio de compactação para as amostras A5, A6 e A7 indicam as seguintes condições ótimas para uma boa compactação:

- Para a amostra A5, o teor de humidade ótimo é de 9% e a baridade seca máxima é de 2031 g/cm³.

- Para a amostra A6, o teor de humidade ótimo é de 7,9% e a baridade seca máxima é de 2049 g/cm³.

- Para a amostra A7, o teor de humidade ótimo é de 6% e a baridade seca máxima é de 2085 g/cm³.

Em relação ao ensaio de limite de consistência, das nove sondagens:

- Os pontos A7 e A8 apresentaram um índice de plasticidade (IP) fracamente plástico ($1 < IP < 7$), o que é desejável para pavimentação de estrada.

- Os restantes pontos apresentaram um IP medianamente plástico ($7 < IP < 15$), o que é pouco desejável para pavimentação.

De forma resumida, com base na análise laboratorial, conclui-se que:

- Os solos arenosos do Bairro da Mananga, em sua maioria, não apresentam uma boa percentagem de material fino para pavimentação de estrada.

- Os solos argilosos do Bairro da Mananga possuem uma plasticidade medianamente plástica, o que os torna suscetíveis ao surgimento de assentamentos diferenciados e fendas na pavimentação de estradas.

- No ensaio de Índice de Suporte Califórnia (CBR), os resultados obtidos nos três pontos onde o ensaio foi realizado indicam que o solo apresenta um CBR aceitável para pavimentação de estrada.

REFERÊNCIAS

1. American Society for Testing and Materials. (2009). Qualidade de areia. ASTM.
2. American Society for Testing and Materials. (2005). Sistema de gestão de qualidade do agregado em betão (ASTM E:11). ASTM.

3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2005). Agregados para concreto (NBR 7211/2005).
4. Caputo, H. P. (1988). Mecânica dos solos e suas aplicações (6a ed., Vol. 1). LTC Editora.
5. Dias, D. F., Marques, F. M. S. F., Henriques, M. C., Zacarias, A., & Durao, M. A. (2010). Cartografia geológica e geoambiental da Beira, Moçambique, à escala 1:50 000. Instituto Geológico e Mineiro de Portugal.
6. Fernandes, F., Henriques, M. C., Marques, F. M. S. F., Dias, D. F., Zacarias, A., & Durão, M. A. (2010). Utilização de metodologias integradas na produção da carta geoambiental da Cidade da Beira (Moçambique). In: Henriques, M. C., Carvalho, J., & Pereira, A. J. S. C. (Eds.), VII Congresso Ibérico de Geoquímica / XVII Semana de Geoquímica (pp. 379–382). Universidade de Aveiro, Portugal.
7. International Standard Organization. (2011). Análise granulométrica de areia (ISO 3310).
8. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1967). Solos - Ensaios de compactação (LNEC E 197-1966).
9. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. (1970). Agregados - Análise granulométrica (LNEC E 233-1969).
10. Machado, C. C., Perreira, L. S., Lopes, L. S., & Anna, G. L. S. (2007). Caracterização geotécnica de solos para pavimentos de estradas florestais. Simposio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, Vitoria - ES – Brazil.
11. Meneses, I. (2020). Cidade da Beira e o diálogo de suas gentes. Fundza. www.fundza.co.mz

ARTIGO Nº22223

CONTRIBUTO PARA A DEFINIÇÃO DE UM SISTEMA DE HIDROGÉNIO NATURAL NOS DISTRITOS DE MANHIÇA E BILENE, MOÇAMBIQUE

Augusto Mazezo[1(*)], Paulo Mesquita[1], Júlio Carneiro[1,2,3], Salvador Mondlane[4], Gilberto Bauque[5], Idalina Muchanga[4], Boaventura Cuamba[4], Daud Jamal[4], Luís Magaia[4], Helton Massingue[4], Gilberto Mendonça[5], Bento Muxhanga[5], Alberto Tsamba[4]

[1]Instituto de Ciências da Terra (ICT), Universidade de Évora - Évora, Portugal
[2]Departamento de Geociências, Universidade de Évora - Évora, Portugal
[3]CONVERGE!, Lda - Évora, Moçambique
[4]Universidade Eduardo Mondlane (UEM) - Maputo, Moçambique
[5]Direção Nacional de Geologia e Mina (DNGM) - Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* augusto.mazezo@uevora.pt

RESUMO

O projeto HyAfrica tem realizado trabalhos de prospeção de hidrogénio natural em quatro países africanos: Marrocos, Togo, África do Sul e Moçambique, com o objetivo de identificar e mapear os recursos existentes, avaliar o impacto socioeconómico e desenvolver modelos de negócio para sistemas de produção de energia autónomos para comunidades isoladas. No caso de Moçambique, no sul do país, resultados preliminares de campo e de laboratório comprovam a sua ocorrência com concentrações máximas de 9500 ppm, um valor indicativo de um elevado potencial deste recurso natural endógeno. O presente trabalho efetua uma primeira contribuição para definir o sistema de hidrogénio natural na região de estudo, clarificando, a sua origem, modo de transporte e potencial de acumulação do hidrogénio na subsuperfície, com o fim último de desenvolver um *workflow* para a exploração de hidrogénio natural na região.

***Palavras-chave**:* hidrogénio natural, recursos geológicos, prospeção, exploração, transição energética.

INTRODUÇÃO

O estudo mais realista de falhas de estruturas em cenários envolvendo incerteza está associado o hidrogénio natural, também designado por hidrogénio branco, tem origem geológica e ao contrário de todas as outras formas de produção de hidrogénio, é uma fonte de energia primária, não se limitando a constituir um vector para armazenamento de energia, como acontece com o hidrogénio verde ou o hidrogénio azul, que resultam de processos industriais.

Os dois processos geológicos mais comumemnte associados à origem do hidrogénio natural são a serpentinização de rochas máficas e ultramáficas e a radiólise natural impostas pelo decaimento de isótopos radioativos frequentes em granitos e gnaisses. Estes processos ocorrem a profundidades de vários kilómetros e o actual conhecimento sobre a geologia profunda de Moçambique, em particular sob as bacias sedimentares de Moçambique e do Rovuma, são claramente favoráveis à génese de hidrogénio natural. Isto mesmo foi demonstrado na região de Palmeira onde concentrações até 9500 ppm foram medidos a 1 metro de profundidades (ver apresentação I. Muchanga neste congresso).

Importa integrar os resultados de campo e laboratoriais obtidos no âmbito do HyAfrica e procurar definir o sistema de hidrogénio na região alvo, definindo as possíveis origens do hidrogénio, tendo em conta as condições geológicas subjacentes à bacia de Moçambique,

salientando o papel de controle geológico e estrutural imposto pelo graben de Palmeira nos mecanismos de transporte e ascenção do gás e o potencial de acumulação que poderá existir em determinados níveis de menor permeabilidade da sequência sedimentar da Bacia de moçambique. Finalmente, procura-se integrar a informação proveniente da prospecção de hidrocarbonetos realizada na mesma zona, em concreto as sondagens de pesquisa e a sísmica 2-D realizada sob a égide do Instituo Nacional dos Petróleos.

Julga-se que este primeiro contributo permitirá definir a curto prazo a existência de um sistema de hidrogénio natural na região e avançar para métodos de prospecção que visem quantificar os recursos existentes.

ARTIGO Nº22225

APLICAÇÃO DE SUB-PRODUTOS DA INDÚSTRIA EXTRATIVA E TRANSFORMADORA DE ROCHAS ORNAMENTAIS CARBONATADAS EM COMPÓSITOS PÉTREOS

Ruben Martins[1(*)], Antônio Azzalini[1], Jorge Velez[1], Luís Lopes[1,2], Paula Afonso[1], Paula Faria[1,3], Paulo Mourão[4], Vera Pires[5]

[1] Universidade de Évora, Departamento de Geociências, Évora, Portugal
[2] Universidade de Évora, Instituto de Ciências da Terra, Polo de Évora, Évora, Portugal
[3]GeoBioTec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal
[4] Universidade de Évora, CHANGE e MED, Departamento de Química e Bioquímica, Évora, Portugal
[5] Universidade de Évora, Laboratório HERCULES – Herança Cultural, Estudos e Salvaguarda e IN2PAST – Laboratório Associado para a Investigação e Inovação em Património, Artes, Sustentabilidade e Território, Évora, Portugal
(*)*Email:* rubenvm@uevora.pt

RESUMO

Apresenta-se a investigação realizada no Departamento de Geociências da Universidade de Évora, no âmbito do projeto "Calcinata, (Projeto de I&DT Empresas em Copromoção, com referência nº 72239 cofinanciado pelo Alentejo 2020, Portugal 2020 e União Europeia através do Programa "Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER)"). Este projeto teve como principal objetivo a caracterização e aplicação de subprodutos da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas. As lamas provenientes do corte e processamento de mármores e calcários, juntamente com um agregado marmóreo previamente selecionado, constituíram diversas formulações com resina poliéster, com vista à produção de compósitos pétreos. Os materiais estudados são provenientes do Anticlinal de Estremoz e do Maciço Calcário Estremenho. O projeto contou com a colaboração das empresas António Galego & Filhos – Mármores SA, A.L.A. de Almeida SA., Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, MVC - Mármores de Alcobaça Lda. e Marvisa, Mármores Alentejanos Lda. A gestão do projeto foi realizada pela Associação Cluster Portugal Mineral Resources em coordenação com Gabinete de Apoio aos Projetos da Universidade de Évora.

Palavras-chave: lamas carbonatadas, compósitos pétreos, subprodutos, mármore, calcário.

INTRODUÇÃO

As lamas carbonatadas (vulgarmente conhecidas por "natas"), resultam da extração e processamento industrial de mármores e/ou calcários explorados no Anticlinal de Estremoz e no Maciço Calcário Estremenho, respetivamente. Tratando-se de materiais homogéneos, basicamente monominerálicos, onde prevalece a calcite, confere a estes litotipos um elevado grau de pureza (> 95% $CaCO_3$).

Esta característica é fundamental para fazer do mármore e do calcário rochas com um elevado potencial para aplicação industrial pelo que se justifica o estudo da viabilidade técnica e económica de aplicação em novos produtos, acrescentando-lhe valor económico e contribuindo para a classificação dos rejeitados da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais, como subprodutos (Alves, 2015; Juvandes, 2002; Korneliussen et al., 2014; Ventura et al., 2009).

As características geológicas dos maciços calcários, caracterizados por uma elevada densidade de descontinuidades, associada aos elevados padrões de qualidade e homogeneidade exigidos na indústria das rochas ornamentais, leva invariavelmente a rendimentos produtivos, muito baixos, sendo que nas unidades extrativas oscila entre 10% e 30%, o que significa que 90% a 70% do material extraído é depositado diariamente em escombreiras e depósitos de lamas carbonatadas. Nas pedreiras, estes rejeitos são constituídos por fragmentos rochosos (95%) e lamas (5%).

Nas unidades de processamento, as operações que prevalecem são as de corte e tratamento de superfícies, onde se destaca o polimento de chapas e ladrilhos. Assim, nas serrações, produzem-se em média 30% de rejeitos nos processos ligados ao corte de blocos para produção de chapas e 30% noutras operações de corte e acabamento de superfícies, sendo que 58% são fragmentos rochosos e 42% lamas carbonatadas (“natas”), denotando-se uma diferença substancial para os rejeitos produzidos na extração.

Estes rejeitos, excetuando algumas utilizações pontuais, não têm aplicação industrial, sendo acumuladas em depósitos a céu aberto, resultando impactes ambientais, tais como a redução do coberto vegetal, a diminuição da atividade agrícola, a impermeabilização dos solos, a alteração das linhas de água com significativa redução da qualidade da mesma, a alteração dos ecossistemas, a diminuição da qualidade do ar, a redução do processo fotossintético das plantas e o impacte visual, este último evidente devido à cor branca dos depósitos em contraste com o ambiente circundante (Martins, 1997; Fig. 1).



Figura 1. Depósito de lamas carbonatas (“natas”) a céu aberto.

Atendendo às propriedades físicas e químicas das “natas”, a investigação demonstrou a viabilidade da aplicação técnica destas lamas associadas a resinas poliéster, apresentando forte capacidade de ligação com agregados, permitindo assim, a sua utilização como matéria-prima em argamassas ligantes na produção de compósitos pétreos de base mais sustentável.

MATERIAIS E MÉTODOS

O planeamento da investigação seguiu um cronograma, previamente estabelecido no arranque do projeto (Fig. 2), no qual se considerou a diversidade das lamas provenientes dos mármores e calcários. A amostragem decorreu na Zona dos Mármores, com recolha de amostras de lamas carbonatadas marmóreas nas empresas António Galego & Filhos – Mármores SA, referenciadas como M(AGF) e A.L.A. de Almeida SA., referenciada como M(A), e no Maciço Calcário Estremenho (Santarém) com recolha de amostras de lamas carbonatadas calcárias nas empresas Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, referenciadas como C(S), e MVC -

Mármores de Alcobaça Lda., referenciadas como C(MVC). Por sua vez, os agregados de mármores, doravante apenas referidos como "agregados", foram cedidos pela empresa Marvisa, Mármores Alentejanos Lda.

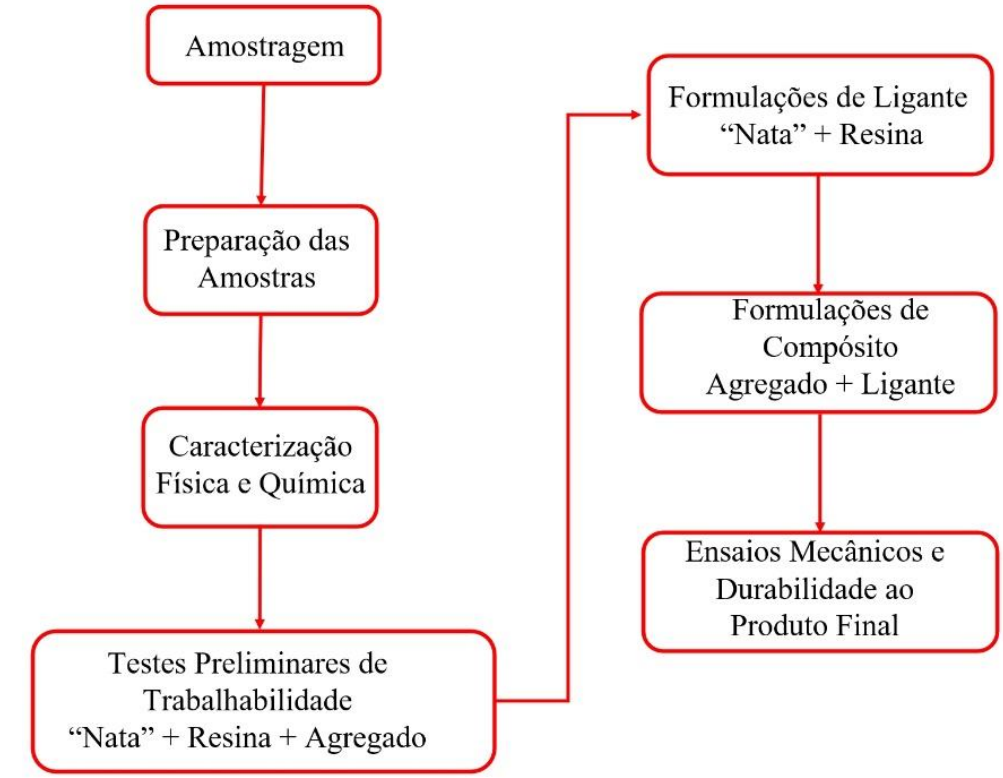


Fig. 2 - Fluxograma referente aos trabalhos realizados.

A campanha de amostragem teve em conta as empresas que melhor garantia davam em relação à integridade das "natas" recolhidas, isto é, sem possíveis contaminações, optando por amostras de um único litotipo, tendo sido obtidas nas descargas dos filtros-prensa (Fig. 3).



Fig. 3 – Amostragem da "nata" obtida do filtro-prensa da empresa Solancis SA.

Nos laboratórios do Departamento de Geociências da Universidade de Évora as amostras foram secas à temperatura ambiente, posteriormente desagregadas num moinho de maxilas Retsch – BB200 e de seguida ensacadas em lotes de 5 kg.

Seguiu-se uma fase do projeto dedicada à caracterização física e química das lamas carbonatadas, tendo sido submetidas ao grupo seguinte de ensaios:

1 - Distribuições granulométricas - Obtidas pela conjugação das análises granulométricas da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) > 0.063 mm e da fração composta pelas partículas de diâmetro esférico equivalente (d.e.e.) < 0.063 mm. A distribuição granulométrica da fração constituída pelas partículas de d.e.e. > 0.063 mm , foi determinada por peneiração, segundo a Norma E234-1969, especificação LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). As análises granulométricas da fração inferior a 0.063 mm foram efetuadas no Laboratório Ambiterra, da Universidade de Évora, tendo a distribuição dimensional das partículas sido determinada com recurso a um sedimentógrafo, da marca Micromeritics, modelo Sedigraph 5100, com fontes de raios-X (Afonso et al., 2023; Martins et al., 2023).

2 - Massas volúmicas - Foi utilizada a norma NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro (Afonso et al, 2023).

3 - Composições químicas - Foram determinadas no Laboratório Ambiterra, da Universidade de Évora a partir das frações < 0.063 µmm, tendo-se determinado a perda ao rubro e os teores dos seguintes elementos maiores: Mn, Ti, Ca, K, Si, Al, Mg, Na e Fe, expressos sob a forma de óxidos: MnO, TiO_2, CaO, K_2O, SiO_2, Al_2O_3, MgO, Na_2O e Fe_2O_3, através de Espectroscopia de Emissão Ótica com Fonte Indutiva de Plasma (ICP-OES) (Afonso et al., 2023).

4 - Composições mineralógicas - Determinadas no Laboratório HERCULES da Universidade de Évora através da difração de raios-X em pós (DRX), em partículas de diâmetro esférico equivalente inferior a 0.063 mm. Utilizou-se um difratômetro Bruker D8 Discover com tubo de radiação CuKα operado a 40 kV e 40 mA e um detetor linear Lynxeye, (Martins et al., 2022).

Como o objetivo principal do estudo é a aplicação da "nata" juntamente com uma resina, constituindo assim um ligante para a produção de compósitos pétreos, realizaram-se vários testes expeditos a diferentes formulações constituídas por diferentes contributos percentuais de "nata" e resina poliéster.

Das formulações com melhor fluidez e tempos de secagem menores, produziram-se provetes cúbicos com 5 cm de aresta para ensaios de resistência mecânica à compressão uniaxial com recurso a uma prensa de marca Pegasil, de acordo com a norma NP EN 1926:2008. Para a obtenção dos referidos cubos, as argamassas foram inicialmente depositadas em moldes metálicos de 15 cm de aresta, tendo-se escolhido três tempos de cura: 7, 14 e 28 dias.

Na fase seguinte e depois de selecionado o ligante ideal ("nata" + resina), procedeu-se à realização de formulações onde o ligante foi misturado com o agregado de mármore com três composições granulométricas distintas, que possuíam dimensões nominais compreendidas entre 4 mm e 6.3 mm (Bago de Arroz - BA), 8 mm e 14 mm (Brita 1 - B1) e 14 mm e 25 mm (Brita 2 - B2).

Após a determinação da composição ótima (Ligante – "nata" e resina poliéster + Agregado – BA, B1 e B2), foram produzidos provetes para ensaios mecânicos e físicos mais detalhados, tais como resistência à flexão, ao impacto, ensaio de gelo/degelo, ensaio ao escorregamento, à abrasão, entre outros, com vista à sua completa caracterização, tendo os tempos de cura sido idênticos aos das formulações do ligante.

RESULTADOS

a) Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica das partículas constituintes das "natas" revelou-se um parâmetro nuclear no sucesso do desempenho dos ligantes, quer na fase de estudo da composição ideal de "nata" e resina, quer nas formulações de ligante e agregado, estando as curvas granulométricas representadas na figura 4.

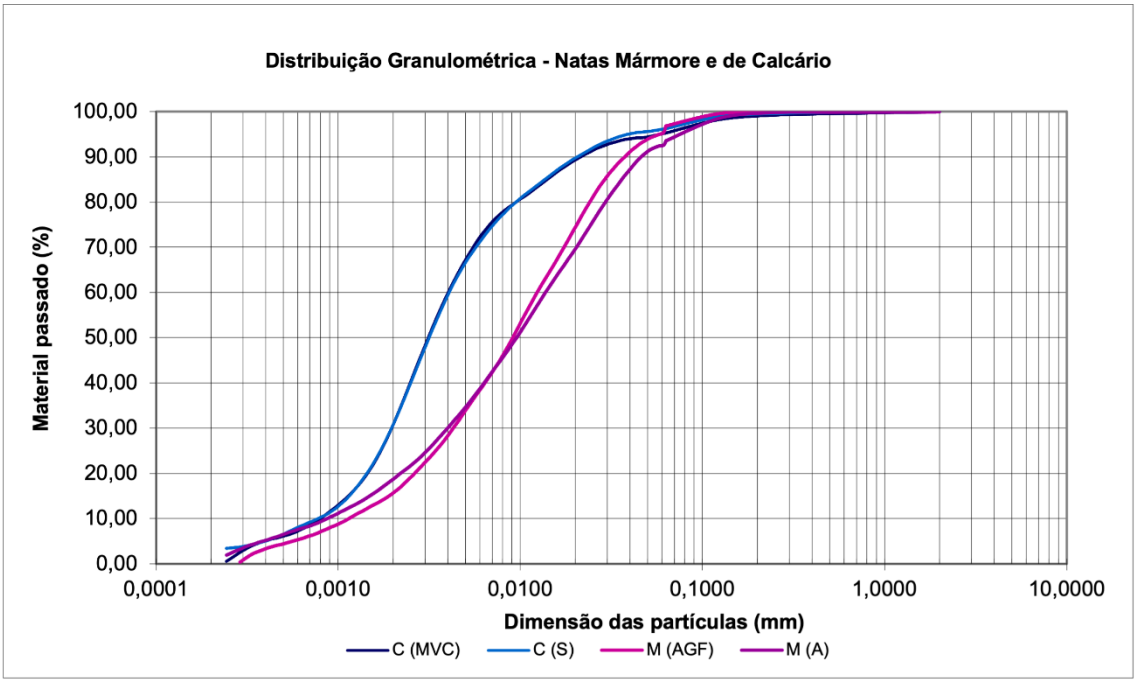


Fig. 4 – Distribuição granulométrica das "natas" de calcário e de mármore.

Tal como é observável nas curvas granulométricas patentes na figura 4, as "natas" de calcário [C(MVC) e C(S)] apresentam uma granulometria ligeiramente mais fina que as de mármore [M(AGF) e M(A)], não tendo sido ultrapassada a dimensão máxima de 2 mm.

b) Massas Volúmicas

As massas volúmicas determinadas pelo método do picnómetro revelaram os seguintes valores: M(A) – 2.537 g/cm^3; M(AGF) – 2.559 g/cm^3; C(S) – 2.490 g/cm^3; e C(MVC) – 2.493 g/ cm^3.

c) Análises Químicas

Não obstante a previsibilidade das composições químicas, obviamente associadas às composições mineralógicas e também ao conhecimento existente proveniente de trabalhos anteriores, foram realizadas as referidas análises especificamente às "natas", sujeitas ao atual estudo, sendo os resultados contantes da Tabela 1.

Pela análise da tabela, percebe-se que todas as "natas" são predominantemente carbonatadas com percentagens significativas de CaO e perda ao rubro. Os mármores M(AGF) e M(A) apresentam-se mais siliciosos que os calcários, com uma percentagem de SiO_2 (2.5 – 3.5%), naturalmente associada ao quartzo. O mármore M(AGF) revela-se ligeiramente dolomítico atendendo à presença de magnésio (MgO).

Tabela 1. Composição química e perda ao rubro (P.R.). Valores em percentagem (%).

AMOSTRAS	Al_2O_3	SiO_2	CaO	MgO	Fe_2O_3	K_2O	Na_2O	MnO	P. R.
C(MVC)	0.278	0.357	**52.580**	0.337	0.089	0.092	0.583	0.004	**43.50**
C(S)	0.276	0.297	**54.189**	0.301	0.089	0.143	0.620	0.004	**43.30**
M(AGF)	0.545	**2.549**	**45.504**	**3.156**	0.228	0.253	0.564	0.030	**42.97**
M(A)	0.716	**3.537**	**51.555**	0.829	0.274	0.362	0.670	0.008	**42.15**

d) Composição Mineralógica

A análise mineralógica por difração de raios-X (DRX), tal como seria espectável, revelou o carácter carbonatado das lamas, patente no pico bem definido da calcite ($CaCO_3$), principal mineral constituinte das rochas carbonatadas. Registaram-se ainda os picos referentes ao quartzo (SiO_2) e à dolomite $CaMg(CO_3)_2$ na amostra M(AGF) o que está em sintonia com o teor de MgO encontrado na análise química. A existência de um pico correspondente à ilite/moscovite, somente nos mármores é justificada por serem minerais comuns em rochas metamórficas, como é o caso do mármore.

e) Fluidez

A fluidez e trabalhabilidade são parâmetros importantes na medida que permitem dar uma ideia da facilidade de preenchimento dos vazios existentes entre os grãos de agregado, tendo-se realizado várias formulações com diferentes percentagens de "natas" e resina poliéster (Recapoli 2196 da Empresa Castro Composites), e posterior avaliação físico-mecânica. Contribuiu para a seleção da resina poliéster, Recapoli 2196 o facto de ser uma resina transparente, com filtro UV para evitar amarelecimento e ideal para vazamento sobre moldes de silicone na fabricação de peças decorativas de grande transparência, maquetes, protótipos, etc. (Martins, 2017; Odegard et al., 2011).

A medição da velocidade de fluência da mistura foi realizada em plano graduado e inclinado a 45°, medindo-se o tempo e a distância percorrida pela mistura até se verificar a sua paragem.

f) Resistência Mecânica à Compressão Uniaxial dos Provetes Constituídos por Ligante

Após a determinação das formulações com melhores desempenhos de fluidez, realizaram-se os ligantes que foram despejados em moldes de 15 cm de aresta e deixados a secar à temperatura ambiente, com tempos de cura de 7, 14 e 28 dias, para posterior obtenção de provetes cúbicos de 5 cm de aresta para ensaio de resistência à compressão uniaxial.

Esta fase foi crucial, na medida que o principal propósito desta investigação foi o de reduzir ao máximo a utilização da resina, aumentando os contributos da "nata" no ligante, sem comprometer a sua resistência, tendo-se obtidos os máximos valores no maior período de secagem (Afonso et al., 2023).

Na tabela 2 consta os diferentes ligantes, com as respetivas percentagens de "nata" e resina e os valores de Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.).

Tabela 2 - Resistência mecânica à compressão uniaxial aos 28 dias de cura.
ANM – "Nata" Mármore; ANC – "Nata" Calcário; Res. – Resina

Formulações	R (MPa)
ANM3 – 54%NM / 46%Res.	102.73
ANM4 – 50%NM / 50%Res.	98.35
ANM5 – 47%NM / 53%Res.	96.23
ANM6 – 52%NM / 48%Res.	106.37
ANC3 – 52%NC / 48%Res.	103.20
ANC4 – 50%NC / 50%Res.	102.12
ANC5 – 47%NC / 53%Res.	96.04

As formulações com melhores resultados foram as que possuíram as proporções de 52%/48%, tendo a formulação ANM6 (52%NM/48% Res) revelado o melhor desempenho. Assim, as formulações ANM6 e ANC3 foram selecionadas para a fase seguinte, de produção de protótipos de compósito com os agregados.

FORMULAÇÃO DE COMPÓSITOS PÉTREOS COM LIGANTE E AGREGADO

Tendo-se determinado quais os ligantes com melhor desempenho, evoluiu-se para a realização de diferentes compósitos, com a mistura do ligante com o agregado marmóreo, constituído por três frações granulométricas: Bago de Arroz (BA), Brita 1 (B1) e Brita 2 (B2) .

Para a determinação do contributo de cada fração na parcela "agregado" e a percentagem no compósito, também se realizaram ensaios a pequena escala com vista à determinação da trabalhabilidade do agregado, na mistura.

Após vários testes com diferentes percentagens de Agregado e Ligante, coincidentemente, as proporções ideais, foram respetivamente 52%/48%.

Assim, elaboraram-se 8 misturas, tendo sido 4 com ligante calcário ("nata" calcária + poliéster); 4 com ligante marmóreo ("nata" de mármore + poliéster), tal como é observável na tabela 3.

Tabela 3 – Formulações de Agregados (52%) / Ligante (48%) e os contributos percentuais individuais de cada um dos componentes. BA – Bago de Arroz; B1 – Brita 1; B2 – Brita 2; NC – Nata Calcária; NM – Nata Marmórea.

Formulações	**Agregados (52%)**			**Ligantes (48%)**		
	BA	**B1**	**B2**	**NC**	**NM**	**Resina**
F1	30%	30%	40%	52%		48%
F2	20%	20%	60%	52%		48%
F3	35%	15%	50%	52%		48%
F4	40%	40%	20%	52%		48%
F5	30%	30%	40%		52%	48%
F6	20%	20%	60%		52%	48%
F7	35%	15%	50%		52%	48%
F8	40%	40%	20%		52%	48%

Produziram-se de novo cubos com 15 cm de aresta (Fig. 5), em moldes metálicos para posterior corte de provetes cúbicos de 5 cm de aresta (Fig. 6) para ensaio de resistência mecânica à compressão (Tabela 4).



Figura 5 – Vibração do molde metálico preenchido com o compósito, para a remoção de bolhas de ar.

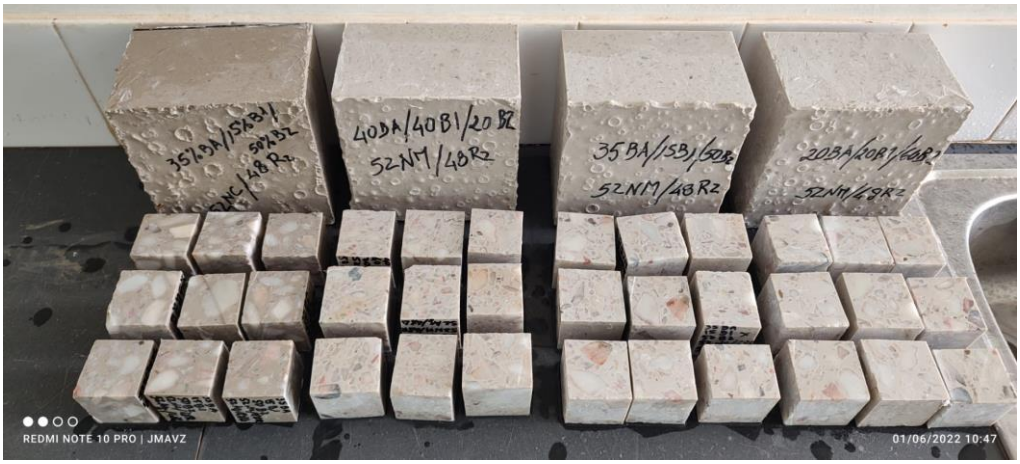


Figura 6 – Provetes cúbicos obtidos a partir dos blocos executados nos moldes.

Tabela 4 – Resistência Mecânica à Compressão (R.M.C.) das oito formulações aos 28 dias de cura.

Formulações	**R.M.C. (MPa)**
F1	73.30
F2	69.06
F3	61.11
F4	**91.96**
F5	52.26
F6	76.33
F7	81.20
F8	**88.19**

Da análise da tabela anterior conclui-se que as formulações com melhores resultados no ensaio de resistência mecânica à compressão são:

F4: 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata Calcária + 48% Resina)

F8: 52% Agregados (40%BA / 40%B1 / 20%B2) + 48% Ligante (52% Nata Marmórea + 48% Resina),

A investigação prosseguiu com a preparação das formulações selecionadas em moldes paralelepipédicos de maiores dimensões (55 cm x 15 cm x 15 cm) (Fig. 7) para a obtenção de novos provetes para mais ensaios de caracterização e testes de polimento em contexto industrial.



Figura 7 – Formulações em moldes paralelepipédicos.

Terminado o tempo de cura, os provetes foram cortados de acordo com as dimensões requeridas para os ensaios a realizar posteriormente (cubos, paralelepípedos e chapas para polimento).

Na tabela 5 constam os resultados referentes à resistência mecânica à compressão, à flexão, massa volúmica aparente e porosidade aberta, absorção de água à pressão atmosférica e absorção de água por capilaridade.

Tabela 5 – Ensaios de caracterização do protótipo de compósito.

Ensaio	**Agregado + Ligante**	
	NM	**NC**
Resistência Mecânica à Compressão (MPa)	88.19	91.96
Resistência Mecânica à Flexão (MPa)	15.49	13.49
Vol. Poros Abertos (ml)	0.224	0.214
Vol. Aparente (ml)	117.01	104.59
Massa volúmica aparente (g/m³)	2.279	2.263
Porosidade aberta (%)	0.191	0.203
Absorção de água à pressão atmosférica (%)	0.2	0.1
Absorção de água por capilaridade (%)	0.088	0.062

NM – Formulação com ligante de Nata Marmórea;
NC – Formulação com ligante de Nata Calcária.

Tendo-se obtido resultados bastante promissores, submeteram-se os blocos a um processamento industrial, tendo a empresa António Galego & Filhos – Mármores S.A., se associado à investigação. Assim, nas suas instalações, os blocos foram cortados em placas de 2 cm de espessura e posteriormente polidas na linha de polimento de ladrilho (Fig. 8).

O resultado revelou superfícies homogeneamente polidas e com um padrão estético aceitável. Do ponto de vista cromático notou-se uma ligeira diferença entre as placas com ligante que incorporou "nata" de mármore, das placas que incorporaram ligante com "nata" de calcário, tendo esta última apresentado uma matriz de cor bege, mais escura. De facto, as placas de compósito que incorporaram "nata" de mármore, revelaram um padrão mais claro e esbranquiçado (Fig. 8).



Figura 8 – Processamento dos compósitos na Empresa António Galego & Filhos, Lda.

CONCLUSÕES

A investigação desenvolvida durante o Projeto Calcinata conseguiu provar que as lamas carbonatas ("natas") que atualmente são um resíduo proveniente da indústria extrativa e transformadora de rochas ornamentais carbonatadas, possuem características físicas e químicas que as tornam possíveis matérias-primas na produção de compósitos pétreos.

De destacar os seguintes aspetos:

- Análise granulométrica semelhante entre as amostras de natureza calcária e marmórea e entre as "natas" recolhidas nas diferentes unidades de transformação;

- Composição mineralógica das lamas marcadamente carbonatadas, com picos na DRX, bem definidos na calcite;

- Composição química, revela percentagens significativas de CaO na perda ao rubro, corroborando a composição mineralógica;

- A proporção 52% de lama carbonatada e 48% de resina, revelou na formulação com a lama carbonatada de mármore uma resistência mecânica à compressão de 3 MPa superior à do calcário;

- A possibilidade de substituição de resinas epoxídicas pelas resinas poliéster revela-se bastante vantajosa economicamente, pelo facto destas, serem quatro vezes mais económicas que as resinas epoxídicas;

- Os resultados obtidos, nos ensaios de resistência à compressão e flexão são promissores, devendo ser analisados à escala laboratorial, uma vez que apenas foi utilizado um misturador mecânico ligeiro de baixa capacidade para se proceder à homogeneização das formulações e um sistema vibratório para eliminação de bolhas de ar.

- A execução em contexto industrial com utilização de um misturador adequado e com câmara de vácuo, assegurará certamente um produto mais homogéneo, de maior densidade e menos defeitos estruturais, permitindo, seguramente, valores de resistência à compressão e flexão, superiores;

- Comparando a R.M.C. (F4 = 91.96 Mpa e F8 = 88.19 Mpa) com os valores de algumas rochas ornamentais, conclui-se que se encontram dentro do intervalo de valores para a Pedra Natural, tal como se demonstra no exemplos apresentados (Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas):

Calcários: Pedra de Ançã (23 MPa) – Banco de Baixo (167 MPa);

Mármores: Rosa Venado (70 MPa) – Branco Venado (102 MPa);

Granitos: Amarelo Vila Real (70 MPa) – Cinzento Alpalhão (253 MPa);

- Comparando a R.M.F. (F4 = 13,49 MPa e F8 = 15,49 MPa) com valores de algumas rochas ornamentais (Catálogo de Rochas Ornamentais Portuguesas):

Calcários: Olho de Sapo (Arrimal) (9 MPa) – Branco do Mar (31 MPa);

Mármores: Rosa (15 MPa) – Creme Venado (29 MPa);

Granitos: Amarelo Figueira (6 MPa) – Cinzento Azulália (35 MPa);

- Comparando a absorção de água à pressão atmosférica (F8: 0.2%; F4: 0.1%) com alguns litotipos (https://www.primeirapedra.com/stones/ acesso em 30 de junho de 2024):

Calcários (0.2% - 9.6%);

Granitos (0.2% - 1.05%);

Mármores (0.1%);

- A porosidade aberta dos dois compósitos apresenta valores aproximadamente de 0.2%, equivalente às porosidades abertas que se observam no mármore e que são inferiores às dos granitos (0.4%, 0.7%) e às dos calcários (0.4%, > 1%) segundo o Portal das Rochas Ornamentais Portuguesas, LNEG (https://geoportal.lneg.pt/pt/bds/rop/ acesso em 30 de junho de 2024);

- O corte e polimento de placas revelou um material homogéneo, não obstante a mistura manual com recurso a um misturador ligeiro e um polimento de boa qualidade conferindo-lhe características próprias para comercialização;

- Considerações finais:

É possível a utilização de lamas carbonatadas em compósitos conferindo-lhe valor económico e possibilitando a sua classificação como subproduto e não como resíduo.

A utilização em compósitos pétreos de agregados provenientes da fragmentação e rolagem de blocos sem valor comercial como ornamental, afigura-se como uma possibilidade de aproveitamento neste tipo de produto.

A utilização de resina poliéster em compósitos pétreos revelou-se promissora, com vantagens económicas consideráveis.

Redução dos impactes ambientais provocados pela acumulação a céu aberto de rejeitos da indústria extrativa e transformador de rochas ornamentais carbonatadas.

AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto "CALCINATA – Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármores e calcários)" com a referência ALT20-03-0247-FEDER-072239. Projeto cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) enquadrado no ALENTEJO 2020 (Programa Operacional Regional do Alentejo).

Os autores agradecem especialmente à Associação Cluster Portugal Mineral Resources, cogestora do projeto e ao Gabinete de Apoio aos Projectos da Universidade de Évora.

Vera Pires agradece ao Contrato Programa entre FCT e a Universidade de Évora no âmbito do concurso estímulo ao emprego científico institucional 2018, à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) no âmbito dos projetos UIDB/04449/2020 e UIDP/04449/2020—através do laboratório HERCULES.

Um especial agradecimento às empresas António Galego & Filhos – Mármores SA, A.L.A. de Almeida SA., Solancis - Sociedade Exploradora de Pedreiras SA, MVC - Mármores de Alcobaça Lda. e Marvisa, Mármores Alentejanos Lda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Afonso, P., Azzalini, A., Lopes, L., Faria, P., Mourão, P., Martins, R., Ribeiro, V. 2023. Escombreiras e depósitos de lamas provenientes da indústria de rochas ornamentais carbonatadas - um caso de estudo de aplicação de "natas" na produção de ligantes à base de resina para a produção de compósitos pétreos; Atas do 18º Congresso Nacional de Geotecnia (18CNG) Geotecnia e Alterações Climáticas, Évora,14 a 17 de maio de 2023; ISBN: 978-989-54038-9-9.

Alves, T. 2015. Formulação de Pastas Cerâmicas a partir de Matérias-Primas Argilosas dos Concelhos de Vila Viçosa e Redondo para a Produção de Olaria Tradicional. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Geociências. Universidade de Évora. 259 p.

Comité Europeu de Normalização. CEN/TC 246 – Natural Stones. https://standards.cen.eu/ consulta em 30 de junho de 2024

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1097-7 2002 - Determinação da massa volúmica do filler – Método do Picnómetro

Instituto Português da Qualidade. NP EN 12372_2008 - Determinação de resistência à flexão por carga central

Instituto Português da Qualidade. NP EN 13755_2008 - Determinação da absorção de água à pressão atmosférica

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1925_2000 - Coeficiente de absorção por capilaridade

Instituto Português da Qualidade. NP EN 1926_2008 - Determinação de resistência à compressão uniaxial

Juvandes, L.F.P. 2002. Materiais Compósitos Reforçados com Fibras, FRP. Ciência dos Materiais, Licenciatura em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, pp. 76.

Korneliussen, A.; Lopes, L.; Martins, R. 2014. Estremoz Marbles, Portugal – a potential resource for high whiteness industrial applications; V Global Stone Congress (22–25 October 2014), Antalya, Türkiye.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil. NP E234-1969 – Análise granulométrica de filler

Martins, Dias da Silva K. A. 2017. Análise do envelhecimento acelerado de polímeros. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro.

Martins, R., Faria, P., Lopes, L., Pires, V., Mourão, P., Azzalini, A. 2021. Relatório Nº 01/2021 Entregável Nº E1.1 – Relatório Preliminar. http://hdl.handle.net/10174/31722.

Martins, R., Faria, P., Lopes, L., Pires, V., Mourão, P., Azzalini, A. 2022. Relatório Nº 01/2022 Entregável Nº E2.1 – Relatório sobre as especificações técnicas da nata e da argamassa. http://hdl.handle.net/10174/33766.

Martins, R., Lopes, L., Faria, P., Pires, V., Afonso, P., Mourão, Paulo., Velez, J. 2022a. Relatório Nº 02/2022 Entregável Nº E3.1 – Relatório sobre construção dos protótipos necessários para a validação dos resultados da solução estrutural. Ajuste de detalhe nas especificações dos protótipos. http://hdl.handle.net/10174/33701.

Martins, R., Lopes, L., Faria, P., Pires, V., Afonso, P., Mourão, Paulo., Velez, J. 2023. Produção de argamassa à base de cal a partir da calcinação de lamas carbonatadas provenientes da indústria das rochas ornamentais (mármores e calcários) RELATÓRIO Nº 01/2023 Entregável Nº E7.6 – Relatório Final. http://hdl.handle.net/10174/36916.

Martins, R., V. 1997. Aplicações Industriais de "Natas" Resultantes da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais Carbonatadas. Tese de Mestrado. Universidade de Aveiro, pp. 150.

Odegard, G.M., Bandyopadhyay, A., 2011. Physical aging of epoxy polymers and their composites. J. Polym. Sci. Part B Polym. Phys. https://doi.org/10.1002/polb.22384

Ventura, A., Martins, R., Andrade, G., Gomes, C., Lopes, L. 2009. Incorporação de lamas de serragem e polimento de rochas carbonatadas em pastas para produção de cerâmica monoporosa; Kéramica, Revista da Indústria Cerâmica Portuguesa, APICER, pp. 6-15.

ARTIGO Nº22478

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DOS SOLOS DA COMUNIDADE DE GOANE 1, DISTRITO DE MOAMBA, PARA UTILIZAÇÃO COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

Tárcia A. Novela[1(*)], Isabel R. Duarte[2], António B. Pinho[3]
[1] Universidade de Évora, ECT, Évora, Portugal,
[2] Universidade de Évora, ECT, Dep. Geociências, Évora, Portugal
[3] Universidade de Évora, ECT, Dep. Geociências, Évora, Portugal
(*)*Email:* tarcianovela@gmail.com

RESUMO

A caracterização geotécnica de solos, tanto em laboratório quanto *in situ*, é um procedimento fundamental para avaliar sua viabilidade como material de construção sustentável. Isso é especialmente relevante em áreas como Goane 1, onde as comunidades ainda dependem do conhecimento tradicional para a construção de habitações. Este estudo tem como objetivo analisar o comportamento geotécnico de diferentes tipos de solos, com e sem reforço, visando aprimorar as técnicas locais de construção e torná-las mais resilientes frente aos desafios impostos pelas alterações climáticas, às quais Moçambique é particularmente vulnerável. A pesquisa incluiu ensaios de campo, amostragem e testes laboratoriais nos solos.

***Palavras-chave**:* alterações climáticas, construção sustentável, geotecnia, solos.

INTRODUÇÃO

A aplicação do solo a nível mundial como material de construção abrange cerca de 60% da população global e inclui mais de 10% dos monumentos reconhecidos como Património Mundial (Wachilala, 2018). Em Moçambique, a construção com solo é uma tradição cultural profundamente enraizada que perdura há séculos (Ribeiro, 2015). Contudo, o estudo dessas construções ainda é limitado devido à percepção negativa que as associa a estruturas frágeis.

Neste estudo, analisa-se o comportamento geotécnico de diferentes tipos de solos, com e sem reforço, na Comunidade de Goane1, Distrito de Moamba, em Moçambique. A caracterização geotécnica identificou dois tipos predominantes de solos: areias argilosas e areias siltosas. Os resultados revelaram que as areias argilosas são mais adequadas do que as areias siltosas para utilização nas construções sustentáveis em terra. Embora o pau-a-pique seja a técnica predominante na região, neste estudo propõe-se a produção experimental de adobes com areias argilosas, com e sem reforço, utilizando aditivos diversos. A introdução de capim como reforço, destacou-se por aumentar significativamente, a resistência e durabilidade dos adobes, aumentando as alternativas de construção sustentável para as comunidades.

LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A comunidade de Goane 1, que constitui a área de estudo, está localizada no Distrito de Moamba, na região Sul de Moçambique, na África Austral (Figura 1). O Distrito de Moamba situa-se a Norte da Província de Maputo, a 75 Km da capital do país, Cidade de Maputo, e está posicionado entre os paralelos 24º 27’ e 25º 59’ Sul e meridianos 31º 59’ e 32º 37’ Este.

Geograficamente, este Distrito é limitado a Norte pelo Rio Massiontonto, que o separa do Distrito de Magude, a Sul pelos Distritos de Boane e Namaacha, a Este pelos Distritos da Manhiça e Marracuene e a Oeste por uma linha de fronteira artificial com a Província Sul-Africana do Transvaal (MAE, 2014).

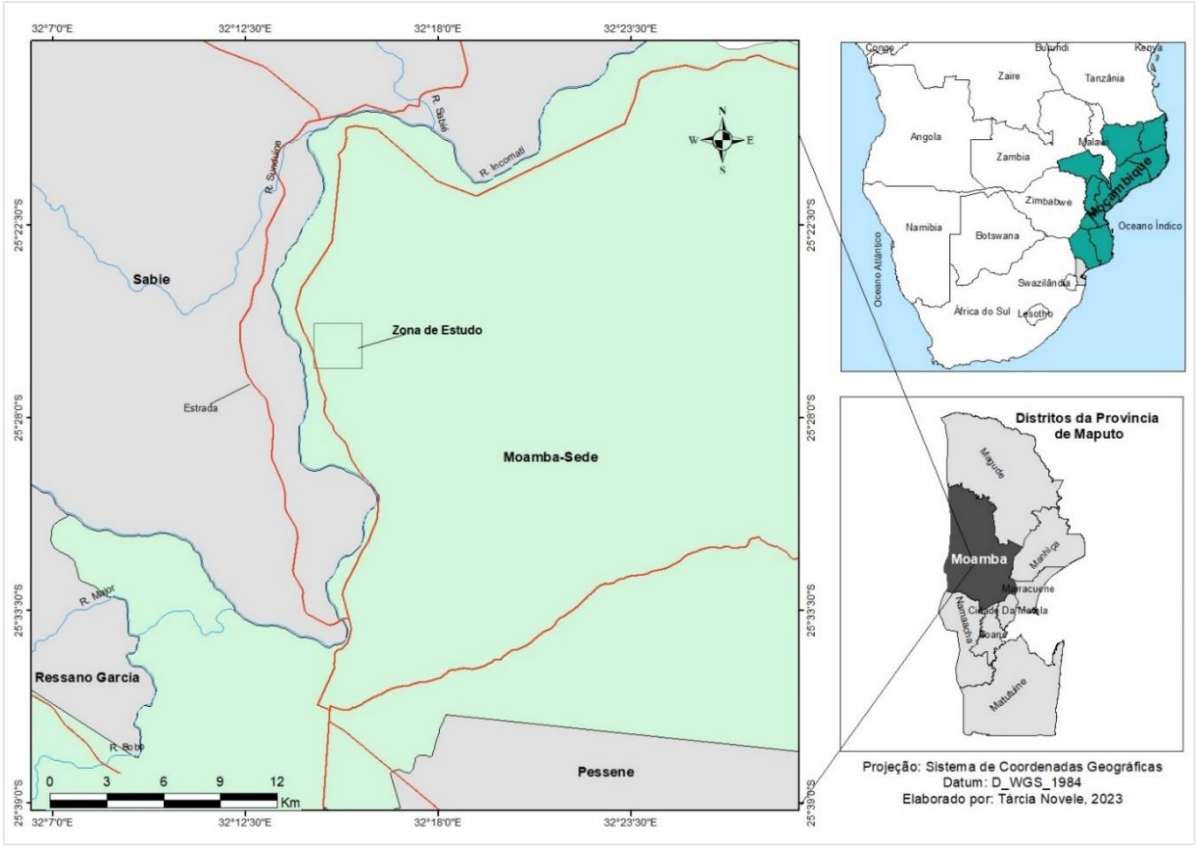


Figura 1. Localização Geográfica da Comunidade de Goane 1, área de estudo.

A área de estudo apresenta um clima caracterizado por duas estações distintas: uma estação quente e chuvosa que ocorre de outubro a março, e uma estação mais fresca e seca, entre abril e setembro. A região é atravessada pelo rio Incomáti, cuja bacia hidrográfica é de grande importância e tem origem no planalto de Transvaal, na África do Sul (MAE, 2014).

Do ponto de vista geológico (Figura 2), a área está inserida em formações resultantes da sedimentação do Karoo, que originou bacias com morfologias irregulares. Este processo teve início na Swazilândia e no Lowveld do Transvaal, associado à fragmentação da antiga Gondwanalândia (MAE, 2014). O termo "Karoo" refere-se a uma região da África do Sul onde esse sistema geológico é bem definido, com depósitos fossilíferos relevantes. Em Moçambique, essas bacias ocorrem de forma mais descontínua.

A nível geomorfológico, predominam extensas planícies com altitudes geralmente inferiores a 100 metros, exceto pela elevação do monte Corumana, que atinge 275 metros (INE, 2019). Os solos da região têm origem aluvionar e basáltica, com textura média e espessura variável. Os tipos mais representativos incluem solos vermelhos, pedocálicos, pardos, hidromórficos e aluvionares (Ribeiro, 2015).

Os solos vermelhos possuem uma camada superficial castanho-avermelhada, com variações de cor mais escura. Já os solos pedocálicos, terras negras associadas a áreas acidentadas, são marcantes nos depósitos de argilas negras de Moamba, localizados sobre basaltos terciários. Os

solos negros são ricos em argila, apresentam fissuras quando secos e estão associados aos solos vermelhos desenvolvidos sobre rochas basálticas. Em geral, esses solos possuem textura argilosa densa, cor castanho-avermelhada clara, presença de concreções calcárias e pH alcalino em torno de 8,3 (Ribeiro, 2015).

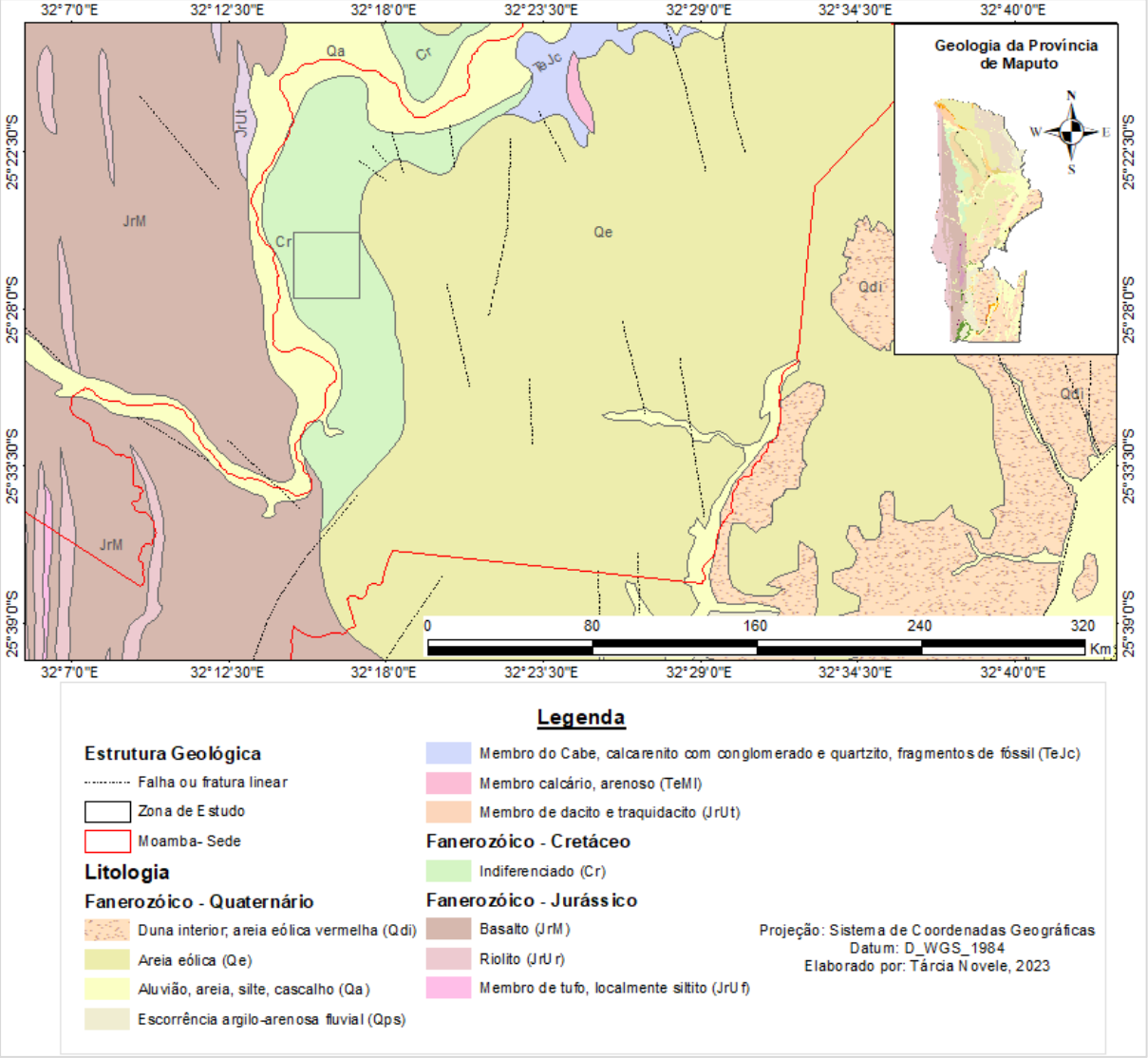


Figura 2. Mapa geológico da zona de estudo, elaborado a partir dos dados da CENACARTA.

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do estudo foi estruturado em quatro etapas principais, nomeadamente: (1) Levantamento bibliográfico; (2) Trabalho de campo e ensaios expeditos *in situ*; (3) Realização dos ensaios laboratoriais e (4) Análise e interpretação dos resultados. Na fase de levantamento bibliográfico, foram exploradas técnicas tanto convencionais como inovadoras, bem como características dos solos da Província de Maputo, métodos de preparação das amostras, processos de compactação e técnicas de estabilização. A literatura consultada foi fundamental para orientar a escolha das zonas de estudo no terreno, a elaboração do guião de entrevista e a preparação do material necessário para a colheita de amostras, servindo como base para a condução da pesquisa.

TRABALHO DE CAMPO E ENSAIOS EXPEDITOS *IN SITU*

O trabalho de campo foi realizado com o objetivo de observar e mapear construções em terra, aplicar entrevistas semiestruturadas junto dos membros da comunidade, compreender as técnicas e os processos construtivos locais, conduzir ensaios expeditos *in situ* e proceder à colheitade amostras de solo para os ensaios necessários à caracterização geotécnica. Em colaboração com os membros da comunidade e sob orientação do Líder Comunitário (autoridade comunitária máxima), foram selecionados três locais estratégicos para a coleta das amostras de solo os P1, P2 e P3, distribuídos de forma a permitir a análise de possíveis variações nas propriedades do solo ao longo da área de estudo. A recolha das amostras decorreu em duas fases e apresentou desafios devido ao elevado grau de compacidade do solo, o que exigiu um esforço adicional para assegurar a representatividade das amostras recolhidas. Os ensaios expeditos realizados *in situ* (Figura 3) a partir dessas amostras forneceram informações essenciais preliminares sobre as características geotécnicas dos solos, fundamentais para avaliar a sua aptidão na construção sustentável em contextos rurais.

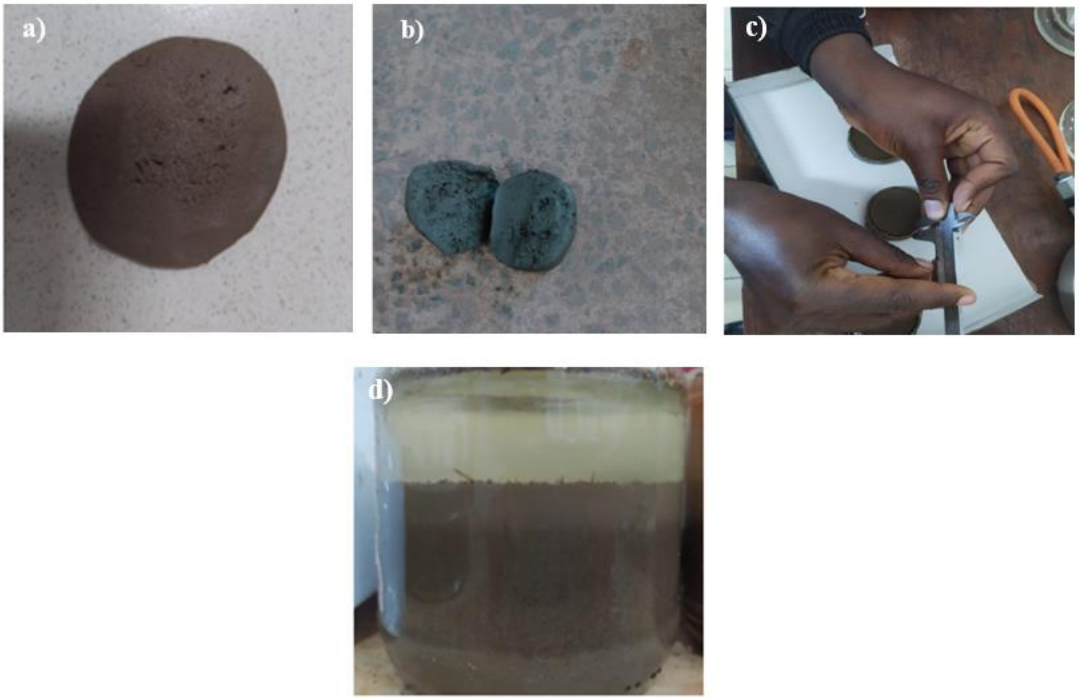


Figura 3. Realização dos ensaios expeditos *in situ*. a) Teste da queda da bola. b) Teste de brilho. c) Teste de retração. d) Teste de sedimentação de garrafa.

REALIZAÇÃO DE ENSAIOS LABORATORIAIS

Para além dos ensaios expeditos realizados *in situ*, como os testes táteis e visuais, teste da queda da bola, análise de brilho, retração e sedimentação, as amostras de solo foram preparadas para ensaios laboratoriais (Figura 4). Estes ensaios decorreram no Laboratório de Engenharia de Moçambique (LEM), na cidade de Maputo, com o objetivo de determinar as propriedades geotécnicas do solo e avaliar a sua aptidão como material para construção sustentável e resiliente. As amostras de solo foram preparadas de acordo com a especificação LNEC E 196-1966 e submetidas a diversos ensaios, incluindo: análise granulométrica, determinação da densidade das partículas sólidas, avaliação dos limites de consistência, ensaio de compactação Proctor e ensaio de expansibilidade. Estes ensaios seguiram, respectivamente, as normas técnicas NP 83-1965, NP 143-1969, E 197-1966, E 200-1967 e LNEC E 196-1966.

Com base nos resultados laboratoriais, foi adotada a norma ABNT NBR 16814:2020 para orientar o processo experimental de produção de adobes. O solo foi preparado com aditivos naturais como cinza, capim ou esterco, homogeneizado e moldado em blocos em formade paralelepípedo . Após um período de secagem ao sol de 24 dias, os blocos foram submetidos a ensaios de resistência à compressão, conforme a norma referida, a fim de avaliar a sua capacidade estrutural para uso como material de construção.



Figura 4. Realização dos ensaios de laboratório no LEM. a) Preparação das amostras para o ensaio. b) Secagem das amostras na estufa a uma temperatura de 110 ºC durante 24 horas. c) Imersão das amostras na água durante 24 horas. d) Pesagem das amostras após a lavagem e secagem na estufa. e) Série de peneiros utilizados para a peneiração das amostras de solo. f) Processo de separação do material retido nos peneiros para posterior pesagem.

ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Ensaios expeditos *in situ*

Os ensaios expeditos realizados *in situ* têm um papel essencial na análise do potencial dos solos locais para utilização como material de construção sustentável. Segundo Minke (2006), a execução destes ensaios representa uma etapa relevante na verificação da aptidão de um solo para determinada aplicação, uma vez que, os respectivos resultados permitem compreender, ainda que de forma preliminar, o seu comportamento físico e mecânico no local de ocorrência. Apesar dos desafios enfrentados durante o trabalho de campo, tais como, a localização remota da área de estudo, a dispersão das habitações nas comunidades selecionadas e as condições climáticas adversas que dificultaram o processo de amostragem e tornaram a logística mais exigente, foi possível realizar diversos ensaios expeditos no terreno. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 2. Resultados dos testes expeditos *in situ*.

ID	Cor	Cheiro	Brilho	Tato	Queda da bola	Observações
Amostra 1	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Áspero e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia fina e argila
Amostra 2	 Castanho escuro	Cheiro a húmus	Brilho nas superfícies	Áspero e pegajoso entre os dedos	Não se espalha	Solo com muita matéria orgânica, areia e argila
Amostra 3	 Vermelho	Terroso	Superfície sem brilho intenso	Muito Áspero e pouco pegajoso entre os dedos	Espalha-se com pouca desagregação	Solo granular

As análises táteis e visuais, complementadas por testes adicionais segundo a descrição na Tabela 1, permitiram identificar a ocorrência de solos arenosos avermelhados com silte, bem como solos areno-argilosos de tonalidade castanha. As amostras colhidas foram posteriormente submetidas ao ensaio de sedimentação (ensaio da garrafa), conforme a metodologia descrita em Wachilala(2018), e a ensaios de retração segundo os procedimentos estabelecidos na norma NZS 4298:1998. Estes ensaios evidenciaram variações relevantes tanto na composição textural como na taxa de retração das amostras. Os resultados obtidos a partir dos testes de sedimentação revelaram discrepâncias consideráveis nas proporções de areia, silte, argila e matéria orgânica entre as diferentes amostras analisadas (Figura 5). As amostras 1 e 2 apresentaram composições semelhantes, com teores de argila de 28 % e 25 %, respetivamente, e percentagens de areia de 54 % e 56 %. Já a amostra 3 demonstrou um perfil granulométrico significativamente distinto, com um teor de areia elevado, cerca de 83 %, seguido de aproximadamente 11 % de silte e apenas 6 % de argila. Esta diferença acentuada na composição da amostra 3 em relação às outras duas poderá ter implicações relevantes no seu desempenho mecânico, sobretudo em contextos de construção sustentável.

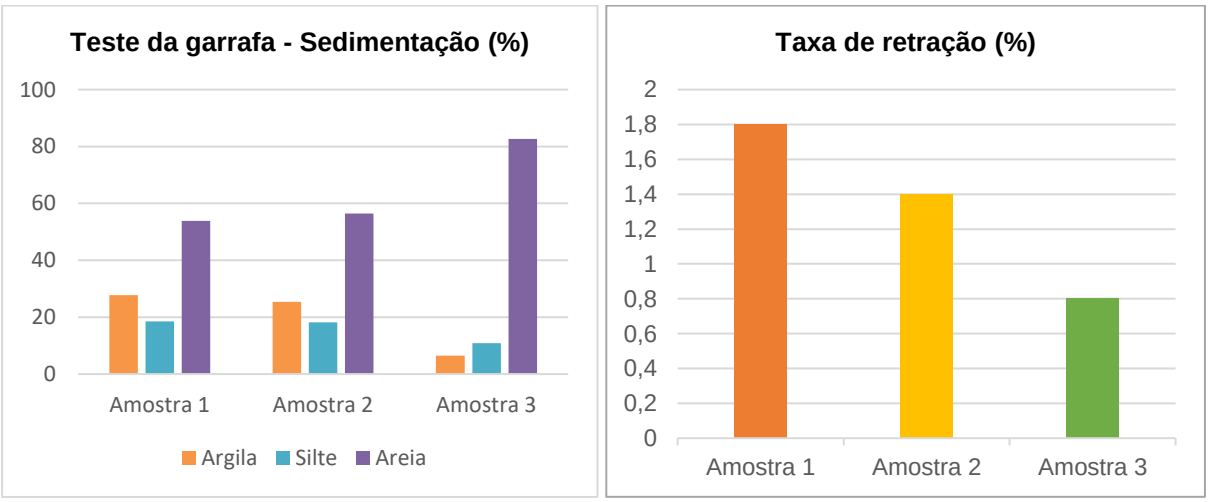


Figura 5. Resultados dos ensaios expeditos in situ: teste da garrafa aplicando a metodologia descrita em Wachilala, (2018) e ensaio de retração de acordo com a Norma NZS 4298: 1998.

Observa-se uma coerência entre os resultados obtidos nos ensaios de sedimentação e retração (Figura 5) e os dados provenientes dos testes complementares descritos na Tabela 1, nomeadamente cor, brilho, odor, textura ao tato, ensaio da queda da bola e análise visual. Os solos classificados como arenoargilosos, devido ao seu maior teor de argila, apresentaram taxas de retração mais elevadas (A1 – 1,8%; A2 – 1,4%) quando comparados aos solos arenosos avermelhados (A3 – 0,8%). Embora tenham sido observadas fissuras superficiais, os valores de retração permaneceram abaixo do limite de 3% em todas as amostras, o que, segundo os critérios estabelecidos pelas normas neozelandesas NZS 4298:1998 e NZS 4297:1998, indica a viabilidade do uso destes solos em técnicas construtivas em terra (Wachilala, 2018). No entanto, mesmo sendo tecnicamente adequados, solos com maior teor de argila requerem acompanhamento sistemático durante e após a construção, a fim de prevenir manifestações patológicas que possam comprometer o desempenho estrutural.

Ensaios de laboratório

Os ensaios laboratoriais tiveram como finalidade caracterizar as propriedades físicas e mecânicas dos solos amostrados. Para tal, foram realizados testes de análise granulométrica, determinação da densidade das partículas sólidas, identificação dos limites de consistência, avaliação do comportamento do solo sob compactação utilizando o método Proctor, bem como a análise da sua potencial expansibilidade.

Análise granulométrica

As amostras de solo, devidamente preparadas, foram submetidas à análise granulométrica por meio de peneiramento por via húmida e sedimentação, possibilitando a elaboração das curvas granulométricas ilustradas na Figura 3.2. Os resultados revelam que as amostras 1 e 2 apresentam distribuições granulométricas bastante semelhantes, com teores de frações finas (silte e argila) em torno de 60% e frações arenosas em torno de 40%. Por outro lado, a amostra 3 distingue-se pelas suas características marcadamente arenosas, contendo aproximadamente 70% de areia e cerca de 30% de material fino.

Com base no Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), as amostras 1 e 2 foram classificadas como areias argilosas ou misturas de areia e argila, com graduação deficiente (SC), ao passo que a amostra 3 foi classificada como areia siltosa ou mistura de areia e silte (SM). Essas classificações são determinantes para avaliar a aplicabilidade dos solos em técnicas de construção em terra, destacando-se a necessidade de um controlo rigoroso da humidade durante a execução das obras, dada a influência direta dessa variável na trabalhabilidade e no desempenho final do material.

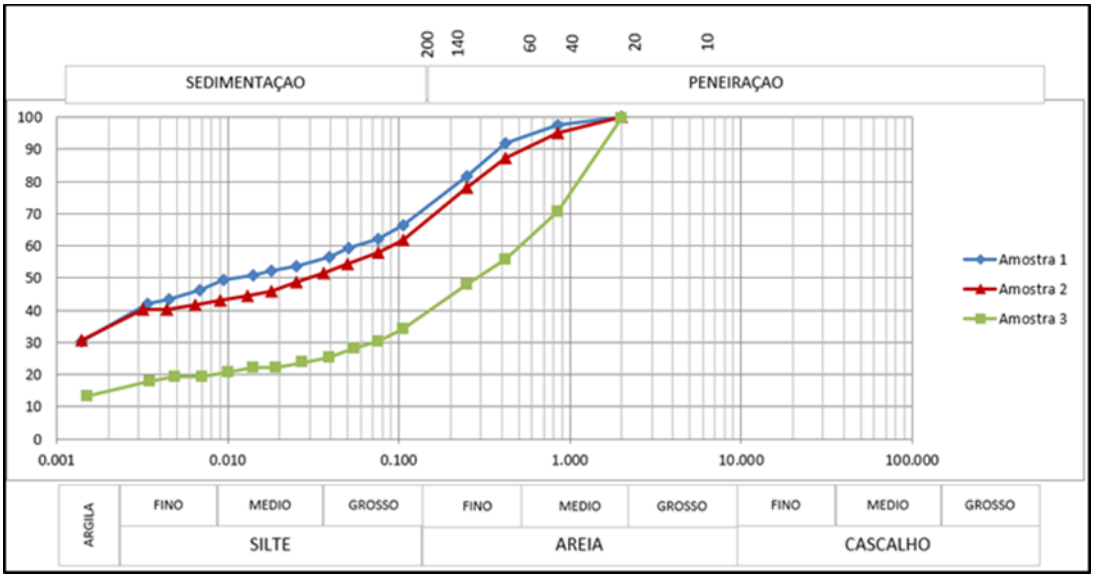


Figura 6: Distribuição granulométrica dos solos.

Limites de consistência

Os resultados dos ensaios de limites de consistência indicaram que a amostra 1 apresentou um limite de liquidez (LL) de 30% e um limite de plasticidade (LP) de 18%, enquanto a amostra 2 registou valores de LL de 23% e LP de 15%. Com base nesses dados, os respetivos índices de plasticidade (IP) foram de 11% e 8%, permitindo classificar ambas as amostras como solos de plasticidade média. Pelo contrário, a amostra 3 foi identificada como solo não plástico (NP), o que limita a sua aptidão para aplicações em construção em terra, já que a plasticidade desempenha um papel crucial na coesão e aderência do solo durante os processos de moldagem e compactação (Novele, 2023). A análise mais pormenorizada, utilizando a carta de plasticidade, revelou que as amostras 1 e 2 enquadram-se na classificação CL, correspondente a argilas com plasticidade baixa a média, materiais que tendem a apresentar boa resistência mecânica quando secos. A amostra 3, por sua vez, foi enquadrada na classe ML, típica de siltes inorgânicos ou areias muito finas com baixa plasticidade. Estes resultados reforçam a relevância de se compreender o comportamento plástico dos solos na escolha de técnicas de construção adequadas, bem como na previsão da durabilidade e desempenho estrutural das edificações ao longo do tempo.

Densidade de partículas

Os solos analisados apresentaram valores de densidade das partículas variando entre 2,50 e 2,62, sendo influenciados pela sua composição textural e mineralógica. As amostras classificadas como areias argilosas registaram os menores valores, sendo 2,52 para a amostra 1 e 2,50 para a amostra 2, enquanto a amostra composta por areia siltosa apresentou densidade mais elevada de 2,62. Essa diferença pode ser explicada pela maior proporção de partículas finas, como silte e argila, nas primeiras duas amostras, uma vez que essas partículas têm peso específico inferior ao dos grãos de areia, dominantes em solos mais arenosos. A composição mineralógica também influencia significativamente estes resultados. Minerais argilosos, cuja densidade varia geralmente entre 2,20 e 2,60, contrastam com minerais como quartzo (2,65) e feldspato (2,50–2,60), frequentemente presentes em solos arenosos (Novele, 2023). Esta diversidade mineralógica contribui para a variação observada entre os solos areno-argilosos

(SC) e os areno-siltosos (SM). Adicionalmente, a presença de matéria orgânica pode reduzir a densidade das partículas, como observado na amostra 2, que apresentou menor densidade associada a um conteúdo orgânico mais elevado. A compreensão da densidade das partículas é essencial para a caracterização geotécnica dos solos, pois afeta diretamente parâmetros como a resistência, a capacidade de suporte e o desempenho do solo durante processos de compactação, sendo determinante no planeamento de obras de construção que envolvam esses materiais.

Ensaio de compactação do tipo Proctor

A compactação é uma técnica essencial na estabilização de solos, consistindo na aplicação de energia através de métodos como impacto, vibração, compressão estática ou dinâmica, conforme descrito por Das (2018). À semelhança de outrosautores, tais como, Torgal *et al* (2009) e Wachilala *et al* (2018), que estudam a construção em terra, em particular a fabricação de adobes, esta investigação recorreu ao ensaio de compactação, do tipo Proctor Normal, para analisar o comportamento mecânico dos solos, relacionando o peso volúmico seco do solo com a variação do teor em água para determinada energia aplicada durante a compactação. A curva de compactação obtida (Figura 7) evidencia os valores obtidos para o teor em água ótimo para alcançar a baridade seca máxima das amostras: 17,2% com 1,77 g/cm³ para a amostra 1 e 11,6% com 1,87 g/cm³ para a amostra 3. Estes dados demonstram uma relação inversa entre o teor em água e a densidade seca máxima, reforçando os resultados de estudos anteriores realizados por Torgal *et al* (2009), conforme citado por Wachilala *et al* (2018), os quais identificam uma faixa ideal de humidade entre 9% e 17% para a estabilização de solos destinados à construção em terra.

O enquadramento dos solos estudados nesses intervalos ótimos de humidade evidencia o seu potencial para a edificação de habitações em terra na comunidade de Goane 1, assegurando as condições necessárias de resistência e estabilidade. No entanto, é fundamental reconhecer que diferentes tipos de solo exigem volumes específicos de água para se alcançar uma compactação eficaz (Novele *et al.*, 2024). A consideração dessas particularidades, no local do fabrico dos adobes, é determinante para o sucesso e durabilidade das construções em terra.

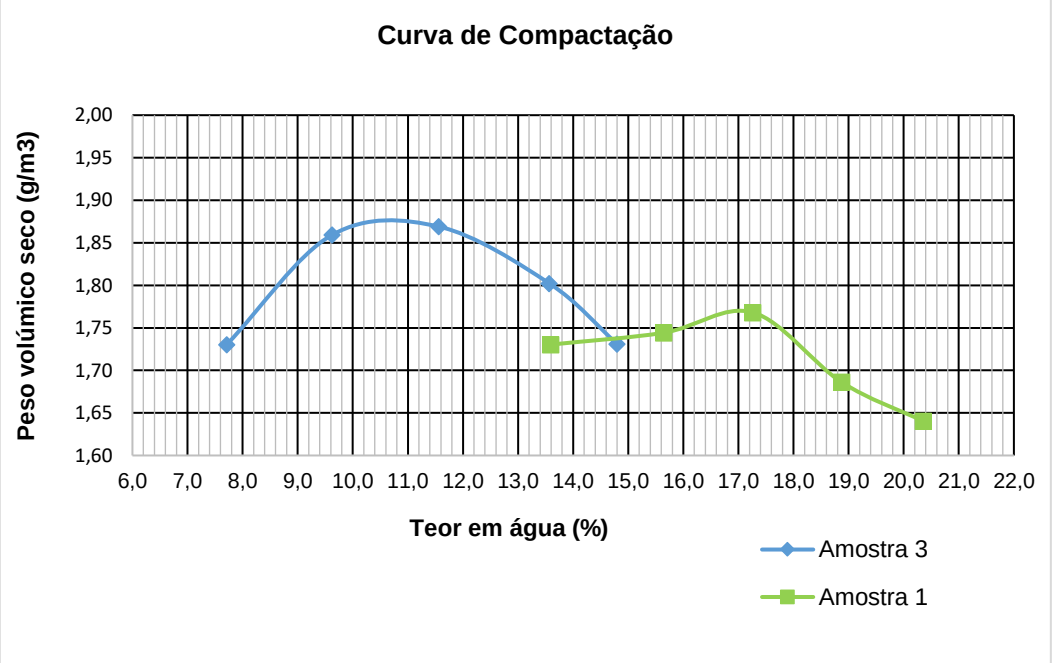


Figura 7: Resultado do ensaio de compactação.

Ensaio de expansibilidade

Observou-se que o solo areno-siltoso correspondente à amostra 3 apresenta um índice de expansibilidade bastante baixo, em torno de 0,6%, o que o distingue claramente dos solos areno-argilosos, das amostras 1 e 2, cujos valores são significativamente mais elevados: 8,5% e 7,8%, respetivamente. Esses resultados indicam que o solo da amostra 3 possui maior estabilidade dimensional, sendo menos propenso a variações de volume resultantes da absorção de água ou das flutuações na humidade. Por outro lado, os solos das amostras 1 e 2, com maiores taxas de expansibilidade, tendem a responder mais sensivelmente às alterações climáticas ou à variação no teor de água, o que pode afetar sua estabilidade. A avaliação da expansibilidade é uma etapa essencial na análise da aptidão dos solos para uso em construções, sobretudo em contextos com forte oscilação climática. A baixa propensão à variação volumétrica da amostra 3 indica um desempenho mais robusto frente aos processos de expansão e retração, o que favorece a durabilidade e segurança das estruturas edificadas com esse material. Ainda assim, importa destacar que, apesar das maiores taxas de expansibilidade verificadas nas amostras 1 e 2, estes valores não representam impedimento à sua aplicação em construções sustentáveis, conforme apontado por Wachilala *et al* (2018).

Produção experimental de adobes

A produção dos blocos de adobe foi realizadade forma experimental, dado que, durante as visitas de campo não foram identificadas construções locais utilizando essa técnica. Os ensaios realizados nas amostras colhidas evidenciaram o potencial dos solos para o fabrico de adobes, especialmente os solos com composição areno-argilosa, que apresentaram proporções adequadas de areia (59,42%), silte (13,15%) e argila (27,43%), valores que estão em conformidade com os parâmetros indicados por Inácio (2016). A produção experimental de adobes contemplou tanto os solos areno-argilosos quanto os areno-siltosos, com o objetivo de avaliar o desempenho de ambos na moldagem de blocos de adobe. O processo foi conduzido de forma artesanal (Figura 8), mas com a inclusão de aditivos como capim, cinza e esterco, em diferentes combinações, de acordo com as propriedades identificadas em cada tipo de solo.



Figura 8. Processo de produção de adobes: a) Mistura do material; b) Adobes expostos ao sol para secar.

O primeiro bloco ensaiado, composto unicamente por areia argilosa, apresentou fissuras de retração após 24 horas de secagem natural. Essas fissuras foram atribuídas ao elevado teor de água na mistura, potencializado pela exposição direta à radiação solar. A insuficiente compactação também pode ter contribuído para a formação de fendas, comprometendo a

integridade estrutural do bloco e inviabilizando a realização de ensaios de resistência. A compactação adequada é essencial para garantir a distribuição homogénea das partículas do solo, reduzindo os vazios e conferindo maior resistência ao material.

Com base na análise do primeiro exemplar, foi produzido um segundo bloco com adição de capim ao solo areno-argiloso, visando o reforço do adobe. Conforme salientado por Inácio (2016), a inclusão de fibras vegetais ou sintéticas é uma técnica eficaz para melhorar o desempenho estrutural dos blocos de adobe, sobretudo no que diz respeito à resistência à tração. Essas fibras, como palha, capim ou até mesmo fibras de vidro, contribuem para uma maior flexibilidade na escolha do método de reforço, permitindo adaptações específicas às propriedades de cada solo.

O adobe reforçado com capim apresentou uma resistência à compressão uniaxial de 2,05 MPa (Tabela 2), valor próximo ao limite mínimo estabelecido pela NBR 15.812-1:2010, que recomenda 3,5 MPa para elementos de adobe com furos verticais. Curiosamente, os blocos produzidos com solos areno-siltosos, mesmo sem reforço, mostraram desempenho superior em comparação com aqueles que incorporaram fibras. As combinações de areia siltosa com argila e de areia siltosa com esterco apresentaram resistência próxima de 0,34 MPa. Notou-se, entretanto, que a adição de capim aos solos areno-siltosos provocou uma redução na resistência final dos blocos. Essa diminuição pode estar associada a um nível de compactação insuficiente durante o processo de moldagem, o que destaca a importância do controlo rigoroso dessa etapa na produção de adobes.

Tabela 2: Resultados dos ensaios de resistência à compressão uniaxial, realizados conforme NBR 15.812-1:2010.

Provete	Data de fabrico	Data de ensaio	Idade (dias)	Peso (kg)	Secção (10 mm^2)	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)
1 – Areia argilosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4,64	29	59,5	2,05
2 – Areia siltosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	4,26	29	11,3	0,39
3 – Areia siltosa com areia argilosa	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,61	29	10,1	0,34
4 – Areia siltosa com esterco	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,47	29	9,8	0,34
5 – Areia siltosa com capim	17-Junho-2023	11-Julho-2023	24	3,62	29	9,3	0,32

Os resultados obtidos evidenciam a relevância de realizar ensaios detalhados e de testar diversas combinações de materiais antes da aplicação em contexto real de novos aditivos ou metodologias construtivas inovadoras. O entendimento aprofundado das interações entre os diferentes constituintes das misturas é essencial para o desenvolvimento de composições otimizadas, capazes de atingir os níveis desejados de resistência mecânica e durabilidade. Tal abordagem contribui significativamente para o êxito das iniciativas de construção sustentável com uso de adobes.

CONCLUSÕES

Este estudo avaliou o comportamento de diferentes tipos de solos, com e sem reforço, visando o desenvolvimento de soluções construtivas sustentáveis para comunidades rurais no Distrito de Moamba, Província de Maputo. Os resultados demonstram que os solos areno-argilosos, especialmente quando reforçados com fibras naturais como o capim, apresentam melhor desempenho na produção de adobes em comparação aos solos areno-siltosos. Apesar dos resultados promissores, a pesquisa encontra-se em fase inicial, sendo necessárias investigações adicionais sobre propriedades mecânicas, durabilidade e viabilidade económica. A utilização de recursos locais e técnicas de baixo impacto ambiental revela-se uma estratégia promissora para a construção de habitações resilientes às mudanças climáticas, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das comunidades envolvidas.

AGRADECIMENTOS

Os autores endereçam os seus agradecimentos ao Laboratório de Engenharia de Moçambique, E.P. (LEM), pelo apoio e colaboração concedida durante a realização dos ensaios e testes no âmbito deste estudo.

REFERÊNCIAS

Das, B.M. Fundamentals of geotechnical engineering. Cengage Learning, 2018

Inácio, C.A.E.S. Estudo do solo enquanto material de construção sustentável. Dissertação, Universidade de Coimbra, 2016

Instituto Nacional de Estatística. Recenseamento geral da população e habitação de 2017: resultados definitivos, Moçambique, 2019

Ministério de Administração Estatal., Perfil do distrito de Moamba, província de Maputo, 2014

Minke, G. Building with earth, design and technology of a sustainable architecture. Birkhauser Publishers for Architecture, Berlin, 2006

Novele, T.A. O solo como material de construção sustentável nas comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique. Dissertação, Universidade de Évora, 2023

Novele, T., Duarte, I., Pinho, A. Construção sustentável em comunidades rurais da Província de Maputo, Moçambique. 12º Congresso Luso-Brasileiro de Geotecnia e 8as Jornadas Luso-Españolas de Geotecnia. Novos paradigmas em Geotecnia. Artigo 467, pp 467-477, 2024

Ribeiro, M., O Contributo da arquitetura tradicional para uma habitação "informal" sustentável em Moçambique. Dissertação de Mestrado, Instituto Universitário de Lisboa, 237 p.,2015

Torgal, F., Jalali, S. Construção sustentável – o caso dos materiais de construção. IPCB, Universidade do Minho, Portugal, 2009

Wachilala, P.E.M, Duarte I.M.R, Pinho A.B, Mirão J.P, Neto M.S. A construção sustentável na perspetiva dos geomateriais utilizados na Província da Huíla, Angola. CLBMCS. ISBN: 978-989-98949-9-0, 2018

Wachilala, P. E. M., Caracterização Geoquímica, Mineralógica e Geotécnica de solos para a Construção em Terra na Província da Huíla, Angola. Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, Portugal, p. 147, 2018

ARTIGO Nº22491

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INSTABILIDADE DE VERTENTES EM CONTEXTO DE ARRIBA FÓSSIL (ALMADA, PORTUGAL)

Paulo Sá Caetano[1(*)], Daniela Nascimento[2], João Saúde[2], Francisco Paulino[3], Margarida Faleiro[2], António Dinis[3], Carlos Costa[2], Daniel Vendas[2]

[1]GeoBioTec, Faculdade Ciências Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2829-516 Caparica, Portugal
[2]eGiamb-Consultoria Geoambiental, Lda., 2825-159 Caparica, Portugal
[3]GEOVIA - Consultores de Geotecnia, S.A., 1700-074 Lisboa, Portugal
(*) *Email:* pcsc@fct.unl.pt

RESUMO

Em contexto de alterações climáticas e com o aumento das preocupações relacionadas com a erosão costeira, a instabilidade das vertentes ao longo de arribas costeiras rochosas é um risco amplamente reconhecido e com consequências potencialmente graves quando ocorrem movimentos de massa e quedas de blocos, principalmente em praias urbanas ou muito populosas. Eventos catastróficos provocados por quedas de rochas, levaram a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), ao longo dos últimos anos, a diagnosticar e monitorizar exaustivamente as potenciais zonas de risco ao longo de todo o litoral de Portugal.

É neste contexto que foi implementada uma metodologia faseada para uma avaliação preliminar do risco associado à ocorrência de quedas de blocos e de deslizamentos de terras ao longo de arribas costeiras que permite uma listagem simples e célere dos locais de maior perigo e de maior risco (Brissos et al., 2014; Caetano et al., 2016).

A primeira fase da metodologia consiste em realizar uma avaliação semiquantitativa aplicando uma categorização numérica aos termos da seguinte equação para a determinação de um "Índice de Risco" (IR) preliminar: IR = (POP*MP*DP)/CR

em que, POP corresponde à "probabilidade de ocorrência do perigo"; MP, à "magnitude do perigo"; DP, ao "dano potencial"; e CR à "capacidade de resposta".

Para obter uma semiquantificação do IR, cada termo da equação é categorizado numa escala de 1 a 5 (baixo a alto) e a solução da equação produz uma matriz de valores de IR para todos os resultados possíveis variando, numa escala normalizada, entre [0;1]. Por fim, a matriz obtida é categorizada em cinco classes de igual amplitude, correspondentes ao risco não significativo, baixo, médio, alto ou muito alto. Na segunda fase da metodologia todos os recursos podem ser concentrados nos locais mais desfavoráveis, com valores de IR mais elevados.

Neste trabalho apresenta-se a aplicação desta abordagem metodológica a uma região de arriba fossilizada, que potencia o risco devido à maior exposição ao perigo que resulta de uma ocupação mais intensa da base da arriba por já não haver influencia das águas do mar.

Palavras-chave: arribas rochosas, instabilidade de vertentes, avaliação de perigo e risco

REFERÊNCIAS

Brissos, J., Caetano, P. S., et al. (2014) - Avaliação do risco de instabilidade de arribas no troço costeiro Sines-Zambujeira do Mar. Comunicações Geológicas, nº 101, fasc. 2, pp. 883-887.

Caetano, P. S., Costa, C. N., Brissos, et al. (2016) - A methodology for a preliminary risk assessment of slope instability along coastal cliffs. Proceed. 22nd ISDRS 2016, NOVA SST, p. 680. ISBN: 978-972-674-791-8

PAPER Nr.23478

UTILIZATION OF MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES TO DEFINE POTENTIAL TAILINGS AREAS IN ABANDONED MINING AREAS

Bárbara Fonseca[1(*)], Joaquim Góis[1,2], António Guerner Dias[3], Henrique Garcia Pereira[4]

[1] Center for Natural Resources and the Environment (CERENA-FEUP), Faculty of Engineering, University of Porto
[2] Department of Civil and Georesources Engineering, Faculty of Engineering of the University of Porto.
[3] Department of Geosciences, Environment and Spatial Planning, Faculty of Science, University of Porto.
[4] Center for Natural Resources and the Environment (CERENA-IST), Technical University of Lisbon.
(*) Email: barbarardafonseca@gmail.com

ABSTRACT

This paper explores the utilization of satellite imagery to identify potential environmental contamination in abandoned mining areas, aiming to develop a new methodology for optimizing sampling campaigns. The proposed approach involves overlaying three WMS layers in a GIS software, followed by validation using Principal Component Analysis (PCA). The methodology was tested on the Regoufe mine in mainland Portugal. This methodology allow the identification, definition and delimitation of the abandoned mining area under study, through the use of cost free satellite imagery. The Principal Component Analysis validated the methodology implemented once allowed to corroborate the results acquired by the overlaying of the satellite images and the results obtained in the collected samples. Ultimately, this method reduced the initially designated sampling area by approximately tenfold, enhancing efficiency in identifying and characterizing abandoned mining sites.

Keywords: abandoned mining áreas, geomathematics, principal component analysis, potentially toxic elements, satellite imagery.

INTRODUCTION

The environmental degradation of these areas comes, fundamentally, from the lack of environmental containment measures at the time of their cessation but also during the mine exploration, leaving the tailings exposed to conditions antagonistic to those that presided over their genesis, such as interaction with living organisms and by the existence of an oxidizing environment characterized by low pressure and temperature (Cravotta III, 2008; Lottermoser & Lottermoser, 2010; Zhou et al., 2015). However, the most significant environmental risk arises from the inherent non-degradability of potentially toxic elements (PTE), which allows them to persist in ecosystems (Chen et al., 2021; Hu et al., 2020; Ke et al., 2021). Due to their small size and high mobility, these elements contribute to the transformation of metalloids from their primary crystalline structures into bioavailable forms, triggering biogeochemical processes that lead to water and soil acidification, as well as increased solubility and mobility of PTEs in the environment (Antonelli et al., 2018; Bing et al., 2021; Egbueri et al., 2023; Gaberšek & Gosar, 2021; Luo et al., 2020; Rodrigo-Comino et al., 2018). Identifying these abandoned mining areas poses a challenge, as most of the original infrastructure has disappeared over time, leaving many sites unmarked and undocumented. In this study, the applied methodology facilitated the

identification and characterization of these abandoned mining areas, providing valuable insights for environmental assessment and remediation efforts. Multispectral imaging, by capturing data across various wavelengths of the electromagnetic spectrum, offers a unique capacity to extract additional, detailed information about objects of study. The selection of specific wavelengths can be tailored to research objectives, either through dedicated filters or by leveraging the inherent spectral sensitivity of the instrument. This characteristic elevates multispectral imagery to a robust analytical tool in the Earth Sciences. Its applications are extensive, ranging from land use mapping and surface lithological characterization to mineralogical mapping, identification of contaminated areas, recognition of complex geological structures, and detection of geothermal systems.

METHODOLOGY

This work presents a free of costs methodology for identifying sampling areas within abandoned mining sites, fundamentally based on the analysis of Sentinel-2 satellite imagery. All methodological steps were developed and integrated into a single project using QGIS, a free and open-source Geographic Information Systems (GIS) software.

The initial phase commenced with obtaining the geographical coordinates of the target abandoned mining area, establishing the foundational study extent. Subsequently, orthophotos waas incorporated as a background. These orthographically corrected aerial photographs or satellite images provide a uniform scale, accurately representing real-world features (Figure 1). Their primary purpose was to enable the visualization of existing infrastructures with a high spatial resolution of 25 cm (Bolstad, 2005), offering a significant improvement over the less detailed soil map, which only provided polygon-based classifications.

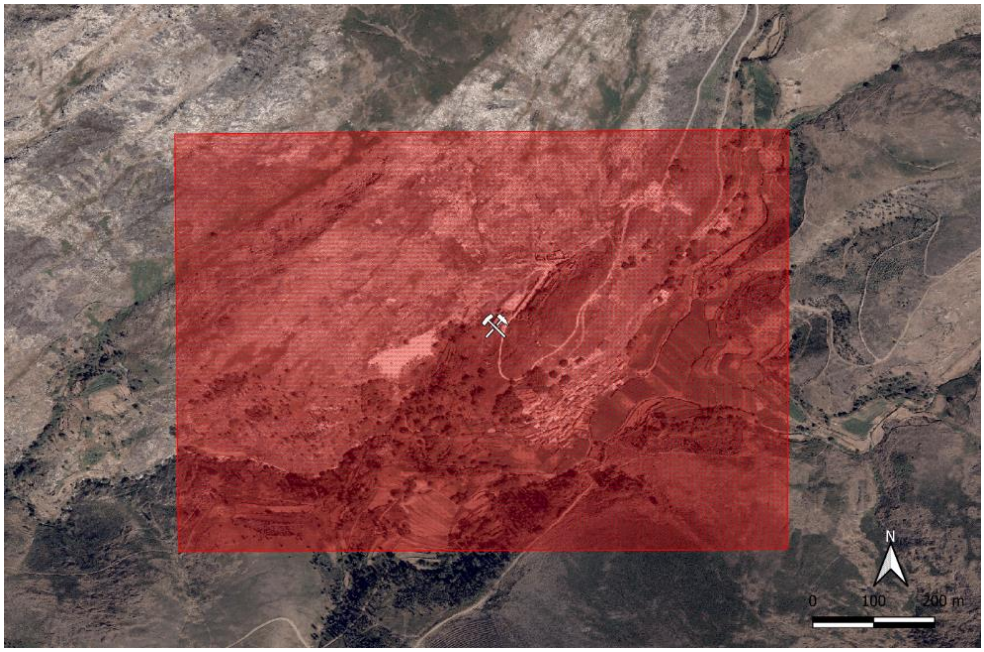


Figure 1 - Overview of the study region showing the initial sampling campaign area, delimited by the red polygon, overlaid on an orthophoto. The central marker indicates the position of the Regoufe mine.

The second phase involved the integration of a Web Map Service (WMS) layer titled "Multivariate Analysis of Sentinel-2 sensors," accessed from the LNEG (National Energy and Geology Laboratory) geoportal's open Remote Sensing database (LNEG, 2022a). This layer is derived from a multivariate analysis performed on a mosaic of Sentinel-2 multispectral images covering mainland Portugal (from 2016, 2019, and 2021) using the Minimum Noise Fraction (MNF) technique. Composed of three distinct color-coded bands, this layer effectively functions as a highly detailed land occupation map, where each color corresponds to a specific land occupation type (Figure 2). This allowed for precise visualization of the study area, aiding in the identification of structures characteristic of abandoned mining explorations and the classification of various zones within the site.

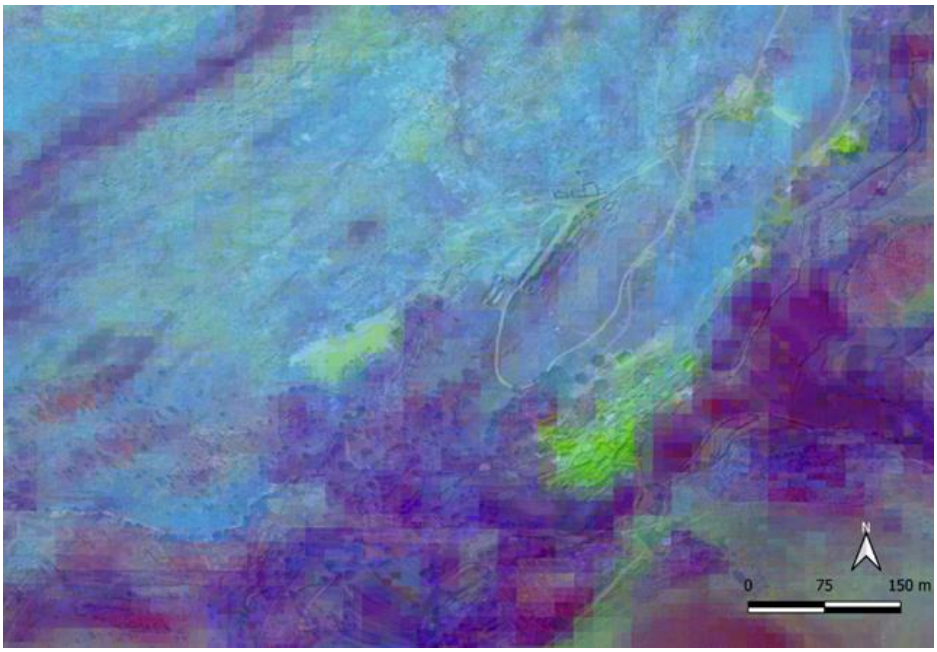


Figure 2 - Representation of the study area derived from the "Multivariate Analysis of Sentinel-2 sensors" WMS layer. The color variations correspond to distinct land cover classifications, resulting from the Minimum Noise Fraction (MNF) processing

The third phase consisted of on the analysis of another WMS layer, "Mineralogical Indices," also sourced from the LNEG geoportal's (LNEG, 2022b). This layer was designed to highlight spectral signatures consistent with different minerals, visualized across three color bands: red (clay minerals), green (ferrous minerals), and blue (iron oxides) (Figure 3). The overlay of this layer to the orthophotos was crucial for detailing and validating the previously performed identifications and classifications by assigning specific mineralogical indices. For the Regoufe mine, an area known for its sulfide presence, the analysis of this layer focused on regions exhibiting green coloration, indicative of ferrous minerals (Figure 3). This step served to restrict and refine the zones identified in the second stage, thereby reducing the overall target study area.

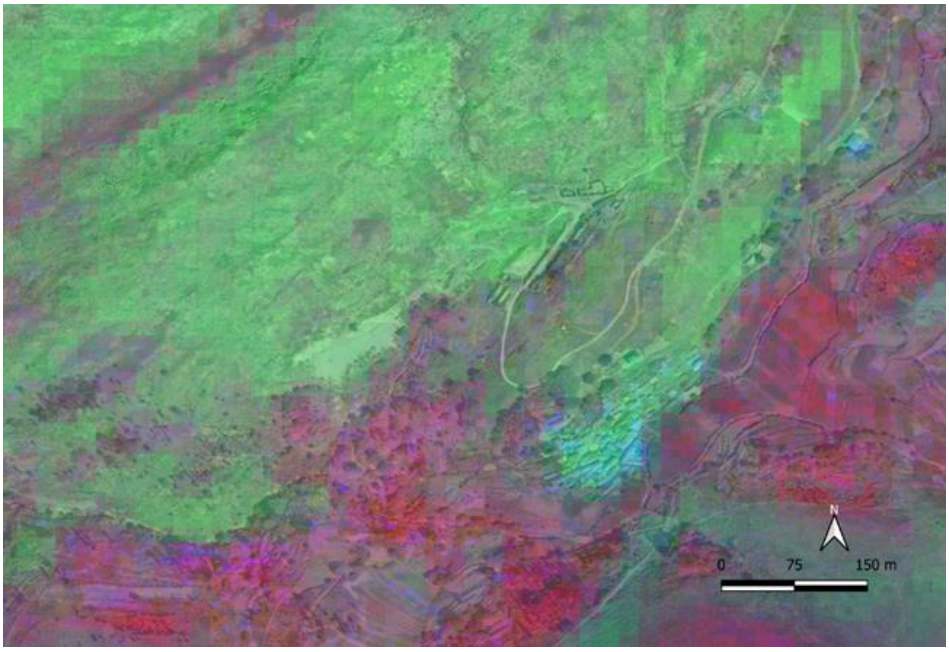


Figure 3 - Application of the "Mineralogical Indices" WMS layer to the study area, supporting lithological discrimination. Colors indicate: red (clay minerals), green (ferrous minerals), and blue (iron oxides).

The final phase of this methodology involved the superimposition of the orthophotos with both WMS layers, in order to delimitate the area to establish as the definitive study area (Figure 4).

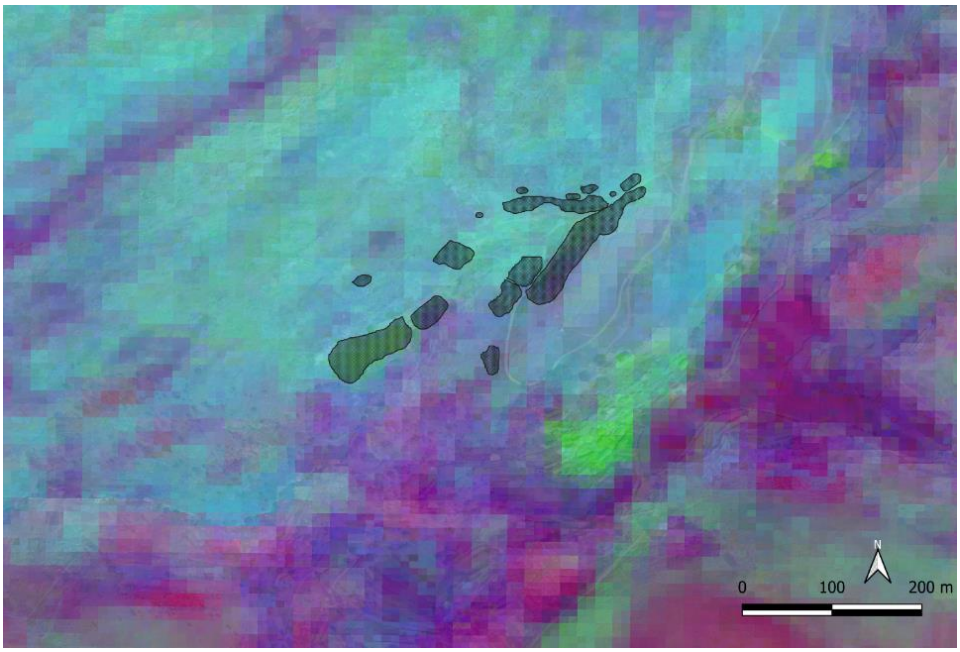


Figure 4 - The refined and delimited study areas for the sampling campaign at the Regoufe mine, shown as hatched polygons, resulting from the final stage of the applied methodology.

RESULTS

Within the scope of this study, key land cover types were identified, namely urbanized areas, forestland, and critically, zones of potential mining waste, which constitute the central focus of this investigation. Figure 5 provides a comparative illustration of the sampling areas. The application of the developed methodology resulted in a notable reduction of the initially defined sampling extent (indicated by the red boundary). This led to a significantly more precise and rigorous definition of the geometries associated with potential mine tailings within the abandoned study area.

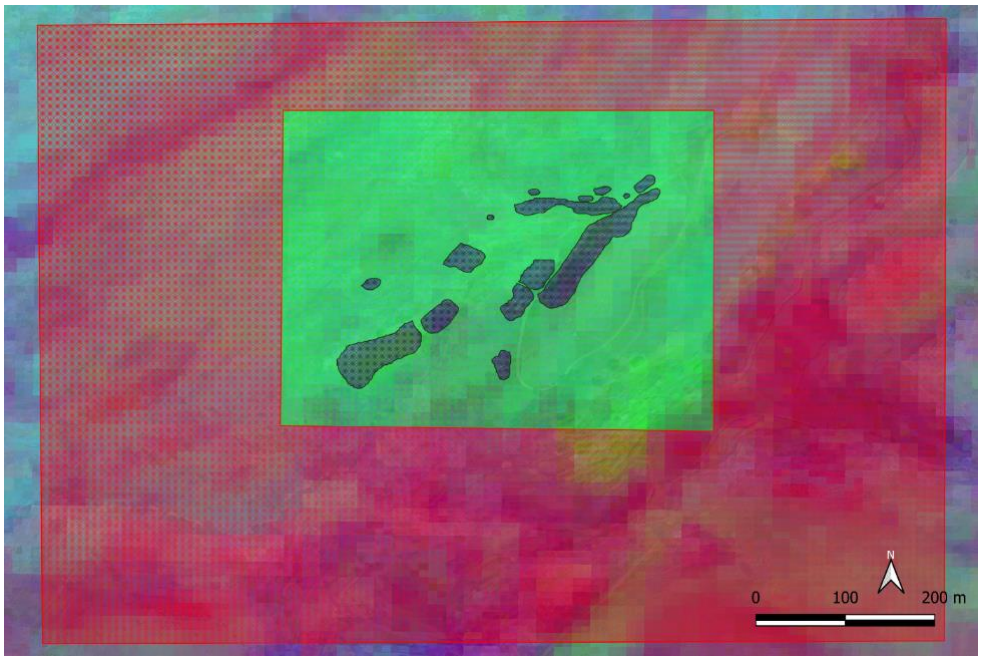


Figure 5 - Overlay illustrating the reduction from the initial sampling campaign area (red outline) to the more precisely defined study area (green polygon) resulting from the applied methodology.

CONCLUSIONS

The applicability of the developed methodology was clearly demonstrated as an effective approach for the assessment of abandoned mining areas. A key advantage was the significant optimization of sampling campaigns, evidenced by a reduction in the required sampling area. Furthermore, the methodology facilitated the precise identification and classification of distinct zones within these areas. Critically, it enabled a rigorous definition of mine tailing geometry **without requiring extensive in situ analysis**. This approach also allowed for the successful acquisition of valuable information regarding surface mineralogy, including the identification of oxides, clay minerals, and iron minerals. Ultimately, the methodology contributed to the optimization of subsequent grid sampling designs.

REFERENCES

Antonelli, A., Zizka, A., Carvalho, F. A., Scharn, R., Bacon, C. D., Silvestro, D., & Condamine, F. L. (2018). Amazonia is the primary source of Neotropical biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(23), 6034-6039.

Bing, H., Qiu, S., Tian, X., Li, J., Zhu, H., Wu, Y., & Zhang, G. (2021). Trace metal contamination in soils from mountain regions across China: spatial distribution, sources, and potential drivers. *Soil Ecology Letters*, *3*, 189-206.

Bolstad, P. (2005). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems*.

Chen, L., Hu, W.-f., Long, C., & Wang, D. (2021). Exogenous plant growth regulator alleviate the adverse effects of U and Cd stress in sunflower (Helianthus annuus L.) and improve the efficacy of U and Cd remediation. *Chemosphere*, *262*, 127809. https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127809

Cravotta III, C. A. (2008). Dissolved metals and associated constituents in abandoned coal-mine discharges, Pennsylvania, USA. Part 1: Constituent quantities and correlations. *Applied Geochemistry*, *23*(2), 166-202.

Egbueri, J. C., Ayejoto, D. A., & Agbasi, J. C. (2023). Pollution assessment and estimation of the percentages of toxic elements to be removed to make polluted drinking water safe: a case from Nigeria. *Toxin Reviews*, *42*(1), 146-160.

Gaberšek, M., & Gosar, M. (2021). Towards a holistic approach to the geochemistry of solid inorganic particles in the urban environment. *Science of the Total Environment*, *763*, 144214. https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144214

Hu, R., Beguiristain, T., De Junet, A., & Leyval, C. (2020). Bioavailability and transfer of elevated Sm concentration to alfalfa in spiked soils. *Environmental Science and Pollution Research*, *27*, 44333-44341. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-020-09223-z

Ke, B., Nguyen, H., Bui, X.-N., Bui, H.-B., Choi, Y., Zhou, J., Moayedi, H., Costache, R., & Nguyen-Trang, T. (2021). Predicting the sorption efficiency of heavy metal based on the biochar characteristics, metal sources, and environmental conditions using various novel hybrid machine learning models. *Chemosphere*, *276*, 130204. https://doi.org/https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130204

LNEG. (2022a). *Análise multivariada dos sensores Sentinel-2*. Retrieved 27th february from https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/servicos_wms/

LNEG. (2022b). *Índices Mineralógicos*. Retrieved 28th february from https://geoportal.lneg.pt/pt/dados_abertos/servicos_wms/

Lottermoser, B., & Lottermoser, B. G. (2010). Sulfidic mine wastes. *Mine wastes: Characterization, treatment and environmental impacts*, 43-117.

Luo, C., Routh, J., Dario, M., Sarkar, S., Wei, L., Luo, D., & Liu, Y. (2020). Distribution and mobilization of heavy metals at an acid mine drainage affected region in South China, a post-remediation study. *Science of the Total Environment*, *724*, 138122.

Rodrigo-Comino, J., Taguas, E., Seeger, M., & Ries, J. B. (2018). Quantification of soil and water losses in an extensive olive orchard catchment in Southern Spain. *Journal of Hydrology*, *556*, 749-758.

Zhou, P., Zhao, Y., Zhao, Z., & Chai, T. (2015). Source mapping and determining of soil contamination by heavy metals using statistical analysis, artificial neural network, and adaptive genetic algorithm. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *3*(4), 2569-2579.

Simpósio Nº3: Soluções Baseadas na Natureza para Mitigação dos Efeitos das Alterações Climáticas

22486 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO. Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo. 947

23462 IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE RETENCAO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ZONA DE MAROCANHE-CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage; Eulávio Romão Bernardo. 949

23519 COLAPSO DA PONTE HINTZE RIBEIRO: ERROS & LIÇÕES APRENDIDAS. Fabricio S. Gaspar; João Paulo Martins Gouveia. 967

23525 ESTAÇÃO DE TRIAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS. Edilene M.F Chiziane; Albertina Gustavo Pindela 983

23546 IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE CAJU (ANACARDIUM OCCIDENTALE L.), NA PROVÍNCIA DE GAZA, REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE. Durque Mário Munguambe. 991

23550 PRODUÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS USANDO BIOCOMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA E REFORÇADAS COM FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS DE RESÍDUOS VEGETAIS. João Edilson Joaquim Pery; Jonas Valente Matsinhe 993

23529 COMPOSTAGEM COMUNITÁRIA COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE: ANÁLISE BASEADA NA CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS - Caso de Estudo Bairro de Nkobe. Salustiana da Mércia Jasse; Ana Gonçalves. 1007

ARTIGO Nº22486

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO

(*) **Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo**
Universidade Eduardo Mondlane, Maputo-Moçambique
(*) *Email:* joaquiminacioj.pinifolo@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho é resultado do estágio profissional realizado na empresa *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, SA, uma unidade industrial, do sector alimentar que se dedica à produção de açúcar em Mafambisse, no Distrito de Dondo, Província de Sofala. Verifica-se que há um consumo significativo de água na operação da unidade destinada às diversas necessidades operacionais dos equipamentos, sendo esta água, por fim, descartada no rio Púnguè ainda à temperatura elevada, acarretando consequências ambientais. Foi neste âmbito que surgiu a necessidade de estudar a sustentabilidade dos recursos hídricos disponíveis, tendo sido proposto o tema cujo objectivo é avaliar o impacto do reuso de efluentes dos condensadores barométricos com a instalação de torres de resfriamento para poupança do consumo da água fresca e redução das suas descargas ao meio receptor.

A metodologia usada neste trabalho consiste em revisão bibliográfica, pesquisa exploratória, estudo de caso, ensaios práticos, tendo culminado com a elaboração desse relatório. A água foi caracterizada quanto aos parâmetros físico-químicos e também quantificada tendo se constatado que cumpre com os parâmetros de qualidade para as operações com a excepção dos SST e da temperatura. O estudo também apurou que a água descartada no rio, encontra-se 10 °C acima do limite legal, sob caudal cerca de 1350 m³/h provenientes dos condensadores barométricos, resultando em graves repercussões ambientais, tornando-se assim imperativo realizar ajustes nas suas propriedades antes de efectuar o descarte no meio receptor. Ademais, constatou-se que a implementação de torres de resfriamento figura como solução para a integração dos processos cujo projecto demandaria um investimento aproximado de 17.000.000,00 MZN que é amortizável em 12 anos, conferindo notáveis benefícios na redução da captação e descargas industriais, além da poupança energética na ordem de 835 kW.

Palavras-chave: efluentes, sustentabilidade, condensadores barométricos e torre de resfriamento.

ARTIGO Nº22486

AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO REUSO DA ÁGUA DOS CONDENSADORES BAROMÉTRICOS COM RECURSO ÀS TORRES DE RESFRIAMENTO

(*) **Joaquim Inácio Joaquim Pinifolo**
Universidade Eduardo Mondlane, Maputo-Moçambique
(*) *Email:* joaquiminacioj.pinifolo@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho é resultado do estágio profissional realizado na empresa *Tongaat Hulett*: Açucareira de Moçambique, SA, uma unidade industrial, do sector alimentar que se dedica à produção de açúcar em Mafambisse, no Distrito de Dondo, Província de Sofala. Verifica-se que há um consumo significativo de água na operação da unidade destinada às diversas necessidades operacionais dos equipamentos, sendo esta água, por fim, descartada no rio Púnguè ainda à temperatura elevada, acarretando consequências ambientais. Foi neste âmbito que surgiu a necessidade de estudar a sustentabilidade dos recursos hídricos disponíveis, tendo sido proposto o tema cujo objectivo é avaliar o impacto do reuso de efluentes dos condensadores barométricos com a instalação de torres de resfriamento para poupança do consumo da água fresca e redução das suas descargas ao meio receptor.

A metodologia usada neste trabalho consiste em revisão bibliográfica, pesquisa exploratória, estudo de caso, ensaios práticos, tendo culminado com a elaboração desse relatório. A água foi caracterizada quanto aos parâmetros físico-químicos e também quantificada tendo se constatado que cumpre com os parâmetros de qualidade para as operações com a excepção dos SST e da temperatura. O estudo também apurou que a água descartada no rio, encontra-se 10 °C acima do limite legal, sob caudal cerca de 1350 m³/h provenientes dos condensadores barométricos, resultando em graves repercussões ambientais, tornando-se assim imperativo realizar ajustes nas suas propriedades antes de efectuar o descarte no meio receptor. Ademais, constatou-se que a implementação de torres de resfriamento figura como solução para a integração dos processos cujo projecto demandaria um investimento aproximado de 17.000.000,00 MZN que é amortizável em 12 anos, conferindo notáveis benefícios na redução da captação e descargas industriais, além da poupança energética na ordem de 835 kW.

Palavras-chave: efluentes, sustentabilidade, condensadores barométricos e torre de resfriamento.

ARTIGO Nº23462

IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS NA ZONA DE MAROCANHE-CIDADE DA BEIRA

Baptista Maparage[1 (*)], Eulávio Romão Bernardo[2]
[(*1; 2)] FCT-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Zambeze-Beira Moçambique
Email:[(*)] bmaparage@yahoo.com.br; [(2)] eulaviobernardo@gmail.com

RESUMO

O tema abordado neste trabalho focaliza a implementação de uma Bacia de Retenção de águas pluviais na Zona de Marocanhe na Cidade da Beira, visando controlar as águas pluviais. O problema decorre das chuvas intensas que se tem feito sentir na Cidade da Beira, acumulando um grande volume de água em áreas habitacionais informais, resultando em inundações, interrupções nas estradas e propagação de doenças de origem hídrica.

Palavras-chave: Bacia de retenção. Inundações. Marocanhe**.** Saneamento

INTRODUÇÃO

No geral, o tema abordado neste trabalho focaliza a implementação de uma Bacia de Retenção Águas Pluviais na zona de Marocanhe na Cidade da Beira, visando controlar as águas pluviais.

As bacias de retenção têm sido usadas historicamente em várias culturas para controlar o fluxo de água e evitar inundações. No entanto, a abordagem moderna de projectar bacias de retenção como parte integrante do gerenciamento de águas pluviais urbanas começou a ganhar destaque nas últimas décadas. Desde a década de 1990, os problemas de enchentes urbanas na Cidade da Beira se intensificaram devido ao crescimento da Cidade e à impermeabilização do solo devido à urbanização, ou seja, a distribuição da população segue uma tendência de cada vez mais se aglomerar e se concentrar gente na cidade. A Cidade da Beira, situa-se numa região em que, por via das alterações climáticas estará sujeita a maior frequência de fenómenos meteorológicos extremos, nomeadamente Ciclones e Cheias.

Isso levou ao desenvolvimento de sistemas de drenagem mais eficientes, nos quais as bacias de retenção desempenham um papel crucial. Hoje em dia, bacias de retenção são frequentemente incluídas em projectos de desenvolvimento urbano devido às vantagens que ela possui.

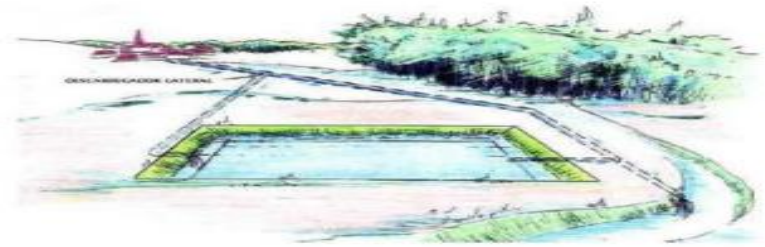


Fig. 1 Desenho esquemático de bacia de retenção em paralelo

RESULTADOS

Com este trabalho que ao realizar o dimensionamento preciso da bacia de retenção, considerando tanto as águas pluviais quanto as marítimas, é possível criar uma infraestrutura capaz de absorver e armazenar temporariamente grandes volumes de água e controlar o excesso de água, reduzindo assim a pressão sobre as áreas habitadas. Ao implantar essa bacia estrategicamente na zona de Marocanhe, busca-se minimizar os impactos negativos das inundações nas áreas de assentamento ordenado e desordenado na zona Estoril, Muave. A análise detalhada incluiria aspectos como a capacidade de armazenamento da bacia, sua localização geográfica em relação às áreas propensas a inundações e a integração com outras medidas de controlo de enchentes, proporcionando uma abordagem holística para mitigar os problemas enfrentados por essas comunidades. Os resultados de proposta de implantação de bacia de retenção na região do estudo, indicam que a bacia de retenção é eficaz na redução significativa das inundações, proporcionando impactos positivos como a preservação de propriedades e a melhoria da saúde pública, bem como a qualidade de vida dos residentes

ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Cidade da Beira é a capital da província de Sofala, situada no leste de Moçambique. A província de Sofala, confinada pelas províncias de Manica, Tete, Zambézia e Inhambane e, a este, pelo oceano Índico, possui uma superfície de 67 218 km^2 constituída principalmente pelas etnias do povo Sena e Ndau.

Localiza-se na margem esquerda da foz do Rio Púnguè, a beira-mar do Oceano Índico, numa estreita faixa de terra entre o rio e o mar. Apresenta uma Latitude de -19,8287° ou 19° 49' 43" sul e uma Longitude de 34,8418° ou 34° 50' 30" leste e uma Altitude de 6 metros (20 pés).

IMPLANTAÇÃO DE BACIA DE RETENÇÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS

A implantação de bacias de retenção em ambiente urbano apresenta algumas particularidades em relação a bacias em zonas rurais, devido à presença de edificações e infraestruturas urbanas, o ambiente urbano caracteriza-se por se tratar de um meio rígido e artificial, com a presença e circulação de pessoas, custos de terreno mais elevados, e no qual se verifica a interacção de diferentes actividades, como serviços, indústria e habitação (Mano, 2008).

PRINCIPAIS CONDICIONANTES E CRITÉRIOS DE ESCOLHA DO TIPO DE BACIA DE RETENÇÃO

Particularmente quanto a escolha de bacia de retenção, se vai ser bacias secas ou bacias com nível de água permanente, existem vários factores tais como:

Efeitos do ponto de vista hidráulico e ambiental (qualidade da água);
O volume de armazenamento mínimo necessário que a bacia precisara;
O tipo de utilização da bacia em relação a integração paisagística;
Acessibilidades;
Nível e flutuações sazonais do aquífero subjacente;
Permeabilidade do solo;
Disponibilidades financeiras (custos), etc.

No entanto, as condicionantes fundamentais referem-se às características do solo, como a permeabilidade e às variações do nível freático do local de implantação (Bichança, 2006); (Mano, 2008).

IMPLANTAÇÃO EM AMBIENTE URBANO

O dimensionamento e a implantação de uma bacia de retenção requere conhecimento da topografia, rede hidrográfica, clima (regime de precipitação), tipo do solo, tipo de ocupação da bacia de drenagem, sistema de drenagem existente e condições do meio receptor a jusante (e.g., capacidade do sistema de drenagem, tipo de ocupação do espaço) (Mata-Lima et al., 2006a).

Todos estes factores determinam o local assim como as condições a adoptar na implantação da bacia em meio urbano.

Expõem-se de seguida alguns dos condicionantes comummente associados à implantação de bacias de retenção em ambiente urbano: (Bichança, 2006); (Methods & Durrans, 2003)

Necessidade de espaço, quando não existe espaço suficiente torna-se difícil a implantação em meios já consolidados, isto porque estes tipos de infra-estrutura ocupam áreas consideráveis;
Além de ocupar grandes áreas, a integração paisagística e topográfica deve ser estudada de modo a não impedir o desenvolvimento adequado dos aglomerados urbanos;
Instalação de dispositivos de vedação e segurança, por forma a garantir a segurança do público em geral (p.e. afogamento);
Necessidade de manutenção e limpeza mais frequentes, evitando perturbações para o meio e saúde humana (p.e. proliferação de insectos);
Custos dos terrenos e especulação imobiliária;
Aceitação da população.
Grande parte destas dificuldades é anulada quando antes do processo de urbanização, se planeia uma bacia de retenção imediatamente a jusante da zona a edificar, ou seja, ainda longe da passagem hidráulica da via de comunicação.

A escolha do local de implantação da bacia de retenção deve basear-se nas condições geomorfológicas naturais do local, de modo a evitar grandes perturbações no meio (e.g., movimentações de terra, impermeabilização) e reduzir custos económicos. A decisão quanto ao volume da bacia de retenção resultará sempre do compromisso entre a sua viabilidade económica e capacidade de resposta (hidráulica).

Quando não for possível recorrer a bacias a céu aberto, fundamentalmente, por indisponibilidade de terreno em áreas urbanas densamente ocupadas, ou onde o seu custo for elevado, deverá recorrer-se a bacias enterradas.

FASES DE PROJECTO DE UMA BACIA DE RETENÇÃO

O projecto de uma bacia de retenção desenrola-se ao longo de várias fases, culminando na definição da forma e secção desta. A sequência e descrição resumida das diferentes etapas encontra-se representado na (Tabela 1).

Tabela 1 - Fases de projecto de uma bacia de retenção. **Fonte:** Autor (adaptado de Bergue e Ruperd, 2000)

1	**Estudo hidrológico, hidráulico e hidrogeologico e caracterização dos meios receptores**	• **Estudo hidrológico, hidráulico e hidrogeológico:** tem como objectivo determinar os caudais afluentes e caudais de estiagem de meio receptor, situação e flutuação do lençol freático, e do funcionamento global do sistema de drenagem.
		• **Caracterização do meio receptor e rede de drenagem**: com o objectivo de qualidade, caudais de estiagem, indicadores de estado físico, biológico e ecológico que têm como finalidade identificar os débitos de chegada de água permitidos e os níveis admissíveis da quantidade e qualidade da descarga de águas pluviais.
		• **Conhecimento da rede de drenagem**: com o objectivo de definir o papel da bacia de retenção nessa rede será necessário o conhecimento da sua localização assim como a sua capacidade. Saber-se-ão então se a bacia deverá ser em série ou em paralelo e se a sua posição relativamente à zona de risco será a jusante ou a montante.
2	**Identificação preliminar dos locais potenciais de implantação das bacias de retenção**	• Esta etapa pressupõe a conjugação dos aspectos técnicos definidos anteriormente com outros, não menos importantes, de natureza ambiental, integração paisagística e exequibilidade sócio económica. Procura-se conciliar os pontos de ocorrência de maiores caudais e volumes de escoamento pluvial com os pontos baixos e áreas de depressão natural, por forma a aproveitar ao máximo as condições naturais de armazenamento e de escoamento gravítico, tendo em atenção, se possível, os aspectos de valorização da paisagem e possibilidade de criação de espaços de lazer.
3	**Análise de dados complementares**	• Com o objectivo de analisar a viabilidade de execução e do tipo de bacia a implementar. Dever-se-ão reunir os seguintes dados: levantamentos topográficos, de natureza geológico e geotécnicos, dados hidrogeológicos, pedológicos, e outros, designamente de natureza sociológica, patrimonial ou ambiental.
4	**Dimensionamento hidráulico**	• Esta fase tem o objectivo de estimar o volume necessário a reter tendo em conta a precipitação de determinado período de retorno, por forma a restituir a jusante um caudal que não ultrapasse um valor pré-definido.
5	**Dimensionamento da secção e forma da bacia**	•Nesta fase a forma e secção da bacia será definida de acordo com o volume de água calculado, com o espaço disponível e outras condicionantes pré-estabelecidas.

REVISÕES DE CÁLCULO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Conceito de Bacia Hidrográfica

Uma bacia hidrográfica é uma área de terra onde a água da chuva é colectada por um rio principal e seus afluentes. Essa área é delimitada por divisores de água nas partes mais altas do terreno. A água da chuva pode fluir superficialmente, formando riachos e rios, ou pode ser absorvida pelo solo para criar nascentes e o lençol freático (Barrella 2001).

Limites de uma bacia hidrográfica

A delimitação da bacia é feita através de uma carta topográfica, tendo seu limite dado a partir das linhas de separação de águas (topográficas ou freáticas), que separam as precipitações que caem na bacia hidrográfica, das precipitações que caem nas bacias adjacentes. Sendo que quando as linhas de separação de águas são freáticas torna-se difícil a sua delimitação dado que depende da estrutura geológica dos terrenos conforme se ilustra na (figura 10) (Lencastre & Franco, 2006).



Figura 2 – Bacia Hidrográfica
Fonte: (Unicamp 2007)

Para efeitos práticos, utilizar-se apenas as linhas de separação topográfica para a delimitação dos contornos da área da bacia hidrográfica (Lencastre & Franco, 2006); (Quintela, 1996).

Características de uma Bacia Hidrográfica

Características geométricas

A área e forma de uma bacia hidrográfica representam elevada significância no caudal de ponta de cheia da bacia.

Área de drenagem

A área de drenagem é dada pela área plana, em projecção horizontal, limitada pelas linhas de cumeada e tem como unidades km², hectares ou m^2 (Lencastre & Franco, 2006).

Forma

Quanto a forma, as bacias hidrográficas classificam-se como arredondada, alongada ou ramificada, sendo que a forma das bacias tem uma grande influência no que diz respeito as cheias, em regra, bacias de forma arredondada, tendem a contribuir para maior concentração do escoamento superficial, e logo cheias de maior porte (Lencastre & Franco, 2006); (Quintela, 1996).

Características fisiográficas

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica depende em grande parte das características fisiográficas da mesma, na medida em que estes factores contribuem para a maior ou menor significância dos processos hidrológicos, nomeadamente a cobertura vegetal, relevo, geometria, sistema de drenagem e a geologia (Lencastre & Franco, 2006).

Relevo

O relevo é uma das características com maior peso no processo de escoamento, podendo os parâmetros que o quantificam ser expressos por: (Lencastre & Franco, 2006)

Curva hipsométrica, representa a área (A) da bacia que fica acima de cada cota (Z), em referência ao nível médio das águas do mar;

Altura média, representa a carga potencial dos volumes de água precipitada relativamente à secção em estudo, com especial influência no tempo necessário para o escoamento superficial atingir tal secção;

Declividade dos terrenos, sendo um factor de grande importância para a velocidade de escoamento superficial, pelo que quanto maior a declividade maior será o hidrograma de ponta de cheia e menor a capacidade de infiltração.

Geologia e solos

A distribuição e o movimento de água numa bacia hidrográfica é função do tipo de solos e as suas características geológicas, nomeadamente a estrutura e a permeabilidade são factores condicionantes quanto à capacidade de retenção e infiltração, com particular importância na grandeza das pontas de cheia e erosão da bacia (Quintela, 1996); (Lencastre & Franco, 2006).

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal, nomeadamente as florestas e as culturas interiores à bacia hidrográfica, são factores que têm influência análoga à natureza geológica dos terrenos, regulando a velocidade do escoamento superficial, segundo (Schiavetti & Camargo, 2005) as perdas por intersecção podem variar entre 10% a 40%, dependendo do tipo de vegetação. (Quintela, 1996).

A sua influência também se manifesta na taxa de evaporação da bacia como uma acção regularizadora de caudais, sobretudo nos climas secos. Para além da influência que exerce na velocidade dos escoamentos e na taxa de evaporação, a cobertura vegetal desempenha um papel importante e eficaz na luta contra a erosão dos solos.

Características climáticas da bacia hidrográfica

Das características climáticas da bacia podemos definir dois tipos de factores climáticos mais importantes como: à precipitação e factores condicionantes da evaporação e transpiração, no entanto estes últimos serão desprezados, uma vez que no estudo de cheias, estes factores não são significativas dadas as intensidades de precipitação consideradas (Quintela, 1996).

Precipitação

Designa-se precipitação, a toda a água que cai da atmosfera e atinge a superfície terrestre, quer no estado líquido (chuva), quer no estado sólido (neve e o granizo) e ainda a geada (Quintela, 1996). A precipitação, geralmente medida em milímetros é definida como a espessura da água na vertical acumulada sobre a superfície em um determinado lugar. (Quintela, 1996); (Lencastre e Franco 2003).

DIMENSIONAMENTO HIDROLÓGICO DE BACIAS DE RETENÇÃO

O cálculo hidrológico é importante para a determinação do caudal de ponta, o qual será usado para o dimensionamento dos sistemas de gestão do escoamento pluvial.

Intensidade de precipitação

A intensidade média de precipitação (ī), é dada pela razão entre a altura de água precipitada (Δp) e um certo intervalo de tempo considerado (Δt):

$$\bar{\imath} = \frac{\Delta \boldsymbol{p}}{\Delta \boldsymbol{t}} \quad (1.1)$$

Relação Intensidade - Duração - Frequência

A relação intensidade-duração designada abreviadamente como curvas I-D-F, encontra-se associada à frequência de ocorrência de determinado evento pluviométrico, sendo determinada pela introdução de dois parâmetros a e b, constantes para cada região e período de retorno considerado, e como tal as curvas I-D-F, podem ser determinadas, quer por equações hiperbólicas quer exponenciais, respectivamente, através das equações seguintes: (Methods & Durrans, 2003)

Função hiperbólica

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (1.2)$$

Função exponencial

$$I = axt^{b} \quad (1.3)$$

Período de retorno

Por definição, o período de retorno ou tempo de recorrência para uma determinada intensidade de precipitação, é o período de tempo médio em que determinado acontecimento é igualado ou ultrapassado no mesmo local (Quintela, 1996). Admite-se aqui que a probabilidade desse evento ser igualado ou excedido nesse período é bastante baixa (Quintela, 1996); (Methods & Durrans, 2003).

Escolha do período de retorno

No que diz respeito à drenagem pluvial urbana, de acordo com o Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais, os períodos de retorno mais utilizados são de 5 ou 10 anos, no entanto perante situações bem estudadas, estes podem ser inferiores na ordem de 1 ou 2 anos, ou superiores, podendo ser aumentados para 20 ou 25 anos (Decreto-Regulamentar nº 23/95, 1995).
(Marques, et al., 2013), refere que nos sistemas de drenagem pluvial urbana, geralmente são adoptados períodos de retorno a variar entre 2 a 10 anos.

Tempo de concentração

O tempo de concentração é definido com o tempo necessário para que ocorra a concentração da água na bacia hidrográfica numa dada secção de referência, sendo considerado uma característica constante da bacia, independente da chuvada (Costa & Lança, 2011).
Varias são as expressões para a sua determinação, como por exemplo a Fórmula de Témez, expressão U.S. Soil Conservation Service, método baseado na velocidade do escoamento superficial, Fórmula de Ventura, Fórmula de Kirpich e Fórmula de Giandotti, mas só uma é usada na metodologia apresentada nesta monografia, não se pretende dizer que as outras fórmulas de cálculo não possam ser utilizadas mas a escolha da expressão a usar no cálculo do tempo de concentração deve ir ao encontro das necessidades do projectista.

Como o sobredimensionamento não é economicamente viável, de forma a evitar a sua possível ocorrência no cálculo da intensidade média bacia hidrográfica, Debo e Reese (1995), referem

que, no cálculo do caudal de ponta de cheia não deve ser considerado um tempo de concentração inferior a cinco minutos.

Na monografia aqui apresentada, adoptou-se o Método de Kirpich para calcular o tempo de concentração, dado a sua simplicidade do cálculo poder ser adoptado na tipologia das bacias hidrográficas que interessam ao estudo desenvolvido.

Fórmula de Kirpich

A fórmula de Kirpich, foi desenvolvida através de dados do Soil Conservation Service em pequenas bacias rurais com canais bem definidos e declive acentuado no Tennessee (EUA). Dada a facilidade de aplicação, segundo (Akan & Houghtalen, 2003), esta fórmula é amplamente utilizada em bacias urbanas, embora não seja necessariamente apropriada, sendo dado por: (Lencastre & Franco, 2006)

$$\mathrm{tc} = 0{,}0663 \times \frac{\mathrm{L}^{1,155}}{\Delta \mathrm{h}^{0,385}} \tag{1.4}$$

Em que: tc [h] é o tempo de concentração, L [Km] é o comprimento da linha de água principal, Δh [Km] é a diferença entre as cotas extremas da linha de água principal.

Determinação do caudal de projecto ou Caudal de ponta de cheia

Para o dimensionamento hidráulico é necessário o cálculo dos caudais de ponta de cheia também designados como caudais de projecto, nas bibliografias encontram-se diversas expressões para a determinação do caudal máximo, recorrendo a métodos simplificados ou mais elaborados, baseados em formulações mais ou menos complexas.

Várias são as expressões para a sua determinação, sendo obtida a partir do Método racional, Fórmula de Giandotti, Método do Soil Conservation Service (SCS) e Fórmula de Mockus, apenas uma é usada na metodologia apresentada nesta monografia, não se pretende dizer que as outras fórmulas de cálculo não possam ser utilizadas, mas a escolha da expressão a usar deve ir ao encontro das necessidades do projectista.

Na monografia aqui apresentada, adoptou-se o Método Racional, dado a sua simplicidade do cálculo poder ser adoptado na tipologia das bacias hidrográficas que interessam ao estudo desenvolvido.

Método racional

O método racional é o método simplificado mais divulgado e utilizado a nível mundial, para a determinação do caudal de ponta de cheia em bacias hidrográficas de pequenas a médias dimensões para os períodos de retorno adoptados como critério de projecto e escreve-se: (Portela & Hora, 2002); (Quintela, 1996)

$$\mathrm{Qp} = \frac{\mathrm{CIA}}{3{,}6} \tag{1.5}$$

Onde: Qp [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de ponta de cheia para o período de retorno considerado, I [$mm \cdot h^{-1}$] é a intensidade de precipitação em função do período de retorno adoptado, A [Km^2] é a área da bacia e C é um coeficiente de escoamento adimensional conforme referido no Anexo I.

Embora não seja fácil definir com precisão o conceito de pequenas e médias bacias, utilizado por diversos autores para a limitação da aplicação da fórmula racional, (Pilgrim & Cordery, 1992) citado em (Portela & Hora, 2002), recomendam a consideração de pequenas e médias bacias, as que apresentam, respectivamente, áreas máximas de 25 Km^2 e 500 Km^2. No entanto,

diversos autores ((Vdot, 2002), (Methods & Durrans, 2003), (Ponce, 1989), (Akan & Houghtalen, 2003), entre outros) limitam a aplicação deste método a bacias significativamente mais pequenas, dadas as simplificações adoptadas na sua formulação.

(Lencastre & Franco, 2006), refere ainda que em pequenas bacias, com área inferior a 25Km^2, a fórmula racional apresenta resultados bastante satisfatórios especialmente em bacias em que o coeficiente de escoamento, C, pode ser determinado a partir de observações em regiões de características semelhantes.

DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE BACIAS DE RETENÇÃO

Volume de armazenamento

O dimensionamento hidráulico de uma bacia de retenção consiste na determinação do volume de armazenamento necessário para amortecer o pico do escoamento, de modo que o caudal máximo efluente não ultrapasse, para um determinado período de retorno, um limite pré-estabelecido.

Várias são as expressões para a determinação do volume de armazenamento, nomeadamente para uma fase prévia do projecto, tais como: Método Simplificado, Método do Hidrograma Triangular Simplificado, Método de regressão de Pagan e Método de Wycoff & Singh. Na monografia aqui apresentada, adoptou-se o Método do Hidrograma Triangular Simplificado, Método de regressão de Pagan e Método de Wycoff & Singh, dado a sua simplicidade do cálculo poder ser adoptado na tipologia das bacias hidrográficas que interessam ao estudo desenvolvido.

Método do Hidrograma Triangular Simplificado

Este método consiste na definição dos hidrogramas de entrada para os períodos de pré e pós urbanização com forma triangular, sendo dado pela expressão: (Vdot, 2002); (Lima, Silva, & Raminhos, 2006)

$$V = \frac{1}{2} \times Tb \times (Qi - Qo) \tag{1.6}$$

Onde: Tb [s] é o tempo de base do hidrograma, Qi [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de ponta para a situação de pós urbanização e Q_0 [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o máximo caudal efluente em função da capacidade das estruturas de drenagem a jusante, geralmente tomado como o caudal de ponta de pré-urbanização.

Método de regressão de Pagan

Este método resulta da análise de inúmeras bacias hidrográficas dos Estados Unidos da América, tendo sido desenvolvido por forma a estimar o volume de armazenamento necessário em função da relação entre os caudais de ponta de pré e pós-urbanização. (Vdot, 2002). Sendo dada pela seguinte equação de regressão: (Lima, Silva, & Raminhos, 2006)

$$SP = -2883{,}1 \times \ln\left(\frac{Qo}{Qi}\right) + 13408 \tag{1.7a}$$

Onde: SP [s] é o parâmetro de armazenamento, Q_0 [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de ponta para a situação de pré urbanização e Qi [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de ponta para a situação de pós-urbanização.

O volume máximo de armazenamento necessário é dado por: (Vdot, 2002)

$$Vmax = SP \times Qi \tag{1.7b}$$

Onde: Vmáx [m^3] é o volume de armazenamento máximo, SP [s] é o parâmetro de armazenamento e Qi [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de pós-urbanização.

Trata-se de um método expedito de aplicação bastante prático, no entanto, (Lima, Silva, & Raminhos, 2006), salienta que este método é apenas recomendado para períodos de retorno não superiores a 10 anos, e segundo (Vdot, 2002), o método de regressão de Pagan é indicado apenas para uma estimativa preliminar do volume de armazenamento de uma bacia de retenção, dado que devolve valores conservativos, sendo ainda a sua aplicação recomendada para bacias hidrográficas com área inferior a 0,8 Km^2.

Método de Wycoff & Singh

Este método, apresentado por Wycoff e Singh em 1986, permite obter uma estimativa do volume de armazenamento de uma bacia de retenção para reduzir o pico do escoamento, tendo sido desenvolvida uma equação de regressão, a qual relaciona o volume de escoamento com o volume de armazenamento, e escreve-se: (Cdot, 2000)

$$\frac{Vs}{Vr} = \frac{[1{,}291 \times (1 - \frac{Qo}{Qi})^{0{,}753}]}{[(\frac{ti}{tp})^{0{,}411}]} \quad (1.8a)$$

Onde: Vs [m^3] é o volume de armazenamento, Vr [m^3] é o volume total do escoamento, Q_0 [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal máximo admissível (geralmente tomado como o caudal de ponta para a situação de pré urbanização), Qi [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal de ponta para a situação de pós-urbanização, ti [h] é o tempo de base do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização e tp [h] é o tempo de crescimento do hidrograma de entrada para as condições de pós-urbanização.

O volume total do escoamento, Vr, pode ser dado por: (Lima, Silva, & Raminhos, 2006)

$$Vr = \frac{1}{2} \times Tbo \times (Qo) \quad (1.8b)$$

Onde: Vr [m^3] é o volume total do escoamento, Tbo [s] é o tempo de base do hidrograma para as condições de pré urbanização e Q_0 [$m^3 \cdot s^{-1}$] é o caudal máximo admissível (geralmente tomado como o caudal de ponta para a situação de pré urbanização).

Concepção de hidrogramas afluentes de cheias

Na ausência de dados hidrométricos para a região em análise, nomeadamente registos históricos de caudais, cheias etc., pode recorrer-se aos métodos simplificados tais como: método de Hidrograma triangular simplificado, Hidrograma sintético adimensional do Soil Conservation Service e método de Hidrograma de cheia de Giandotti para a determinação dos hidrogramas de cheia.

Na monografia aqui apresentada, adoptou-se por abordar o Método de Hidrograma sintético adimensional do Soil Conservation Service, dado a sua simplicidade do cálculo poder ser adoptado na tipologia das bacias hidrográficas que interessam ao estudo desenvolvido.

Hidrograma sintético adimensional do Soil Conservation Service

Pelo estudo de inúmeras bacias hidrográficas, com diferentes características geográficas e de cobertura do solo, o Soil Conservation Service (SCS), desenvolveu um hidrograma sintético adimensional, representando no eixo horizontal a duração, em função da relação t/t_p, e no eixo vertical o caudal, dado a parir da relação Q/Qp, definindo assim a forma média dos hidrogramas referentes ao conjunto de dados analisados (ver figura 11). (Methods & Durrans, 2003)

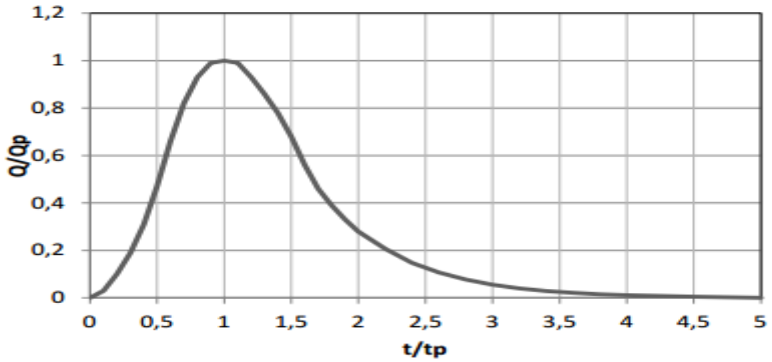


Figura 1 - Hidrograma sintético adimensional do Soil Conservation Service

Fonte: (Methods & Durrans, 2003)

Este método permite a definição do hidrograma para um dado evento de precipitação conhecendo-se o caudal de ponta, Q_p, e o tempo de crescimento do hidrograma, tp, a partir das relações estabelecidas pelo SCS do hidrograma sintético adimensional, sendo os coeficientes a utilizar para estas relações apresentados na (Tabela 2).

A determinação do hidrograma de cheia consiste na multiplicação dos coeficientes presentes na (Tabela 2), referentes às relações t/t_p, e Q/Q_p, respectivamente, pelo valor do tempo de crescimento do hidrograma e pelo caudal de ponta, obtendo-se um conjunto de 33 pontos que definem as coordenadas (Q,t) do hidrograma.

Tabela 2 - Relações t/tp, e Q/Qp do hidrograma sintético adimensional do SCS. Fonte: (Methods & Durrans, 2003)

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0,0	0,000	1,1	0,990	2,4	0,147
0,1	0,030	1,2	0,930	2,6	0,107
0,2	0,100	1,3	0,860	2,8	0,077
0,3	0,190	1,4	0,780	3,0	0,055
0,4	0,310	1,5	0,680	3,2	0,040
0,5	0,470	1,6	0,560	3,4	0,029
0,6	0,660	1,7	0,460	3,6	0,021
0,7	0,820	1,8	0,390	3,8	0,015
0,8	0,930	1,9	0,330	4,0	0,011
0,9	0,990	2,0	0,280	4,5	0,005
1,0	1,000	2,2	0,207	5,0	0,000

Estruturas de regulação do caudal

Os dispositivos de regulação de caudais permitem a manutenção de um caudal de saída constante para qualquer que seja a altura de água na bacia.

Os dispositivos de regulação estáticos de caudais podem ser: do tipo descarregador superficial (triangular ou rectangular) ou do tipo orifício (orifício propriamente dito ou comporta). Enquanto os dispositivos de regulação dinâmicos permitem a descarga de um caudal constante

e podem ser: tipo regulador por flutuador de nível ou válvula ou comporta monitorizada de abertura variável.

No entanto estas últimas não são abordadas nesta monografia, pelo que se apresenta de seguida os vários tipos, e respectivas formulações de dimensionamento de alguns dos dispositivos mais comuns de controlo do escoamento estáticos.

Descarregadores de superfície

Os descarregadores de superfície são, geralmente, implantados em bacias de retenção na parte superior do dique de jusante, como sistema de segurança, para situações em que o volume de água afluente é superior ao volume de armazenamento máximo da bacia de retenção, ou seja, quando é ultrapassada a capacidade máxima das estruturas de descarga em condições normais. E podem ser de vários tipos: descarregadores de soleira espessa horizontal, e descarregadores de parede delgada, com geometria rectangular, trapezoidal e triangular. No entanto, será abordada nesta monografia, o descarregador Cipolletti.

Descarregador Cipolletti

Um dos descarregadores mais utilizados em bacias de retenção, é o descarregador de Cipolletti (Matias 2006).

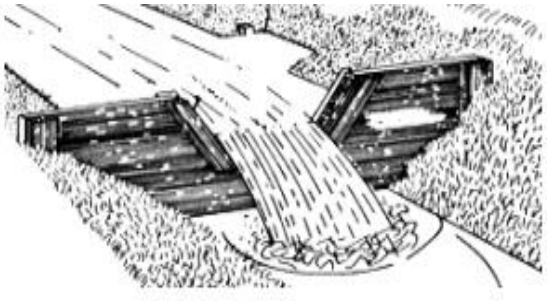


Figura 4 - Descarregador de Cipolletti.
Fonte: (Matias 2006)

Este tipo de descarregador tem uma forma trapezoidal, cuja inclinação dos lados foi determinada para que o aumento de caudal devido aos pequenos triângulos laterais compensasse o efeito de contracção. A inclinação dos lados é de 1 de base para 4 de altura e a fórmula do caudal do descarregador é:

$$Q = 0{,}42 \times H^{\frac{3}{2}} \times b \times \sqrt{2 \times g} \qquad (1.9)$$

Onde: b [m] é a largura da base do descarregador, g [$m \cdot s^{-2}$] é a aceleração da gravidade (g≈9,81) e H [m] é altura da água medida acima da crista do descarregador.

Hidrologia

Águas Superficiais

A cidade da Beira localiza-se na baia de Sofala na qual desaguam dois grandes rios internacionais, os rios Púnguè e Búzi. São rios periódicos com uma descarga máxima aproximada a 600 m^3/s e 300 m^3/s na estação chuvosa. Na estação seca as descargas são de 80 m^3/s e 50 m^3/s respectivamente (Nedeco, 1982).

A área de estudo, localizada no centro da Cidade, propriamente dita, está livre de cursos de água, com excepção do Rio Chiveve que constitui um fenómeno hidrológico notável,

representando ao mesmo tempo um elemento paisagístico típico da cidade, pois é circundado pelos mangais.

Águas Subterrâneas

Na área de estudo o nível freático, é bastante superficial e, por conseguinte, captam aquíferos superficiais e semi-confinados com caudais que variam de 0,7 a 3 m^3/hora. Devido a característica dos solos (arenosos e argilo-arenosos), associada a ocupação desordenada e da disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos, estes são vulneráveis a poluição, situação que se agrava com os níveis de água muito superficiais na área de estudo, conferindo ao aquífero uma vulnerabilidade natural a poluição das águas subterrâneas.

O caudal que passa na seção de descarga desta bacia é basicamente resultante da chuva que cai dentro da bacia, e da interferência do lençol freático que mantem a comunicação desta bacia com outras bacias circunvizinhas embora com uma influência negligenciável.



Figura 5 - Canaleta instalada na zona inundável.
Fonte: Autor

A área directamente afectada pelas inundações

É importante notar que estas residências foram edificadas em parte dentro da bacia hidrográfica do Rio Chiveve, e que devido ao fraco declive, a influência das águas do mar é muito grande.

A área directamente afectada pelas inundações envolve as habitações circundantes construídas junto da bacia 4 sendo que do lado direito habitações em forma ordenada e o lado esquerdo desordenado e uma parte da população junto da bacia 3, como se pode ver na imagem abaixo.

Estimada numa área total de 2.9 ha e precipitação em termos de altura que a água atinge quando a ocorrência de inundações devido a influência das águas do mar estimada em 700 mm conforme (apêndice I).

DIMENSIONAMENTO DA BACIA DE RETENÇÃO

Por forma a facilitar a compreensão do processo de cálculo necessário ao dimensionamento de uma bacia de retenção, optou-se por aplicar apenas um dos métodos expostos para cada passo.

Caracterização e definição dos parâmetros da área de drenagem intervencionada

Conforme estimado a bacia 3 tem uma área de 28,6 ha (0,286 Km^2), admitindo um período de retorno de 5 anos, e cujas características principais se encontram resumidas na (Tabela 5) obtidos directamente do Google Earth como se pode ver no (apêndice II). A ocupação principal do solo consiste predominantemente em actividades desportivas, optando-se por considerar para a situação de pré-urbanização, C=0,20 e para a situação de pós-urbanização, C=0,35.

Tabela 3 - Características da bacia 3 em análise. (Autor)

Característica	Valor
Área (ha)	28,6
Perímetro [Km]	3,47
Comprimento da linha de água principal [Km]	1.7
Cota extrema inicial da linha de água principal [m]	3
Cota extrema final da linha de água principal [m]	4
Diferença entre as cotas extremas da linha de água [m]	1
Declive máximo da linha de água principal [%]	4,4
Declive médio da linha de água principal [%]	0,9
Parâmetros das curvas I-D-F [-]	a = 694,50 b = - 0,5938

Tabela 4 - Coeficientes de escoamento considerados para os períodos de pré e pós-urbanização. (Autor)

Situação	Coeficiente de escoamento, C [-]
Pré-urbanização	0,20
Pós-urbanização	0,35

Cálculo do tempo de concentração

Com base nos dados das características e condições da bacia hidrográfica referido, utilizou-se a metodologia proposta por Kirpich para a determinação do tempo de concentração. Cálculo de tc:

$$\mathrm{tc} = 0{,}0663 \times \frac{\mathrm{L}^{1{,}155}}{\Delta\mathrm{h}^{0{,}385}} \tag{2.1}$$

Em que, tc [h] é o tempo de concentração, L [Km] é o comprimento da linha de água principal, Δh [Km] é a diferença entre as cotas extremas da linha de água principal

$$\mathrm{tc} = 0{,}0663 \times \frac{\mathrm{L}^{1{,}155}}{\Delta\mathrm{h}^{0{,}385}} = 0{,}0663 \times \frac{1{,}7^{1{,}155}}{0{,}001^{0{,}385}} \tag{2.1a}$$

Pela fórmula de Kirpich o tempo de concentração seria:

$$\mathrm{tc} = 1{,}75\mathrm{h} \tag{2.1b}$$

Que em minutos seria:

$$\mathrm{tc} = 105\mathrm{min} \tag{2.1c}$$

Determinação da intensidade de precipitação

Em função dos parâmetros **[**a e b**]**, em Moçambique a quase inexistente rede de pluviógrafos. Como solução, tem-se recorrido ao Decreto nº 30/2003, de 1 de Julho, no seu anexo 11, que apresenta relações Intensidade-Duração-Frequência (I-D-F) deduzidas para Maputo, para durações de 15 minutos a 180 minutos e períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 e 50 anos. Deste modo, caso se pretenda obter relações I-D-F para qualquer outra região do País é necessário multiplicar as obtidas para Maputo pelo coeficiente de regionalização pluviométrica da área de interesse, que varia de 0,7 para as regiões mais secas até 1,5 para as regiões mais húmidas, baseados no estudo de (Chivambo & Gonzalez, 2000).

De acordo com o (anexo II) verifica-se que a cidade da Beira se localiza na zona climática D, com coeficiente pluviométrico de Kd =1,5 e para o período de retorno considerado, a intensidade de precipitação foi determinada pela aplicação de uma função do tipo exponencial:

$$I = axt^b \quad (2.2)$$

$$a = 694{,}50 \quad (2.2a)$$

$$b = -0{,}5938 \quad (2.2b)$$

$$tc = 105\ \text{min} \quad (2.2c)$$

$$I = axt^b = 694{,}50 \times (105)^{-0{,}5938} \quad (2.2d)$$

$$I = 43{,}80\text{min/h} \quad (2.2e)$$

A intensidade de precipitação acima calculada refere-se a cidade de Maputo, para que seja da cidade da beira é necessário que a intensidade de precipitação acima calculada seja multiplicada por um coeficiente pluviométrico de Kd =1,5.

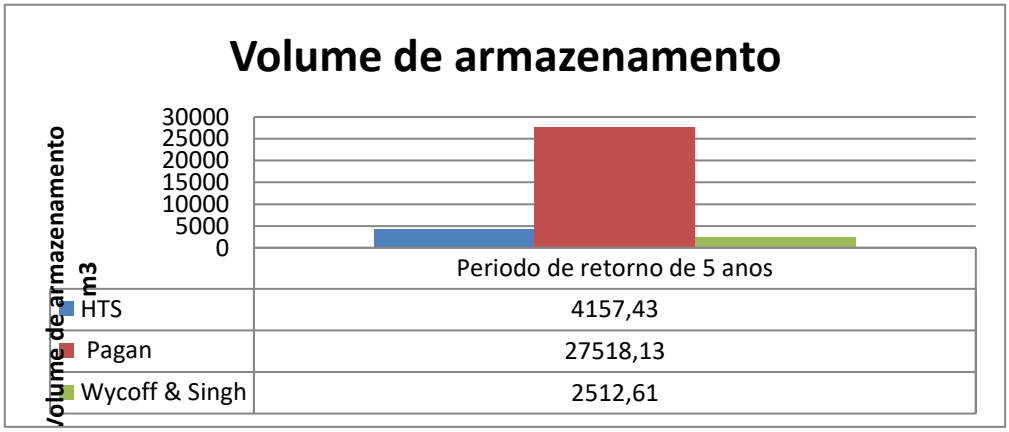
$$I = 1{,}5 \times 43{,}80\text{min/h} \quad (2.2f)$$

$$I = 65{,}7\text{min/h} \quad (2.2g)$$

Que corresponde a intensidade de precipitação para a bacia em análise.

Cálculo do caudal de ponta para as situações de pré e pós-urbanização

O caudal de ponta será determinado pela aplicação da fórmula racional, quer para as condições de pré-urbanização, quer para as condições de pós-urbanização



Estes resultados, principalmente do Método de regressão de Pagan conduz a resultados altos, sendo que os resultados obtidos pelos métodos expeditos (Método de Wycoff & Singh e Método do Hidrograma Triangular Simplificado) revelam que é necessário um volume entre 2600 m^3 a 4200m^3 no período de 5 anos, para reduzir o pico de escoamento ao nível desejado, isto para o encaixe das águas pluviais sem contar com o volume das águas marítimas que de seguida será calculada abaixo.

CONCLUSÃO

Em conclusão, a implantação de uma bacia de retenção para águas pluviais NA Zona de Marocanhe, Cidade da Beira, é crucial para atenuar os problemas e mitigar os impactos das inundações em assentamentos formais e informais dos Bairros circunvizinhos. O projecto proposto, visa criar uma infraestrutura resiliente capaz de gerenciar eficientemente as águas pluviais, reduzindo os riscos nestas áreas propensas a inundações em casos de eventos

climáticos extremos e mares altas, protegendo assim consequentemente a comunidade contra eventos adversos. Ao considerar a topografia local e os padrões climáticos, tornou-se evidente que a implantação da bacia de retenção se revela como um elemento-chave na redução dos riscos de inundações nos referidos Bairros. A integração de sistemas de drenagem eficientes, possibilita um gerenciamento mais preciso e adaptável às condições climáticas variáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Águas de Coimbra, (2014a). Execução de Bacias de Detenção/Retenção de Águas Pluviais,Especificação Técnica de Trabalhos, ESPTRA113-03, Águas de Coimbra.

Águas de Coimbra, (2014b). Manutenção de Estruturas de Armazenamento de Águas Pluviais, Especificação Técnica de Trabalhos, ESPTRA115-01, Águas de Coimbra.

Akan, A. O., & Houghtalen, R. J. (2003). Urban Hydrology, Hydraulics, and Stormwater Quality: engineering aplications and computer modeling. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

ARTIGO Nº23519

COLAPSO DA PONTE HINTZE RIBEIRO: ERROS & LIÇÕES APRENDIDAS

Fabricio S. Gaspar[1(*)], João P. Martins Gouveia [2], António J. Pedroso de Moura Correia [2]

[1] Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC) - Coimbra, Portugal
[2] Instituto Politécnico de Coimbra, SUScita & Inst. Sup. de Engenharia de Coimbra (ISEC), - Coimbra, Portugal
(*) *Email:* fabriciog9797@gmail.com; a2023100030@isec.pt

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo fazer o levantamento de informações técnicas e analisar o colapso da Ponte Hintze Ribeiro (Entre-os-Rios, 2001), procurando identificar os fatores que levaram ao acidente e refletir sobre como a engenharia pode aprender com este tipo de eventos, de forma a evitar a sua repetição. O estudo baseia-se em relatórios oficiais, dados hidrológicos e registos de inspeções técnicas. Pretende-se, assim, compreender as causas do acidente e refletir criticamente sobre o papel da engenharia na prevenção de tragédias semelhantes, promovendo uma cultura de segurança, responsabilidade e aprendizagem contínua.

***Palavras-chave**:* erosão, riscos, inspeção, manutenção, infra(estruturas).

INTRODUÇÃO

Durante o desenvolvimento do projeto de uma ponte, uma das principais preocupações do engenheiro responsável é garantir que as ações às quais a estrutura será submetida ao longo da sua vida útil tanto durante a construção como na fase de operação não excedam a sua capacidade resistente.

Porém, apesar de todo o rigor técnico, é impossível assegurar com total certeza que uma estrutura estará sempre imune ao colapso. Isso é devido à aleatoriedade das ações externas (como fenómenos naturais) e, sobretudo, à possibilidade da ocorrência de erros humanos graves, seja em projeto, construção, inspeção ou manutenção. A história da engenharia civil contém vários exemplos de colapsos estruturais que evidenciam essas vulnerabilidades.

Para poder alcançar esse objetivo, uma das formas mais eficazes é estudando e analisando acidentes ocorridos no passado, compreendendo as suas causas e aprendendo com os seus erros. Dessa forma, deve ser considerada a aplicação desse conhecimento para a melhoria contínua de futuros projetos, na definição de normas mais seguras e na formação de profissionais mais conscientes.

BREVE HISTÓRIA

A Ponte Hintze Ribeiro, localizada em Entre-os-Rios, começou a ser construída em fevereiro de 1884, tendo sido aberta ao publico em setembro de 1888. Foi elaborada pelo Engenheiro António Ferreira de Araújo e Silva, que redigiu a memória descritiva em 1881, aprovada por decreto de 1882. (https://app.parlamento.pt/comunicar/v1/202107/75/artigos/art8.html). A ponte foi construída sobre uma curva do rio Douro, nas proximidades da foz do rio Tâmega. Na década de 1980, foi construída a barragem de Crestuma–Lever a jusante, cujo reservatório (criado pela acumulação da água da barragem) passou a atingir a ponte, afetando os seus pilares. Acima da localização da ponte situam-se ainda a barragem de Carrapatelo, no rio Douro, e a

barragem do Torrão, no rio Tâmega, ambas com influência no caudal que ali atravessa. (https://www.researchgate.net/profile/Jose-Antunes-Do-Carmo/publication/359404099)



Figura 1. Ponte Hintze Ribeiro: a) ano de 1908 - Phot.ª Guedes; b) vale e areal do Rio Douro. (https://monumentosdesaparecidos.blogspot.com/2009/10/ponte-hintze-ribeiro.html)

Os relatórios de construção da Ponte Hintze Ribeiro (https://catalogobib.parlamento.pt:82/images/winlibimg.aspx?skey=&doc=68460&img=16604&save=true) apresentam registos fotográficos pode-se observar um caudal de rio bastante pequeno e um imenso areal, antes da construção da barragem de Crestuma-Lever. Para alem da vulnerabilidade associada à sua localização geográfica, a estrutura também não ficou imune aos acontecimentos históricos da evolução política do país. Durante a Revolta Monárquica do Norte, em 1919, a ponte foi parcialmente destruída por explosivos, o que causou danos significativos num dos pilares e no tramo extremo do tabuleiro, próximo à margem esquerda do rio Douro, do lado de Castelo de Paiva. (https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Hintze_Ribeiro)

A reparação desses danos iniciou-se após a elaboração de um caderno de encargos, em março de 1926, sendo os trabalhos de reabilitação concluídos em março de 1928. Posteriormente, no ano de 1959, a ponte foi alvo de uma nova intervenção, desta vez associada ao desenvolvimento urbano, com a obra de alargamento da faixa de rodagem, para se adaptar ao aumento do tráfego rodoviário e às exigências funcionais que surgiram ao longo do século XX. (https://www.publico.pt/2002/03/13/sociedade/noticia/ha-exactamente-um-ano-73261). Esta intervenção não impediu, contudo, que poucos anos depois a população e responsáveis locais reclamassem por uma vistoria, com a realização de nova intervenção na ponte, que começava a dar sinais de alguma degradação. (https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Hintze_Ribeiro)

O COLAPSO

Na noite de 4 de março de 2001, ocorreu o colapso parcial da Ponte Hintze Ribeiro, infraestrutura que assegurava a ligação entre os concelhos de Penafiel e Castelo de Paiva. A tragédia registou-se na sequência da quinta cheia significativa do rio Douro desde dezembro de 2000, todas com caudais superiores a 8000 m³/s. O colapso envolveu um dos pilares da ponte e dois tramos do tabuleiro que nele assentavam, bem como um terceiro tramo adjacente. No momento do acidente, atravessavam a ponte veículos ligeiros e de veículos pesados de passageiros, que caíram ao rio. A tragédia deu-se após vários dias de chuvas intensas, que provocaram um aumento significativo do caudal e da força da corrente do rio Douro, contribuindo para a instabilidade da infraestrutura. Contudo este desastre teve um forte impacto nacional, levantando duvidas CRUCIAS sobre a manutenção das infraestruturas e gestão de risco. (The Hintze Ribeiro Bridge Collapse and the Lessons Learned, Journal: River Basin Management - Sustainability Issues and Planning Strategies, 2021, ISBN: 9781839681318)

DESCRICAO DA PONTE

Considera-se fundamental apresentar uma breve caracterização da estrutura da antiga Ponte Hintze Ribeiro, de forma a permitir uma compreensão mais rigorosa dos mecanismos que conduziram ao seu colapso estrutural. A estrutura *"tinha um comprimento total de 300 metros, com dois tramos extremos de 25 metros, simplesmente apoiados, e cinco tramos interiores, contínuos, com 50 metros de vão. A zona contínua do tabuleiro é constituída por duas vigas, com uma altura de 4,7 metros, realizadas por um banzo superior e outro inferior ligados por uma treliça múltipla com barras inclinadas a 45º. O tabuleiro é constituído por uma laje em betão que se apoia nas vigas laterais. As vigas metálicas apoiam-se, através de aparelhos de apoio, em pilares".* (VELOSO GOMES ET AL. 2001.)

A plataforma superior, destinada ao tráfego rodoviário, tinha uma largura total aproximada de 5,9 metros, incluindo os passeios. A estrutura principal era composta por um tabuleiro metálico em ferro pudelado, sobre o qual assentava uma laje de betão e duas vigas principais de alma rota, contraventadas entre si. Cada alma era constituída por uma treliça múltipla com diagonais e contra-diagonais dispostas a 45º. Os tramos intermédios do tabuleiro apoiavam-se em seis pilares de alvenaria de granito, com alturas variando entre 15 e 30 metros, todos revestidos a alvenaria da mesma rocha. Os tramos extremos estavam apoiados em encontros de pedra (granito) e nos pilares adjacentes.

SINTESE DO RELATORIO EXISTENTE (VELOSO GOMES ET AL. 2001.)

Na sequência do colapso da antiga Ponte Hintze Ribeiro foram conduzidas diversas investigações técnicas e periciais com o objetivo de apurar as causas do incidente. Estas diligências resultaram num processo judicial de averiguação das responsabilidades associadas ao sucedido.

O presente relatório apresenta uma síntese das conclusões constantes no Relatório dos Peritos sobre a Queda da Ponte Hintze Ribeiro, elaborado no âmbito da investigação técnica coordenada por Veloso Gomes *et al.* (2001). A Figura 2, apresenta um esquema longitudinal da antiga Ponte Hintze Ribeiro, no qual se ilustra a evolução do nível do leito do rio na secção da ponte entre os anos de 1913 e 2001.

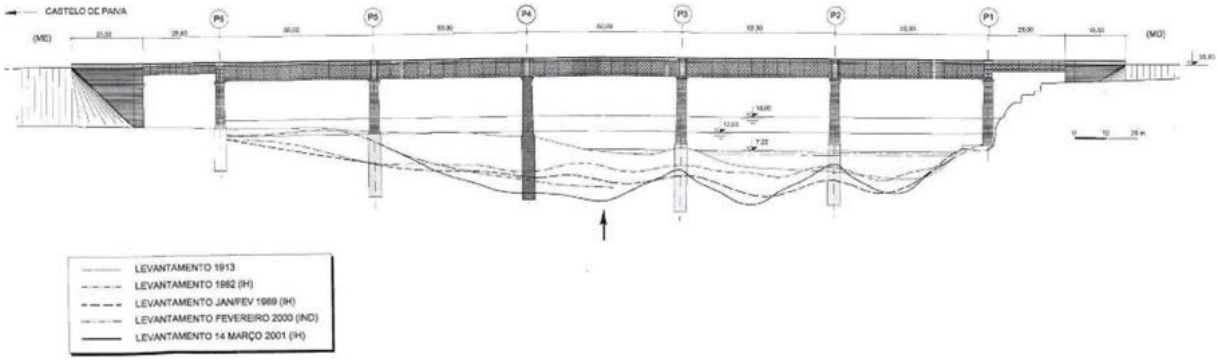


Figura 2. Esquema longitudinal da Antiga Ponte Hintze Ribeiro sobre o Rio Douro, em Entre-os-Rios, e evolução do nível do leito do rio nesta secção entre 1913 e 2001.

O pilar acidentado, o pilar P4, foi fundado no leito do rio através de um método *"que começava a ser usado na época, que consistia na utilização de um caixão metálico progressivamente enterrado nos aluviões do leito do rio, no qual era injectado ar comprimido para permitir o trabalho no seu interior, e de dentro do qual era retirado o material aluvionar e substituído por um material resistente"*. Pelas inspeções realizadas e referidas no relatório estima-se que as chapas tivessem *"uma espessura de 3 milímetros, a que se associavam anéis mais rígidos"*.

O pilar P4 *"tinha uma altura total de 40,9 metros"*. Do relatório da inspeção, efetuada em 1986 *"infere-se que a altura do pilar propriamente dito era da ordem dos 25 metros e a do caixão era da ordem dos 16 metros. A parte realizada com o caixão metálico tem uma secção com um comprimento de 9,7 metros, com as extremidades semicirculares com um raio de 2,0 metros e uma largura de 4,0 metros. O troço parcialmente visível tem uma secção ligeiramente inferior à da parte envolvida pelo caixão metálico, sendo constituída por um revestimento exterior em alvenaria aparelhada – cantaria de granito –, preenchida no interior com uma alvenaria argamassada. O enchimento do caixão metálico era semelhante ao do pilar".*

No perfil longitudinal apresentado na Figura 2, observam-se as linhas das diferentes camadas associadas a alterações morfológicas ocorridas nas zonas de afetação da ponte, que serão abordadas com maior detalhe nas secções seguintes. Ao nível de eventuais medidas de proteção existentes, refere-se sobre o pilar P4, que "*na altura do acidente não existia qualquer obra de protecção da fundação, nomeadamente um enrocamento, e tudo leva a crer que nunca tenha existido, ao contrário dos pilares P2 e P3 que dispunham dum enrocamento de protecção*".

Um dos problemas suscitados em sede judicial relacionou-se com o estado de conservação da estrutura, tendo em consideração que a ponte foi construída no final do século XIX. Embora o tabuleiro apresentasse dimensões adequadas face às exigências do tráfego rodoviário presentes, nomeadamente, a impossibilidade de cruzamento simultâneo de dois veículos pesados é referida sobre a estrutura da ponte que "*as condições de conservação podem considerar-se globalmente boas*" e que "*em relação ao estado de conservação dos pilares não se detectam anomalias nas partes emersas*". Relativamente à conservação dos elementos de fundação, com particular interesse aos caixões metálicos, é indicado com base numa inspeção subaquática realizada por mergulhadores, em 1986, que "*o ferro encontra-se em bom estado, apenas com pequenos nódulos de ferrugem em vários pontos e não é desagregado pela faca, enquanto que para os pilares P2 e P3 se refere que a chapa de ferro se encontra muito corroída, havendo extensas áreas onde já não existe... (pilar P2) e que o ferro ou liga metálica que serviu de cofragem... desapareceu quase completamente (pilar P3)*". É dito, também, que "*o tabuleiro dispunha de bastante capacidade resistente para o tráfego rodoviário que circulava*".

Nos relatórios de inspeção e de observação sobre o estado da ponte e das suas fundações, discute-se a importância das características do material do fundo que envolve os elementos de fundação no desenvolvimento das cavidades de erosão. Especificamente, para os pilares P2, P3, P4 e P5, que estavam localizados no leito menor do rio, ou em suas proximidades, foi identificado que estavam assentes sobre aluviões arenosas e que, após a queda da ponte, se verifica que a espessura entre a base do caixão de fundação e o maciço granítico "*era da ordem dos 13 metros, no pilar P2, dos 6 metros, no pilar P3, dos 5 metros, no pilar P4, e dos 4 metros, no pilar P5*". (Veloso Gomes et al., 2001). No Quadro 1 são apresentadas as cotas das aluviões após as sondagens realizadas (em 2001) na secção da ponte, pelas empresas Tecnasol FGE e Somague Engenharia. (Pontes construídas sobre fundos aluvionares – o colapso da Ponte Hintze Ribeiro. Revista Recursos Hídricos, vol. 29, n.º 2, pp. 41–58. APRH)

Quadro 1 – Cotas das aluviões da antiga Ponte Hintze Ribeiro, medidas em metros (Veloso *et al.*, 2001).

Sondagens	S102	-	S103	-	S104	-	S105	-	S106
Cota do topo das sondagens	0,97	-	-7,33	-	-10,50	-	1,17	-	13,71
Pilares	-	P2	-	P3	-	P4	-	P5	-
Cota da base dos caixões	-	-8,12	-	-13,97	-	-10,37	-	-6,39	-
Cota da base das aluviões	-1,4	-21,0 (*)	-24,8	-20,0 (*)	-16,5	-15,3 (*)	-12,8	-10,5 (*)	-1,3
Espessura das aluviões sob a base dos caixões	-	12,9 m	-	6,0 m	-	4,9 m	-	4,1 m	-

(*) Inferida com base nos resultados das sondagens

Caracterizando a base de fundação em termos geotécnicos, pode referir-se que as "*aluviões eram arenosas e cascalhentas compactas com valores dos ensaios SPT crescentes em profundidade, entre as 30 pancadas, no topo da formação, e 50 pancadas, na base*" e que, abaixo desta camada existia "*granito com graus de alteração diversos (essencialmente, W_{4-5}, muito alterado a decomposto, e W_2, pouco alterado) e alternados, a que correspondem sempre valores elevados dos ensaios SPT*" (Veloso Gomes et al., 2001).

Do ponto de vista da engenharia é importante a compreensão do mecanismo de rotura da estrutura para a análise do evento. *"A rotura do tabuleiro verificou-se nas secções próximas dos pilares P3 e P5, por aí se terem desenvolvidos esforços incompatíveis com sua capacidade resistente resultantes da cedência do pilar P4, já que o tabuleiro passou a apoiar-se nesses dois pilares e, portanto, com um vão duplo do inicial (aproximadamente quadruplicando os valores dos esforços desenvolvidos), a que acresce o efeito dinâmico desenvolvido pelo desaparecimento súbito do pilar P4"* (Veloso Gomes et al., 2001).

O mecanismo de rotura apresentado no relatório como sendo o mais provável, apesar de toda a dificuldade de caracterização, é o seguinte: "*A base do pilar P4 deve ter rodado em torno de um eixo sensivelmente perpendicular à direcção que agora, depois do colapso, o pilar possui (aproximadamente 30º para montante em relação ao eixo da ponte, em direcção ao pilar P3). Essa rotação deve ter sido originada pelo facto de o bordo arredondado mais a Norte (zona de montante) ter assentado, o que ocasionou a perda de equilíbrio do pilar. Depois de se ter iniciado a rotação acima referida durante o processo de derrubamento, o pilar rodou sobre o seu próprio eixo, tendo a sua face lateral direita (Norte) vindo a ficar assente no leito do rio*". É referido, também, que "*nas fases iniciais do colapso do pilar, ele se tenha fracturado em duas grandes porções, o que, eventualmente, pode ter sido causado por alguma oposição ao derrube que se tenha desenvolvido na ligação ao tabuleiro. As restantes fracturas que o pilar apresenta devem ter ocorrido quando assentou no leito, presumivelmente ondulado, do rio*".



Figura 3 – Ponte Hintze Ribeiro com alto caudal apos a queda do pilar (https://sicnoticias.pt/pais/2021-03-04-20-anos-da-tragedia-de-Entre-os-Rios-1).

Segundo a análise dos Peritos, a principal causa associada ao colapso estrutural foi a ocorrência de processos erosivos no material aluvionar que compunha a fundação, induzidos pelo intenso hidrodinamismo verificado nas proximidades do evento. Esta condição foi agravada pela extração de areias na região causando a instabilização progressiva do solo de fundação. É dito no relatório que *"atendendo à rapidez com que se deu a queda do pilar P4, à posição que veio ocupar (deitado para o lado do Pilar P3 e fazendo um ângulo de cerca de 30º, para montante, com a direcção do eixo da ponte) e aos dados batimétricos que apontam nesse sentido, os signatários consideram como mecanismos mais prováveis os que têm como causa principal a erosão do terreno sob a base do caixão".* A partir da análise dos resultados obtidos por diversos levantamentos e sondagens geotécnicas realizados é possível concluir que *"na zona de implantação do pilar P4, o rebaixamento do leito do rio foi superior ao verificado junto dos restantes pilares da ponte de tal forma que terá atingido a cota da base do caixão de fundação".* Comparando os resultados dos levantamentos efetuados em 1986 e 2001 é possível comprovar a existência deste processo. Contudo, *"constata-se que, no caso do pilar P2, a evolução entre as situações detectadas nos dois momentos de inspecção são pouco relevantes. Outro tanto se verifica do lado direito do pilar P3, ou seja, do lado virado para o pilar P2. Em contrapartida, na face do pilar P3 pertencente ao vão entre os pilares P3 e P4 ocorreu, entre aquelas duas datas, uma muito importante erosão localizada do enrocamento, tendo a sua cota junto à face do pilar baixado entre 7 e 9 metros".*

A análise da Figura 1 permite observar a evolução do nível do leito do rio na secção da ponte entre 1913 e 2000. É possível verificar a descida acentuada da altura de material aluvionar acima da base dos caixões dos pilares, especialmente no pilar P4. Entre os anos de 1913 e 1982, não foram realizados levantamentos batimétricos do leito do rio, o que apresenta um lapso temporal significativo na coleta de dados. Apesar de não se conhecer o comportamento ao longo deste tempo é plausível considerar que o rebaixamento do leito *"sofreu um agravamento algures entre 1913 e 1982, momento esse que, provavelmente, terá coincidido com a construção das barragens do Rio Douro e com o aumento da quantidade de areias extraídas, sendo, portanto esse agravamento consequência desses factores"* (Veloso Gomes et al., 2001). Na Figura 4, observa-se a presença de fundões tanto a montante quanto a jusante da ponte, por meio de uma planta da área, apresentada com escalas distorcidas. Os valores das profundidades indicadas correspondem às variações verificadas entre o levantamento realizado em 1982 e o levantamento subsequente efetuado em 2001, após o acidente, pelo Instituto Hidrográfico.

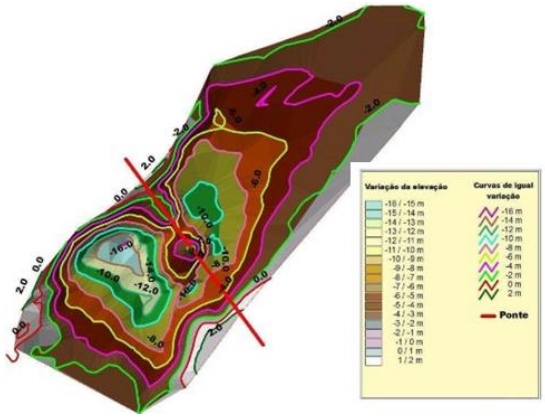


Figura 4 – Alteração das profundidades na zona da Ponte de Entre-os-Rios comparando os levantamentos do Instituto Hidrográfico entre abril de 2001 e 1982. Planta com escala distorcida (Veloso *et al.*, 2001).

O desenvolvimento dos processos erosivos e a sua capacidade de remoção de sedimentos do leito fluvial estão diretamente relacionados aos caudais que atravessam a secção da ponte. Conforme já abordado durante a análise, o ano hidrológico de 2000/2001 apresentou condições severas em termos de cheias no Rio Douro. Com base nos caudais registados pela Barragem do Carrapatelo, localizada a montante da ponte, a partir de 1982, destacam-se os seguintes anos hidrológicos:

- "84/85 com valores médio, máximo e mínimo do caudal médio diário, respetivamente, iguais a 1026, 4267 e 0 m3/s;
- 89/90 com valores médio, máximo e mínimo do caudal médio diário, respetivamente, iguais a 1382, 9547 e 392 m3/s;
- 95/96 com valores médio, máximo e mínimo do caudal médio diário, respetivamente, iguais a 1858, 8084 e 96 m3/s;
- 97/98 com valores médio, máximo e mínimo do caudal médio diário, respetivamente, iguais a 1224, 3589 e 365 m3/s;
- 95/96 com valores médio, máximo e mínimo do caudal médio diário, respetivamente, iguais a 2815, 7737 e 999 m3/s".

É referido, com base nos caudais atrás apresentados, que *"efectivamente é a persistência do caudal ocorrido no ano hidrológico de 00/01, traduzida pelo valor médio do caudal médio diário – 104% e 52% superior aos de 89/90 e 95/96, respectivamente –, que permite explicar o radical abaixamento do leito do rio junto ao pilar P4. No mesmo sentido, é, ainda, de relevar a grandeza do valor mínimo do caudal médio diário, muito superior ao de qualquer outro ano hidrológico analisado, o que significa a inexistência de períodos de acalmia que permitissem a reposição de algum material sólido erodido nos dias mais caudalosos".* Contudo, é importante referir que até à data da queda da ponte já tinham ocorrido cinco cheias nesse ano, o que nunca se tinha verificado desde o ano hidrológico de 1727/1728. Na Figura 5 é apresentado o hidrograma de cheia correspondente aos caudais médios horários entre as zero horas do dia 4 de Março até às doze horas do dia 5 de Março de 2001.

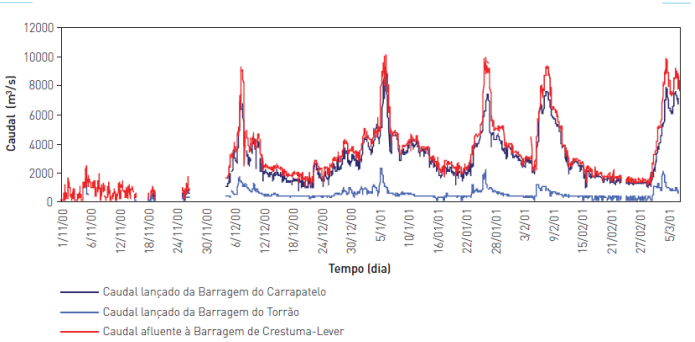


Figura 5 – Caudais instantâneos lançados das barragens de Carrapatelo e do Torrão e os caudais instantâneos afluentes à barragem de Crestuma-Lever que resultaram de observações efetuadas em intervalos de tempo de uma hora. (Recursos Hídricos – Revista da APRH, v. 29, n. 2)

Outra das causas identificadas para os processos que culminaram na queda da ponte é a extração de areias, tanto a montante quanto a jusante da secção da ponte, atividade que é regularmente praticada na região. Anos antes do acidente, foi noticiado na imprensa a ocorrência de extrações clandestinas. Contudo, *"essas hipotéticas extracções de sedimentos seriam altamente gravosas para a segurança das fundações da ponte".*

A monitorização da extração de areia na albufeira de Crestuma era inadequada ou até mesmo inexistente. No mesmo relatório, é mencionado o *"Relatório Final sobre as Causas do Sinistro Ocorrido na Ponte de Entre-os-Rios"* em que é dito que *"a extracção de inertes no Rio Douro, e em particular na barragem de Crestuma, continuaram a ser feitos sem o suporte de planos específicos e de estudos técnicos que demonstrem que, entre outros valores de natureza ambiental, não é afectada a integridade do leito e margens" e que "não parece existir uma fiscalização adequada das actividades de extracção de inertes no Rio Douro".*

LICOES APRENDIDAS

Numa inspeção subaquática realizada em dezembro de 1986 pela Investigação e Técnica Submarina, ITS, verificou-se que *"a cota do terreno em volta do pilar P4 se encontrava cerca de 6 metros abaixo das correspondentes aos pilares P2 e P3"*. O pilar P4, ao contrário dos outros dois, não apresentava qualquer proteção em enrocamento natural, pelo que foi sugerida a sua colocação. Também, foram feitos alertas para a necessidade de reparações nas sapatas dos pilares P2 e P3. A colocação de enrocamento em redor do pilar P4 não se justificava, pelo que a sugestão foi rejeitada. Contudo, em 1989 optou-se apenas pela realização de obras de arranjos, *"sem intervenções nos pilares, não houve capacidade para perceber que tinha ficado por resolver a questão suscitada pela recomendação da ITS respeitante à protecção em banqueta de enrocamento do pilar P4".* Em suma, *"mais do que falta de fiscalização e de manutenção o que parece ter havido foi uma falta de percepção clara da possibilidade de progressão da erosão dos fundos que pudesse por pôr em perigo a estabilidade das fundações da ponte"*. Contudo, é referido no Relatório dos Peritos que *"em 1986 uma análise mais profunda da situação do leito na vizinhança do pilar e das condições de fundação teria exigido uma intervenção correctora ou mitigadora".* Como foi referido anteriormente, estes tipos de pontes em particular, devido ao carácter das suas fundações, necessitam de inspeções visuais mais detalhadas. Contudo, *"tanto quanto se conhece, não existe, em Portugal, regulamentação ou normas que estipulem com carácter obrigatório procedimentos relativos à inspeção de pontes".* (Veloso Gomes et al., 2001)

Em Portugal, a atividade de inspeção e manutenção de pontes permanece desprovida de um quadro legal de carácter vinculativo, sistemático e uniformizado a nível nacional, que estabeleça, de forma rigorosa e obrigatória, os critérios técnicos, metodologias, periodicidades e tipologias de inspeção a aplicar, incluindo as inspeções especializadas, como as subaquáticas, que e o caso em questão, fundamentais para a deteção preventiva de patologias estruturais, avaliação da segurança e garantia da durabilidade dos elementos de fundação submersos.

Embora existam instrumentos normativos dispersos, como regulamentos técnicos sectoriais e orientações internas dos concessionários ou gestores de infraestruturas, estes não têm força de lei universal. Assim, a responsabilidade de inspeção recai essencialmente sobre os gestores das infraestruturas rodoviárias ou ferroviárias, como:

- Infraestruturas de Portugal (IP): para pontes em vias rodoviárias e ferroviárias sob gestão pública
- Câmaras Municipais: para pontes em estradas municipais
- Concessionárias privadas: no caso de autoestradas e outras infraestruturas delegadas

A IP, por exemplo, segue procedimentos baseados em sistemas internos de gestão de ativos como o Sistema de Gestão de Obras de Arte (SGOA), que inclui inspeções visuais de rotina, inspeções principais e em situações específicas ou de elevado risco, inspeções especializadas (incluindo subaquáticas) como o presente caso. Contudo, estas práticas, apesar de técnicas, não derivam de obrigações legais normalizadas, e podem variar consoante critérios internos, orçamento ou prioridades operacionais. (https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/estado-de-conservacao-das-obras-de-arte-rodoviarias-e-ferroviarias-da-ip).

MEDIDAS PREVENTIVAS E CURATIVAS:

IMPORTÂNCIA DAS MEDIDAS DE PROTEÇÃO E DE PREVENÇÃO.

As medidas de proteção dos problemas de erosão são definidas como medidas introduzidas no sistema constituído pela ponte e pelo rio, com o objetivo de monitorizar, inibir, alterar, retardar ou minimizar a instabilidade do rio ou os processos de erosão na ponte. Estas podem atuar no controlo da inclinação do leito, na proteção e estabilidade de margens e taludes, na alteração das condições do escoamento e na proteção local de pilares e encontros da ponte. A monitorização e a realização de inspeções periódicas às fundações e à zona envolvente da ponte são consideradas, por diversos investigadores, duas medidas de proteção e de prevenção (LAGASSE ET AL. 2001).

MEDIDAS PREVENTIVAS A CONSIDERAR NA FASE DE PROJETO DE UMA NOVA PONTE.

Devem ser previstas medidas de proteção suplementares, como o enrocamento natural ou artificial, sistemas de gabiões, etc., de modo a aumentar a segurança da ponte. Contudo, devem ser uma segunda linha de defesa como apoio às medidas de carácter estrutural adotadas. O projetista deve aproveitar o facto de ter mais opções aquando da construção de uma nova ponte para garantir a sua estabilidade ao longo da sua vida útil. Em termos gerais, estas opções podem ser descritas da seguinte forma (AGRAWAL ET AL. 2007).

- seleção de uma localização apropriada para a ponte, longe de confluências, curvas ou barragens
- construção de uma estrutura com maiores vãos, reduzindo a contração do escoamento

- colocação de fundações mais profundas e estáveis
- planeamento e construção de medidas de controlo do escoamento aquando da construção da ponte, por forma a aproveitar a redução de custos, dado que o equipamento e mão-de obra necessários se encontram então no local.

A escolha da localização da ponte é um dos fatores mais importantes na prevenção de fenómenos de erosão em pontes. Dado que as características geológicas e hidráulicas de um rio sofrem mudanças ao longo do tempo é aconselhável realizar estudos que afastem a ponte, se possível, de locais instáveis.

Quadro 2 - Recomendações para o dimensionamento de novas pontes de atravessamento fluvial (adaptado de AGRAWAL ET AL. 2007)

Componente da estrutura da ponte	Ação recomendada	Vantagens	Desvantagens
Localização da ponte	Trechos retos do rio.	Perfil de velocidades mais uniforme.	Aumento das dimensões da ponte com agravamento nos custos.
	Evitar secções em curva ou a jusante de curvas, confluências e barragens.	Redução da profundidade de erosão total e da turbulência do escoamento.	Dificuldades no traçado em planta para garantir que a ponte esteja implantada num segmento reto.
Direção do escoamento	Alinhar os encontros e os pilares com o escoamento.	Redução da profundidade de erosão local devido à redução da obliquidade do escoamento	Dificuldades no traçado em planta para garantir que a ponte está alinhada com o escoamento.
Localização dos encontros	Colocação dos encontros de forma a não contraírem demasiado o leito principal e, se possível, o leito de cheia do rio.	O desassoreamento é menor devido à maior secção do escoamento.	Aumento dos custos da ponte.
Forma dos encontros	Adoção de encontros que terminem em talude e não numa parede vertical.	Redução da erosão local nos encontros.	Maior trabalho de regularização dos paramentos.
Fundações dos encontros	Colocação de estacas a maiores profundidades.	O maior comprimento das estacas de fundação permite resistir a maiores profundidades de erosão.	Aumento dos custos na realização das estacas.
Estruturas de orientação do escoamento	Colocação de guias a montante dos encontros da ponte de modo a linharem o escoamento com a estrutura da ponte.	Redução da erosão local ao longo das fundações da ponte.	Não existem.
Localização dos pilares	Implantação dos pilares longe do talvegue do rio.	Redução da erosão por contração lateral e menor altura do pilar.	Necessário realizar levantamentos batimétricos.
Tipo de pilares	Utilização de pilares esbeltos.	Diminuição da tendência de acumulação de detritos.	Não existem.
Forma dos pilares	Adoção de formas esbeltas, de preferência com as extremidades em cunha ou em círculo.	Redução da erosão local devido à menor interferência no escoamento.	Aumento dos custos de cofragens e mão-de-obra.
	Forma circular.	Bom comportamento, mesmo em escoamentos oblíquos.	Aumento da interferência no escoamento.
Fundações dos pilares	Aumento da profundidade das estacas.	Menor risco para a estabilidade da ponte devido à erosão.	Aumento dos custos na realização das estacas.
Fundações assentes no solo	Colocação das fundações abaixo do nível estimado para a erosão total.	Evita-se a necessidade de aumentar a resistência das camadas de fundação.	Não existem.
Fundações assentes em rocha alterada	Determinação da resistência da rocha à erosão.	Avaliação do risco de erosão.	Não existem.
Fundações assentes em rocha	Implantação das fundações em rocha.	Estabilidade praticamente assegurada mesmo na presença de erosão.	Não existem, se a rocha não estiver a grandes profundidades.
Posição dos apoios	Posição dos apoios de ligação ao tabuleiro acima do nível de cheia de projeto.	Redução de danos nos apoios.	Aumento da altura da ponte.

Taludes da ponte	Proteção das margens a montante e a jusante da ponte com material resistente à erosão.	Controlo da largura dos leitos do rio e redução da erosão nas margens.	Custos adicionais para a realização da proteção.
Comprimento da ponte	Desenvolvimento da ponte através de múltiplos vãos ao longo de todo o leito de cheia.	Menor obstrução ao escoamento de cheia reduzindo a erosão por contração.	Aumento de custos e expropriações de edificações já existentes.
Número de vãos	Desde um vão até múltiplos vãos.	Redundância do número de apoios aumentando a segurança da ponte.	Aumento dos custos na realização das fundações quando existem vãos múltiplos.
Comprimento de vãos isolados	Aumento do seu comprimento.	Menor obstrução ao escoamento de cheia reduzindo a erosão por contração.	Aumento dos custos da ponte.
Baluarte da ponte	Preferência de muros com aberturas em detrimento de muros maciços, no caso de a ponte poder ser galgada em regime de cheia.	Aumenta a capacidade de vazão em situações de cheia e reduz a contração do escoamento.	Não existem.
Perfil do tabuleiro	Deve ser adotado um perfil em curva no plano vertical.	Aumento potencial da área de vazão do rio.	Aumento dos custos de realização dos encontros.

EXEMPLOS DE ALGUMAS MEDIDAS DE PROTECAO PARA PILARES DE PONTES

ENROCAMENTO NATURAL:

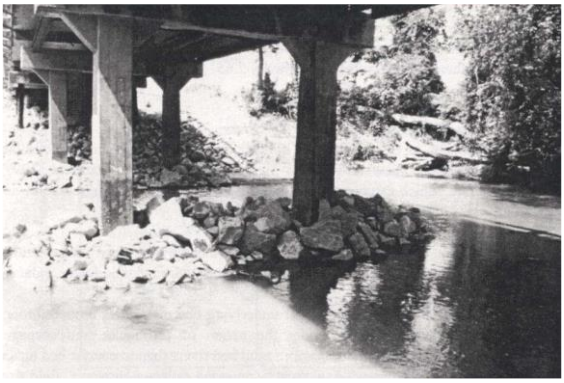


Figura 7 – Pilares da ponte protegidos com enrocamento natural (MELVILLE E COLEMAN 2000).

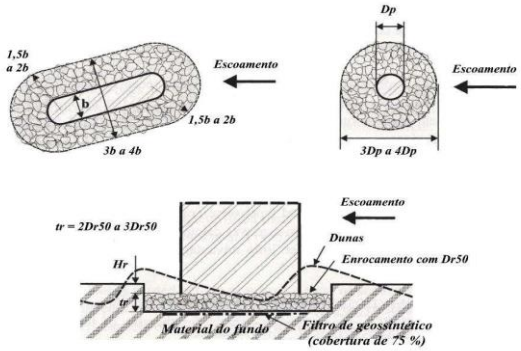


Figura 8 - Recomendações para a colocação de enrocamento natural num pilar (MELVILLE E COLEMAN 2000).

GABIÕES E COLCHÕES RENO:



Figura 9– Exemplo de aplicação de sistemas de gabiões na proteção de pilares de pontes (https://www.mdpi.com/2673-4117/1/2/13)

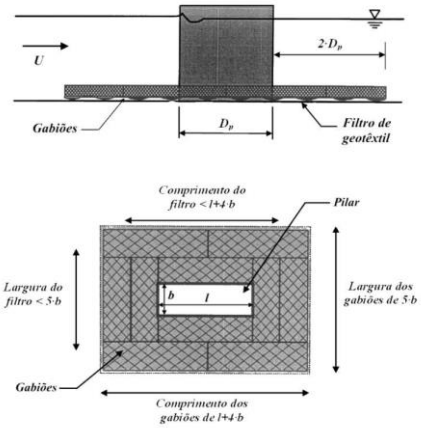


Figura 10 – Arranjos construtivos para sistemas de gabiões em pilares de pontes (AGRAWAL ET AL. 2007).

GEO-SACOS PREENCHIDOS COM AREIA OU GRAVILHA:

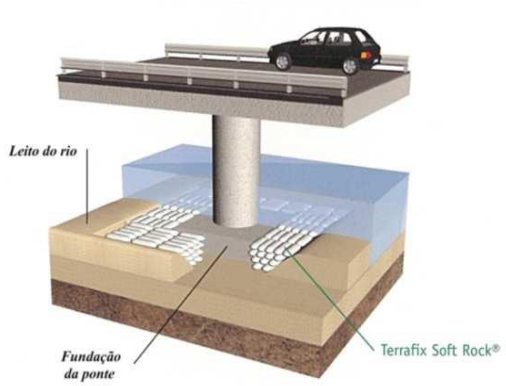


Figura 11 – Aplicação de geo-sacos preenchidos com areia na proteção de pilares de pontes (NAUE 2005)

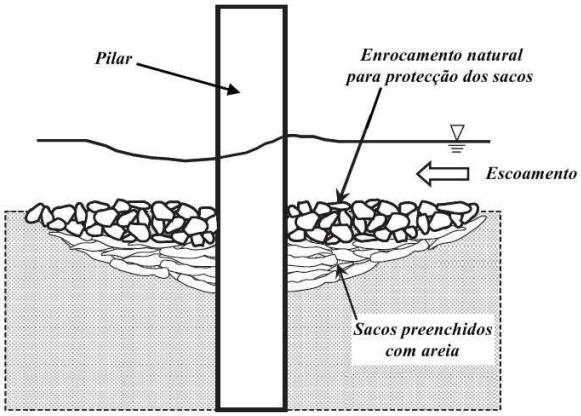


Figura 12- Geo-sacos preenchidos com areia colocados numa cavidade de erosão já existente e protegido com enrocamento natural (LAGASSE ET AL. 2007).

MONITORIZAÇÃO DE PONTES:



Figura 13 – Colocação de um sonar na face de montante de um pilar da ponte sobre o Rio Salinas na Califórnia, EUA, para medição das profundidades de erosão local



Figura 14 – Sensores sem fios com monitorização de medidor de deformação, acelerómetros e dispositivos IoT que comunicam telemetricamente os dados.

ESTACAS SACRIFICIAIS:

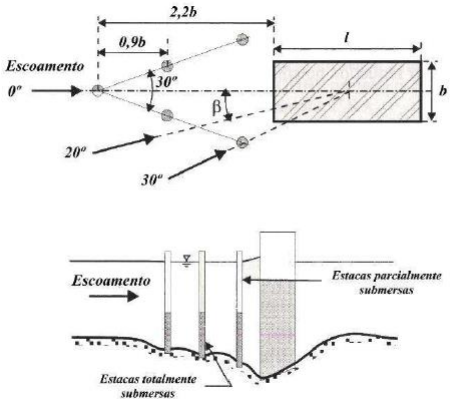


Figura 15 – Disposição das estacas sacrificiais em experiências em modelo reduzido (adaptado de MELVILLE E COLEMAN 2000).

CONCLUSÕES:

O estudo desenvolvido permitiu compreender de forma aprofundada os diversos mecanismos físicos associados ao fenómeno da erosão em pilares de pontes. Foram analisadas as principais formas de erosão fluvial, destacando-se a complexidade destes processos e o elevado número de variáveis intervenientes, o que dificulta a sua quantificação precisa.

A necessidade de previsão destes fenómenos e da quantificação das profundidades de erosão é bastante importante para o engenheiro porque permite adotar medidas que possam proteger a estrutura e as fundações da ponte.

Uma das principais conclusões do presente estudo é que a ocorrência de fenómenos de erosão em pilares fundados em leitos aluvionares não pode ser totalmente eliminada, dadas as

características naturais e dinâmicas desses meios fluviais. No entanto, é possível mitigar significativamente os seus efeitos por meio da adoção de medidas de proteção e prevenção eficazes.

Entre as soluções mais recorrentes destacam-se os enrocamentos naturais colocados em redor dos elementos de fundação, cuja função é proteger os solos mais finos contra a ação erosiva induzida pela turbulência do escoamento. Para além desta abordagem, existem outras técnicas complementares, como o uso de gabiões, colchões Reno, geo-sacos preenchidos com areia ou betão, e ainda blocos de betão articulados, cada uma com diferentes aplicações conforme o contexto hidráulico e geotécnico. Adicionalmente, podem ser empregues colares anti erosão nos pilares e estacas sacrificiais, com vista à atenuação dos efeitos localizados da escavação.

Ficou igualmente evidente que as soluções mais eficazes são aquelas que são integradas na fase de projeto da infraestrutura, particularmente na escolha criteriosa do local de implantação, na geometria e orientação dos pilares e na definição adequada da profundidade das fundações. Estas medidas de carácter preventivo, quando complementadas com programas de monitorização e inspeção regular, sobretudo após eventos extremos como as cheias, constituem a forma mais robusta de minimizar o risco de colapso por infraescavação.

A implementação sistemática de planos de inspeção subaquática e de monitorização contínua das fundações assume um papel de importância estratégica na gestão da segurança estrutural. Estes programas não apenas proporcionam um conhecimento aprofundado e em tempo útil sobre as alterações morfológicas do leito fluvial, como também viabilizam a aplicação célere de medidas corretivas, mitigando de forma significativa o risco de instabilidade ou colapso associado a processos de erosão.

Em Portugal, a implementação sistemática de planos de inspeção subaquática e de monitorização ainda possui um grande potencial de desenvolvimento, sendo imperativo promover a normalização e institucionalização destas práticas, no sentido de reforçar a resiliência e a segurança das infraestruturas de transporte.

REFERÊNCIAS

https://www.xavisub.com/ponte-entre-os-rios/

https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_Hintze_Ribeiro#

https://core.ac.uk/reader/47132570

https://discursodireto.pt/2021/03/04/20-anos-da-tragedia-de-entre-os-rios/

https://monumentosdesaparecidos.blogspot.com/2009/10/ponte-hintze-ribeiro.html

https://www.researchgate.net/Pontes_construidas_sobre_fundos_aluvionares_O_colapso_da_ponte_Hintze_Ribeiro/

King, Ian (2006). Users Guide to RMA-2 WES, Version 4.5. United States Corps of Engineering, Waterways Experiment Station, USA.

Delatte, Norbert, Storey, Chris (2003). Lessons from the Collapse of the Schoharie Creek Bridge. Proceeding for the Third Forensic Engineering Congress, American Society of Civil Engineers, San Diego, California.

Cardoso, António Heleno (1998). Hidráulica. Fluvial. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

Carmo, José Antunes do (2004). Modelação em hidráulica fluvial e ambiente. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Rocha, João Soromenho, Lemos, Luís Leal, Dias da Silva, Vítor, Antunes do Carmo, José, Rebelo, Carlos Alberto (2004). Perícia para indagar as causas do colapso da Ponte Hintze Ribeiro, em Entre-os-Rios. Tribunal Judicial da Comarca de Castelo de Paiva, Castelo de Paiva

Cardoso, António Heleno (1998). Hidráulica. Fluvial. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
Carmo, José Antunes do (2004). Modelação em hidráulica fluvial e ambiente. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

LNEC, Comissão de Inquérito ao Acidente (2001). PONTE HINTZE RIBEIRO, EM ENTRE-OS-RIOS. Observação da estrutura após o acidente de 2001-03-04. Nota técnica 1/2001 – NOE e Nota técnica 37/2001 – NQ, Ministério do Equipamento Social, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Veloso Gomes, Fernando, Moreno Delgado, Raimundo, Silva Cardoso, António (2001). Queda da Ponte Hintze Ribeiro (Entre-os-Rios / Castelo de Paiva). Inquérito nº 44/2001 da Comarca de Castelo de Paiva. Relatório – Resposta aos quesitos e Esclarecimentos. Procuradoria-Geral Distrital do Porto, Porto.

FHWA (Federal Highway Administration). *Bridge Inspector's Reference Manual (BIRM).* U.S. Department of Transportation, 2012.

FHWA. *National Bridge Inspection Standards (NBIS), Title 23, Code of Federal Regulations (CFR), Part 650, Subpart C.* Atualizações de 2004 e posteriores. [Norma federal obrigatória para todas as pontes com financiamento público nos EUA.]

DIN 1076. *Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen – Überwachung und Prüfung.* Deutsches Institut für Normung, Alemanha.

Ministère de l'Équipement (França) *Instruction Technique pour la Surveillance et l'Entretien des Ouvrages d'Art (ITSEOA).* 1995, atualizações posteriores. [Manual obrigatório em França para inspeção e manutenção de pontes.]

https://www.researchgate.net/figure/Riprap-mounded-around-two-bridge-piers-to-prevent-scour_fig1_271626002

https://www.mdpi.com/2673-4117/1/2/13

https://resensys.com/r20/sensor-applications/wireless-bridge-monitoring.html

ARTIGO Nº23525

ESTAÇÃO DE TRIAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES ORGÂNICOS

Edilene Marta F. Chiziane, Albertina Gustavo Pindela
Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Engenharia do Ambiente

RESUMO

A gestão inadequada de resíduos sólidos representa um dos maiores desafios ambientais e sociais enfrentados globalmente. O crescimento populacional, aliado ao aumento do consumo, resulta em uma geração massiva de resíduos, com impactos directos na saúde pública, no meio ambiente e nos recursos naturais. Diante desta, surge a necessidade de soluções inovadoras e sustentáveis que promovam a economia circular, reduzam a pressão sobre as lixeiras e aterros sanitários e maximizem o reaproveitamento dos resíduos sólidos. O mercado grossista do Zimpeto é um dos maiores pontos comerciais de Maputo e enfrenta grandes desafios relacionados à gestão de resíduos sólidos. A intensa actividade comercial gera grandes volumes de resíduos orgânicos e inorgânicos, que devido à falta de um sistema eficiente de triagem e reaproveitamento acabam sendo descartados de forma inadequada. Esse cenário contribui para o aumento da poluição ambiental, a proliferação de vectores de doenças e a pressão sobre a lixeira de Hulene, que já opera fora da sua capacidade máxima. A proposta deste projecto é a implementação de uma estação de triagem e produção de fertilizantes orgânicos, com capacidade para processar até 15 toneladas de resíduos por dia, das quais 7,2 toneladas são resíduos orgânicos que serão transformados em fertilizantes orgânicos de alta qualidade. Esta iniciativa busca aliar tecnologia, gestão eficiente e responsabilidade ambiental para atender às demandas de reciclagem, compostagem e valorização de resíduos, ao mesmo tempo em que gera benefícios económicos e sociais. Além de contribuir directamente para a redução do impacto ambiental, o projecto fortalece a agricultura local ao disponibilizar fertilizantes orgânicos acessíveis e sustentáveis, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos. Com base em princípios de sustentabilidade e inovação. Ao integrar triagem, reciclagem e compostagem em um único sistema, este projecto exemplifica uma abordagem holística para enfrentar os desafios da gestão de resíduos e criar um modelo replicável de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: gestão de resíduos sólidos, sustentabilidade, fertilizantes orgânicos, inovação.

Introdução

A crescente geração de resíduos sólidos nas áreas urbanas representa um desafio significativo para a gestão ambiental e também uma oportunidade para a transformação, reaproveitamento e geração de soluções sustentáveis.A gestão de Resíduos em Moçambique é marcada pela fraca cobertura dos serviços, práticas informais e ausência de estruturas de valorização.

O lixo na cidade de Maputo como em muitas cidades africanas não é só um problema ambiental, mas muitas vezes um problema social. A rápida urbanização, o crescimento doa bairros sem

nenhum serviço básico, os fluxos migratórios internos, sem planejamento entre outros serviços, têm desafiado a administração pública a enfrentar novas realidades. (Langa, 2014)

Em muitas cidades, o sector informal recupera, reutiliza ou recicla materiais valiosos provenientes de resíduos e, assim, contribui para a gestão sustentável dos recursos, o seu papel ajuda a aliviar a pobreza. (Wilson, 2015)

Em Contextos como de Maputo, onde a pressão sobre os sistemas de saneamento e as lixeiras é elevada, a valorização dos resíduos orgânicos representa uma estratégia viável e replicável para o desenvolvimento sustentável.

Descrição geral

O mercado grossista do Zimpeto é um dos maiores pontos comerciais de Maputo, enfrenta grandes desafios relacionados à gestão de resíduos sólidos. A intensa actividade comercial gera grandes volumes de resíduos orgânicos e inorgânicos, que devido à falta de um sistema eficiente de triagem e reaproveitamento acabam sendo descartados de forma inadequada. Esse cenário contribui para o aumento da poluição ambiental, a proliferação de vetores de doenças e a pressão sobre a lixeira de hulene, que já opera fora da sua capacidade máxima.



Desorganização no mercado: lixo espalhado, impactando a limpeza e a experiência de compra (fonte: opais.co.mz)

Grande parte desses resíduos, especialmente os orgânicos, possui um elevado potencial para reaproveitamento, podendo ser transformados em produtos úteis como fertilizantes orgânicos. No entanto, a ausência de infra-estrutura apropriada e de programas de conscientização impede o aproveitamento desse material, gerando desperdício e agravando os impactos socio ambientais.

A Estação de triagem e compostagem no mercado do Zimpeto surge como uma resposta estratégica a esse problema, propondo uma solução sustentável para a gestão de resíduos sólidos, alinhada aos princípios da economia circular e da preservação ambiental.

Localização

A localização da Estação na antiga Mabor foi estrategicamente escolhida devido à sua proximidade com o mercado grossista do Zimpeto, a principal fonte de matéria-prima para a

estação de triagem e produção de fertilizantes orgânicos. Essa proximidade pode permitir a redução de custos logísticos, facilitar o transporte de resíduos e garantir um abastecimento contínuo de materiais orgânicos para compostagem. Além disso, a localização contribui para uma operação mais eficiente e sustentável, minimizando o impacto ambiental associado ao deslocamento de resíduos e fortalecendo a integração com a comunidade local.

Classificação dos tipos de resíduos do Mercado Grossista do Zimpeto

Os resíduos sólidos gerados no mercado grossista do Zimpeto podem ser classificados em três tipos principais. Os resíduos orgânicos, como restos de frutas, vegetais e alimentos, são a maior parte e possuem grande potencial para compostagem. Os resíduos inorgânicos recicláveis, como plásticos, papel e metais, podem ser reaproveitados para fabricação de novos produtos. Por fim, os resíduos não recicláveis, como materiais contaminados ou de difícil reciclagem, representam uma menor parcela e requerem descarte adequado. Essa classificação facilita a gestão eficiente e sustentável dos resíduos gerados no mercado.

Quantidade (Ton/dia): 15 (7,2 serão utilizados na produção de fertilizantes)
Densidade (kg/litro): 0,30
Volume (m^3/dia): 50
Remoção: são removidos por camiões roll on rol off ou por camiões compactadores.
A tabela a seguir apresenta a composição de resíduos sólidos que são encaminhados para a estação:

Tabela 1 – COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS PRODUZIDO NOS MERCADOS SUBURBANOS (CARDOSO, 2023)

Tipo de resíduo	composição (ton)
Material orgânico	7,2
Metal	0,75
Vidro	1,05
Papel	1,35
Plástico	4,2
Não aproveitável	0,45

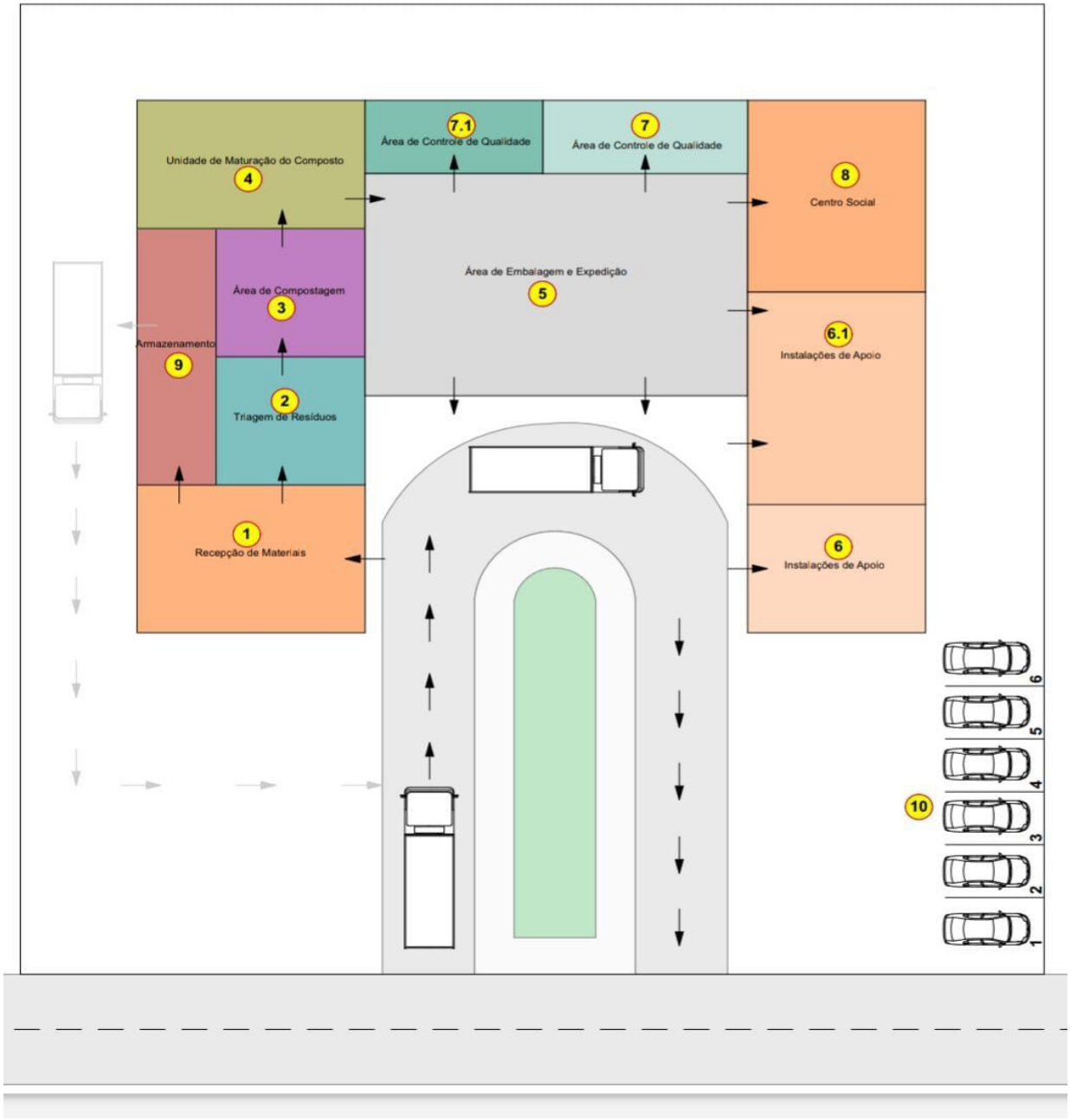
Produção de Fertilizantes Orgânicos

As Estações de triagem e as unidades de compostagem são componentes essências da infraestrutura em qualquer sistema integrado de gestão de resíduos sólidos, especialmente nos centros urbanos com elevada fracção de resíduos orgânicos. (Kaza, 2018)

A produção de fertilizantes orgânicos é considerada uma prática sustentável que tem como objectivo principal transformar resíduos orgânicos, como restos de alimentos e outos materiais biodegradáveis em um composto rico em nutrientes para o solo. Este processo dá-se por meio da compostagem que promove a decomposição controlada da matéria orgânica resultando em um produto final benéfico para a agricultura.

Ao contrário dos fertilizantes químicos os fertilizantes orgânicos libertam nutrientes que melhoram a estrutura e retenção de água no solo e aumentam a biodiversidade microbiana. Esta abordagem é particularmente vantajosa em contextos urbanos onde grandes quantidades de resíduos orgânicos são geradas diariamente e podem ser reaproveitadas de maneira sustentável.

Planta da Estação



A planta da estação de triagem combinada com a unidade de produção de fertilizantes orgânicos inclui várias áreas funcionais relacionadas à separação de resíduos e à produção de compostos orgânicos. Aqui está uma descrição das principais zonas que estarão presentes:

1. Área de Recepção de Materiais:
- Zona de descarga para caminhões e veículos de colecta de resíduos orgânicos e inorgânicos.
- Área de inspecção inicial, onde os materiais são recebidos e pré-classificados.

2. Área de Triagem de Resíduos:

- Esteiras Transportadoras: onde os resíduos são transportados para serem separados manualmente ou por sistemas automáticos.
- Estação de Triagem Manual e Mecânica: área com separadores magnéticos, ópticos e manuais para remover materiais não orgânicos, como plástico, vidro, metal, etc.
- Zona de Armazenamento de Resíduos Orgânicos e Inorgânicos: contentores para armazenar separadamente os materiais inorgânicos que serão descartados ou reciclados e os resíduos orgânicos que serão usados para compostagem.

3. Área de Compostagem:
- Pilhas de Compostagem: áreas designadas para formar montes de resíduos orgânicos, onde ocorre a decomposição natural.
-Bioreactores: sistemas fechados para acelerar a compostagem através da regulação de temperatura, humidade e oxigênio.
- Sistema de Aeração e Irrigação: tubulações e ventiladores para fornecer ar e umidade controlada às pilhas de compostagem.

4. Unidade de Maturação do Composto:
- Área de Cura: local onde o composto parcialmente decomposto amadurece até se tornar fertilizante orgânico pronto para uso.
- Tanques de Armazenamento: reservatórios para armazenar o fertilizante acabado antes de ser embalado.

5. Área de Embalagem e Expedição:
- Máquinas de Embalagem: equipamentos para embalar o fertilizante orgânico em sacos ou recipientes maiores.
- Depósito de Produtos Acabados: local para armazenar o fertilizante pronto para ser distribuído.
- Área de Carregamento e Expedição: espaço onde caminhões e outros veículos são carregados com o produto final para distribuição.

6. Instalações de Apoio:
- Escritórios administrativos, vestiários, banheiros e áreas de descanso para os funcionários.
- Depósitos para ferramentas, maquinário e manutenção.

7. Área de Controle de Qualidade:
- Laboratório para testes do composto e controle de qualidade para garantir que o fertilizante orgânico atenda aos padrões desejados.

8. Centro social:
- Local para as refeições e intervalos dos funcionários

9. Área de armazenamento de resíduos não utilizáveis:

- Estará separado em dois departamentos: local onde serão armazenados os resíduos que não tem mais utilidade para posterior deposição final no aterro, e local para o depósito dos resíduos recicláveis.

Actividades de Educação ambiental e conscientização

1. Palestras e Workshops Educativos: realização de encontros para sensibilizar comerciantes, trabalhadores e a comunidade sobre a importância da gestão de resíduos, reciclagem e compostagem, destacando práticas sustentáveis.

2. Campanha Visual Informativa: criação de painéis, cartazes e sinalizações no mercado com informações claras sobre separação de resíduos, benefícios da reciclagem e cuidados com o meio ambiente.

3. Dia de Limpeza e Triagem: organização de eventos comunitários para limpeza do mercado e treinamento prático em triagem de resíduos, promovendo engajamento e responsabilidade colectiva.

4. Instalação de Pontos de Colecta e Lixeiras Selectivas: distribuição estratégica de lixeiras para separação de resíduos (orgânicos, recicláveis e não recicláveis), incentivando o descarte correcto e facilitando a colecta selectiva.

5. Monitoramento e Feedback: acompanhamento contínuo das práticas implementadas, com avaliação de resultados e retorno à comunidade sobre os avanços e áreas de melhoria.

Conclusão

A Estação de triagem de resíduos e produção de fertilizantes orgânicos representa uma solução sustentável para os desafios de gestão de resíduos sólidos no mercado grossista do Zimpeto. Com foco na redução do impacto ambiental, geração de valor económico e inclusão social, o Projecto demonstra viabilidade financeira e operacional.

A proximidade com a fonte de matéria-prima, a parceria com instituições públicas e privadas, e as actividades de educação ambiental garantem sua eficiência e impacto positivo. Além disso, a produção de fertilizantes orgânicos fortalece a agricultura local e promove a economia circular.

Referências

Cardoso, j. (2023). Analise de sistemas de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos dos mercados da área suburbana da cidade de maputo. Universidade eduardo mondlane.

David c. Wilson, l. R. (2015). Global waste management outlook. Unepa.

Kaza, s. (2018). What a waste 2.0, a global snapshot of solid waste management to 2050. World bank group.

Langa, j. M. (2014). Gestão de resíduos sólidos urbanos em moçambique, responsabilidade de quem? Revista nacional de gerenciamento de cidades .

Maputo, c. M. (2017). Plano director- gestão de resíduos sólidos urbanos na cidade de maputo. Conselho municipal de maputo.

Matusse, s. (2020). Avaliação das condições de saneamento nos mercados da cidade de maputo: caso do mercado grossita do zimpeto 2018-2019. Universidade eduardo mondlane, faculdade de educação.

Paiva, b. (2018). Estude de viabilidade de sistema de triagem e compostagem dos resíduos sólidos urbanos do munícipio de ouro preto-mg . Universidade federal de ouro preto, escola de minas .

ARTIGO Nº23546

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRODUÇÃO DE CAJU (*ANACARDIUM OCCIDENTALE* L.), NA PROVÍNCIA DE GAZA, REGIÃO SUL DE MOÇAMBIQUE

Durque Mário Munguambe
Instituto de Investigação Agrária de Moçambique, Av. FPLM no, 2698, Maputo, Moçambique. CP 3658
Email: durquemunguambe@gmail.com

RESUMO

O artigo, analisa os impactos das mudanças climáticas na produção de caju na província de Gaza, região cuja economia é fortemente dependente da agricultura de sequeiro, sobretudo da cultura do caju. O estudo parte da constatação de que variações nos padrões de precipitação e temperatura afetam diretamente a produtividade do cajueiro, uma cultura estratégica tanto para a subsistência das comunidades locais quanto para a geração de divisas nacionais. O objetivo foi avaliar os impactos das mudanças climáticas na productividade do cajueiro, enquanto os objetivos específicos incluíram a análise dos padrões climáticos históricos (1993–2022), os efeitos na fenologia e produtividade da planta e a identificação de estratégias de adaptação adotadas pelos produtores. A metodologia envolveu análise estatística de dados climáticos e de produção fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM) e pelo Instituto de Amêndoas de Moçambique (IAM), além da aplicação de inquéritos a 100 produtores em quatro distritos-chave da província.

Os resultados revelaram tendências de aumento da temperatura média e redução da precipitação anual, com implicações diretas sobre a produção de caju. A irregularidade das chuvas, aliada a períodos de seca severa, comprometeu fases fenológicas críticas da planta, como a floração e a frutificação, reduzindo a quantidade e qualidade da castanha produzida. A produção comercial sofreu quedas consideráveis em anos com precipitação inferior a 600 mm. Conclui-se que as mudanças climáticas representam um desafio crescente para a cultura do caju em Gaza. A adoção de políticas públicas eficazes, programas de capacitação e tecnologias agrícolas resilientes é urgente para mitigar os impactos identificados e assegurar a sustentabilidade da produção e a segurança alimentar local.

Palavras-chave: mudanças climáticas; caju; Gaza; agricultura; adaptação; Moçambique

ARTIGO Nº23550

PRODUÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS USANDO BIOCOMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA E REFORÇADAS COM FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS DE RESÍDUOS VEGETAIS

João Edilson Joaquim Pery[1]; Jonas Valente Matsinhe[2]
Universidade Eduardo Mondlane-UEM, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química
Email: [1] joaoedilsonj108@gmail.com; [2] jvmatsinhe@gmail.com

RESUMO

O aumento da produção de resíduos sólidos urbanos, especialmente em países de baixa renda como Moçambique, agrava a poluição, com destaque para o uso de plásticos não biodegradáveis, como o Poliestireno Expandido (EPS). Este estudo buscou desenvolver embalagens biodegradáveis utilizando biocompósitos de amido de mandioca reforçados com fibras lignocelulósicas de bagaço de cana-de-açúcar, palha de milho e capim-elefante. As formulações com bagaço de cana e palha de milho apresentaram boas propriedades de rigidez e integridade, aproximando-se do EPS. As fibras vegetais mostraram grande potencial para substituí-lo, com a compostagem sugerida para reaproveitamento dos resíduos como biofertilizantes.

Palavras-chave: Resíduos vegetais, poliestireno expandido, biocompósito e embalagens biodegráveis.

INTRODUÇÃO

Contextualização

Os polímeros sintéticos amplamente fabricados à base de petróleo, têm sido fundamentais no desenvolvimento de uma variedade de produtos devido à estabilidade e resistência à degradação, especialmente em ambientes húmidos. Todavia, a durabilidade inicialmente vista como uma vantagem, começou a ser percebida como um problema nas décadas de 1970 e 1980, quando o crescente volume de resíduos plásticos se tornou uma preocupação ambiental significativa (CALLISTER e RETHWISCH, 2010).

O Poliestireno Expandido (EPS) é um exemplo clássico de polímero sintético, sendo amplamente encontrado em formato de bandejas ou pequenas caixas como embalagens. No entanto, tem sido utilizado frequentemente apenas uma vez (como embalagens de *fast-food*) e quando descartado inadequadamente resulta em acúmulo de resíduos microplásticos no meio ambiente (DÍAZ-MENDOZA et al., 2020).

Na tentativa de mitigar o problema do acúmulo de resíduos microplásticos resultantes do descarte de Poliestireno Expandido (EPS), algumas iniciativas propõem a queima do material. No entanto, a abordagem apresenta sérios riscos ambientais e de saúde, porque a combustão incompleta do EPS (especialmente em incêndios domésticos) gera uma variedade de produtos químicos perigosos, incluindo Estireno e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), como o fluoranteno, que é considerado cancerígeno (FARRELLY e SHAW, 2017).

Diante desses problemas surge a necessidade de pesquisas para o desenvolvimento de materiais

para embalagens biodegradáveis com características adequadas para substituir o EPS (MOZAZUL INOVAÇÃO, 2021).

MATERIAIS E MÉTODOS

Matérias-primas

No presente estudo, foram utilizados resíduos de palha de milho e bagaço de cana recolhidos no mercado grossista do "*Malanga*", em Maputo. O capim-elefante e o glicerol foram fornecidos pelo Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Eduardo Mondlane (UEM). As fibras vegetais foram escolhidas devido ao alto conteúdo lignocelulósico e o amido de mandioca foi obtido no comércio local.

Métodos

As amostras colectadas foram lavadas para remover impurezas e pré-secas ao sol para evitar a deterioração por microrganismos. No laboratório, foram cortadas em pedaços menores, secas em estufa a 80 ºC por 120 horas e moídas em dois estágios, utilizando um moinho granular e moinho ultracentrifugo ZM 200 para maior uniformidade dos tamanhos. As partículas foram peneiradas para padronizar o tamanho (abertura de 0,707 mm). Finalmente, o material foi armazenado em recipientes selados até os experimentos subsequentes, como ilustra a figura 15 que ilustra o fluxograma do processo.

Produção dos biocompósitos

Os Biocompósitos para aplicações em embalagem serão obtidos por um processo de moldagem manual conforme a técnica de FERREIRA, 2018 com ligeiras modificações nos procedimentos e na formulação da solução de amido.
A solução de amido de mandioca (6%) foi preparada em um agitador magnético, aquecida a 80°C, e o glicerol (22,5%) foi adicionado como plastificante. Após a adição do farelo de bagaço de cana-de-açúcar, diferentes formulações foram criadas substituindo parte do farelo por palha de milho e capim-elefante em proporções de 10%, 20%, e 30%. As misturas foram moldadas e secas em estufa a 65°C por 24 horas, para evitar tensões internas e rupturas devido a gradientes térmicos. Essas formulações (da tabela 1) serão utilizadas em ensaios subsequentes.

Tabela 1: Formulações dos biocompósitos

Formulações	**Solução de amido a 6% (em base seca)**			**Bagaço de cana-de-açúcar (g)**	**Resíduos fibrosos vegetais**
	Amido (g)	**Água (g)**	**22,5% Glicerol**		**(PM e CE)**
Controle (BC)	10	100	2,25	20,0	----------
Reforço (PM10)				18,0	2,0
Reforço (PM20)				16,0	4,0
Reforço (PM30)				14,0	6,0
Reforço (CE10)				18,0	2,0
Reforço (CE20)				16,0	4,0
Reforço (CE30)				14,0	6,0

Material controle (BC) - (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar); Reforço (PM)- (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar + Palha de Milho); Reforço (CE)- (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar +Capim Elefante).

CARACTERIZAÇÃO DOS FARELOS E BIOCOMPÓSITOS

Ensaio de cor dos farelos

O objectivo do ensaio de cor dos farelos é de garantir a qualidade e a consistência da matéria-prima. O teste usou o calorímetro Minolta Color Reader envolvendo a calibração do aparelho, preparação das amostras.

Densidade real dos farelos

A finalidade da determinação da densidade dos farelos é avaliar a compactação e distribuição das fibras na qualidade dos biocompósitos finais. A técnica empregue foi picnometria e realizada em triplicado.

Proteína bruta dos farelos

O objectivo do ensaio de proteína bruta é avaliar a quantidade de proteínas em fibras, o que ajuda a entender a taxa de biodegradabilidade e prever se haverá formação de óxidos de nitrogénio (NO_2) durante a incineração. Foi medido pelo método de Kjeldahl.

Série de sólidos dos farelos

A série de sólidos é uma análise que determina diferentes fracções de sólidos em uma amostra. O ensaio foi realizado seguindo a técnica de (ROMÃO, 2015.). Os principais parâmetros incluem: teor de humidade, teor de sólidos totais, teor de sólidos voláteis e teor de sólidos fixos.

Ensaio de cor dos biocompósitos

O procedimento para testar a cor fez-se com o calorímetro Minolta Color Reader, onde as medidas foram realizadas em triplicadas. O objectivo do ensaio é de avaliação da influência de diferentes proporções dos farelos na coloração dos biocompósitos e calcular-se a Diferença Total de Cor (ΔE), que é um parâmetro que avalia a uniformidade da cor entre diferentes lotes de matéria-prima, crucial para a consistência visual dos biocompósitos (COLOR READER CR-10 OPERATION MANUAL).

Densidade aparente dos biocompósitos

O objectivo da determinação da densidade dos biocompósitos é avaliar a compactação do material, que influência as propriedades mecânicas e garantir que a embalagem atenda às especificações desejadas do produto a embalar. A espessura dos biocompósitos foi medida com um paquímetro em 3 pontos aleatórios, e a densidade foi calculada a partir de placas rectangulares secas a 105ºC por 24 horas e pesadas, com os resultados avaliados em triplicado e apresentados como valores médios.

Solubilidade em água dos biocompósitos

A solubilidade das bandejas foi testada pela técnica de KÖSELERLI et al. (2023), no qual colocaram-se três discos de cada amostra, com peso seco conhecido e 25 mm de diâmetro, em 50 mL de água destilada a 25ºC por 24 horas, agitando ocasionalmente.

Microscopia óptica dos biocompósitos

No contexto de biocompósitos, a microscopia óptica permite examinar a distribuição das fibras, a homogeneidade do material e identificar defeitos ou características específicas. A

micrografia foi realizada com um microscópio óptico *olympus SC29*, com ampliação de 4x.

Propriedades mecânicas dos biocompósitos

O objectivo do teste de tracção de materiais compósitos é avaliar sua resistência à deformação e ruptura sob força de tracção. Os testes foram realizados no texturômetro DBBMTCL-5000 Kg, usando o programa "*winTest Analysis*" e seguindo a norma ASTM D882-12 com ajustes de MARENGO et al. (2013), sendo cada amostra testada três vezes.

Teste de ataque químico dos biocompósitos

O ensaio de ataque químico é utilizado para avaliar a resistência dos biocompósitos em termos de sua integridade estrutural quando expostos a diferentes ambientes químicos (pH 4, 7 e 9) (SOUZA et al., 2019).

Teste de biodegradabilidade dos biocompósitos

O objectivo do teste de biodegradabilidade foi avaliar a decomposição natural do biocompósito por microrganismos. Isso foi feito medindo a perda de massa e analisando visualmente o material, utilizando húmus de minhoca misturado com terra. As especificações do húmus incluíam: 1,10% de nitrogénio, 0,18% de fósforo, 0,07% de potássio, 0,42% de cálcio, 0,05% de magnésio, pH de 6,6 e umidade de 52%.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS PARA OS FARELOS

Ensaio de cor para os farelos

Os resultados apresentados na tabela 2 indicam as médias e os respectivos erros padrões de L*, a*, b*, C* e h^0 para três amostras diferentes.

Tabela 2: Resultados do ensaio de cor

Amostra	BC	PM	CE
L	38,66 ± 1,27	33,40 ± 0,95	30,07 ± 0,33
a*	3,57±0,03	6,17 ± 0,19	3,87 ± 0,13
b*	18,17 ± 0,03	21,60 ± 0,66	22,37 ± 0,15
C*	18,51 ± 0,04	22,46 ± 0,68	22,7 ± 0,16
h^0	1,38 ± 0,00	1,29 ± 0,00	1,40 ± 0,00

A análise geral dos resultados nota-se que existe uma diferença significativa entre as cores das amostras, por conta da diferença de composição e pelo processo de secagem, pois carboidratos e proteínas quando combinadas a altas temperaturas podem causar reacções de escurecimento como ilustra a figura 1 (RAIMUNDO e GROSSO, 2006).



Figura 1: Farelos das fibras sendo: Palha de milho, Capim elefante e Bagaço de cana-de-açúcar

O valor de L* indica a claridade, com valores mais altos reflectindo maior luminosidade. A amostra de bagaço de cana (BC) foi mais clara que as de palha de milho (PM) e capim-elefante (CE), com o BC sendo mais claro devido ao menor teor de lignina. O valor de a*, que mede o vermelho/verde, mostrou que BC e CE não diferiram significativamente, enquanto PM foi mais avermelhada, possivelmente pela maior presença de carotenóides. Para b*, que mede o amarelo/azul, PM e CE foram mais amareladas e escuras que BC, devido ao teor de lignina, sílica e xantofilas. A PM foi a amostra mais saturada, com tendência para o vermelho, enquanto CE teve tonalidade mais azulada e saturação intermediária. BC apresentou a menor saturação, com uma leve tonalidade azulada. Todas as amostras apresentaram tonalidade vermelha.

Densidade real para os farelos

O gráfico de barra na figura 2 ilustra a densidade real dos três diferentes farelos: BC (bagaço de cana), PM (palha de milho) e CE (capim-elefante). O eixo y representa os valores de densidade (g/cm^3), enquanto o eixo x lista os materiais.

A análise mostra que as densidades das amostras variaram significativamente, com a palha de milho (PM) sendo a mais densa, enquanto bagaço de cana (BC) e capim-elefante (CE) apresentaram densidades menores e semelhantes. FERREIRA (2018) encontrou uma densidade de 0,14 g/cm³ para o BC, sugerindo que isso resulta em embalagens mais leves, o que é confirmado no presente estudo com uma densidade de 0,288 g/cm³. Materiais mais densos, como a PM, podem conferir mais resistência ao compósito, enquanto o CE, com densidade intermediária, oferece um equilíbrio entre leveza e resistência, sendo versátil para embalagens ((MARENGO et al., 2013 e MADAKADZE et al., 2010).

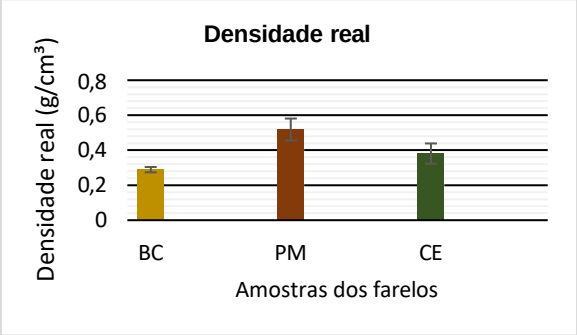


Figura 2: Resultados da densidade real.

Proteína bruta para os farelos

O gráfico da figura 3 mostra os níveis de proteína bruta em três materiais: Bagaço de Cana (BC), Palha de Milho (PM) e Capim Elefante (CE). A Palha de Milho (PM) apresenta um nível significativamente mais alto de proteína bruta em comparação com BC e CE.

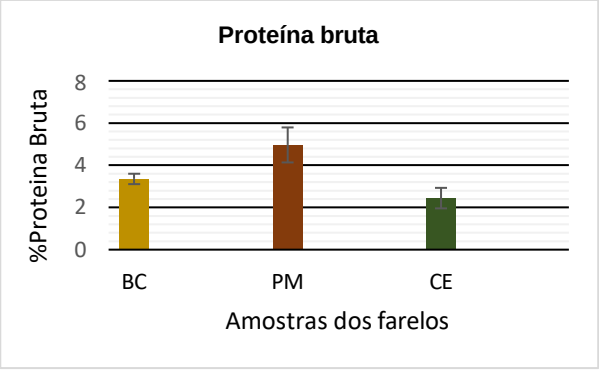


Figura 3: Resultados dos teores da proteína bruta.

O teor de proteína bruta do bagaço de cana-de-açúcar (3,35%) foi significativamente maior que os valores da literatura (0,8% a 2,64%). O farelo de palha de milho apresentou 4,96%, acima dos estudos anteriores, possivelmente devido a variações nas condições de cultivo e processamento. O capim-elefante mostrou 2,44%, abaixo dos valores típicos (7% a 14%), atribuível às condições de cultivo e maturação. Proteínas em materiais biodegradáveis aceleram sua decomposição, mas a incineração de compostos com alta proteína pode gerar óxidos de nitrogénio, um poluente atmosférico, devendo ser controlada (DANISH, 2024).

Série de sólidos para os farelos

A figura 4 ilustra os gráficos circulares que mostram a distribuição dos componentes onde: Humidade (H), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF) e Perda de massa nas três biomassas.

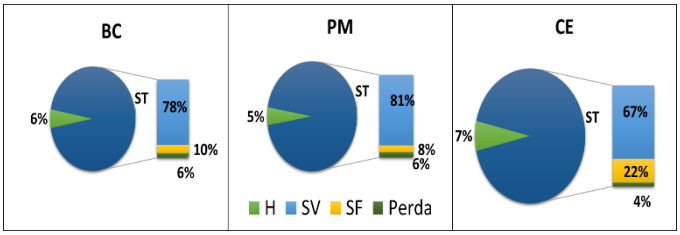


Figura 4: Resultados da Série de sólidos

O valor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar (6%) está dentro dos intervalos da literatura (6,78% a 7,8%). Já a palha de milho, com 5%, teve umidade inferior aos estudos que variam de 5,69% a 12,96%. O teor de minerais no bagaço (10%) é superior aos valores reportados (3,4% a 5%), enquanto na palha de milho (8%) também foi maior que os valores típicos (0,64% a 1,52%), provavelmente devido a diferenças regionais e de cultivo. O capim-elefante apresentou alto teor de minerais (22%) e umidade de 7%, o que pode afetar suas propriedades mecânicas e biodegradabilidade. As "perdas" referem-se à massa perdida durante o transporte e secagem das amostras.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS PARA OS BIOCOMPÓSITOS

Ensaio de cor para os biocompósitos

A figura 5 ilustra placas de EPS e biocompósitos de matriz de amido reforçados com diferentes fibras lignocelulosícas e glicerol como agente plastificante em diferentes composições.

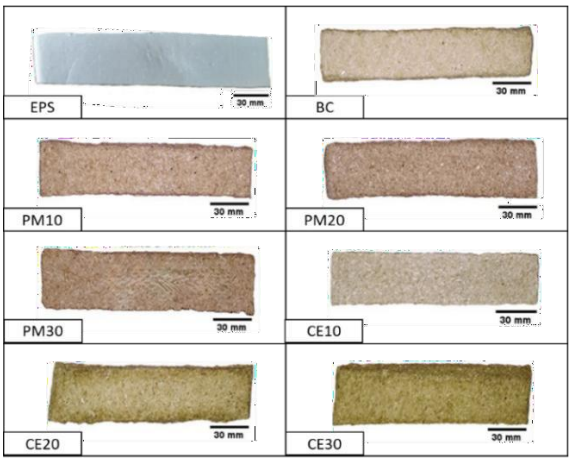


Figura 5: Biocompósitos produzidos

O EPS apresenta uma luminosidade significativamente maior (90,76) do que os biocompósitos tabela 3, que variam entre 41 (PM30%) e 44,97 (BC), mostrando que o EPS é muito mais claro, enquanto os compósitos são mais escuros. A luminosidade diminui com a adição de PM ou CE, tornando as misturas mais escuras, o que é explicado pela cor das fibras. O valor de a* (vermelho) é maior nos compósitos, entre 9,60 (BC) e 11,57 (PM30%), enquanto o EPS é quase neutro. Os valores de b+ (amarelo) são elevados nos compósitos, variando entre 25,70 (CE10%) e 25,83 (BC), com o EPS apresentando uma tonalidade ligeiramente azulada (-2,36). As variações de cor (ΔE) mostram que todas as amostras são significativamente diferentes do EPS, mas a diferença diminui com o aumento da concentração de PM e CE.

Tabela 3: Teste de cor

	L*	a*	b*	ΔE
EPS	90,76 ± 0,00	0,5 ± 0,03	−2,36 ± 0,03	2,02 ± 0,00
BC	44,97 ± 1,44	9,60 ± 0,78	25,83 ± 0,38	52,76 ± 1,26
PM10	44,00 ± 0,15	10,53 ± 0,19	25,10 ± 0,12	51,74 ± 0,15
PM20	42,23 ± 0,23	11,07 ± 0,15	25,67 ± 0,27	50,65 ± 0,16
PM30	41,03 ± 0,18	11,57 ± 0,12	25,80 ± 0,15	49,83 ± 0,09
CE10	43,70 ± 0,15	9,87 ± 0,03	25,40 ± 0,36	51,50 ± 0,16
CE20	42,43 ± 0,17	10,10 ± 0,10	24,70 ± 0,58	50,13 ± 0,18
CE30	41,20 ± 0,23	10,53 ± 0,03	25,7 ± 0,31	49,59 ± 0,41

Densidade aparente para os biocompósitos

Os resultados da densidade aparente em g/cm³ para diferentes amostras são apresentados na figura 6 fornecido através do gráfico de barra. As amostras incluem EPS, BC, PM e CE.

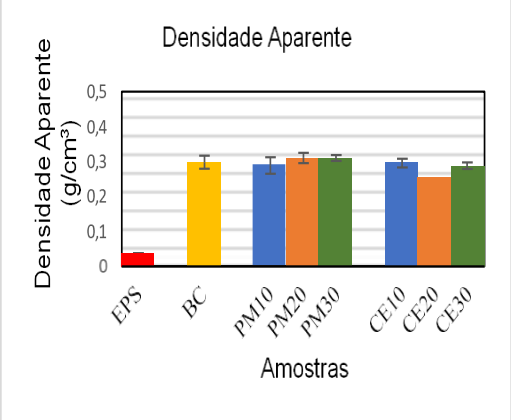


Figura 6: Resultados da densidade aparente

Os biocompósitos de matriz de amido reforçados com fibras lignocelulósicas apresentaram densidades significativamente maiores que o EPS, que tem baixa densidade devido à sua estrutura celular fechada. A palha de milho aumentou a densidade dos biocompósitos, enquanto o capim-elefante reduziu. As densidades variaram entre 0,263 e 0,320 g/cm³, sendo intermediárias em comparação com outros estudos, como MARENGO et al. (2013), que

relataram de 0,21 a 0,34 g/cm³. As variações entre os estudos são influenciadas pelo tipo de reforço, composição e métodos de produção. Densidades mais baixas são preferíveis para reduzir custos, tornando a escolha das fibras essencial para as propriedades finais dos biocompósitos.

Solubilidade em água para os biocompósitos

A figura 7 ilustra o gráfico de barra que mostra a percentagem desolubilidade em água para diferentes amostras de materiais. As amostras incluem EPS, BC, PM e CE.

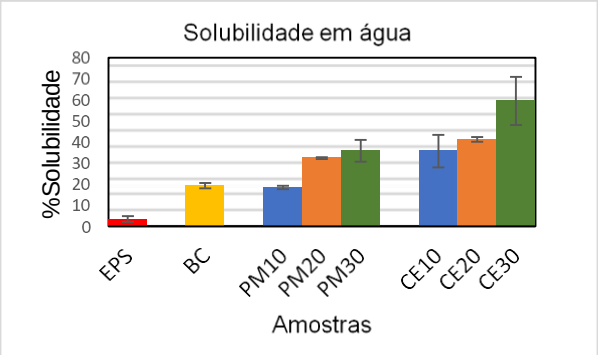


Figura 7: Resultados de solubilidade em água

O EPS apresentou a menor solubilidade em água (3,5%), confirmando sua alta resistência à umidade. O material de controle (BC) teve solubilidade de 19,31%, mostrando resistência moderada à água devido à presença de amido e farelo de cana-de-açúcar. Nos compósitos com palha de milho (PM), a solubilidade aumentou com a concentração, variando de 18,47% (PM10) a 35,76% (PM30), sugerindo que a PM aumenta a interação com a água. Já os compósitos com capim elefante (CE) mostraram solubilidade ainda maior, chegando a 59,28% em CE30%, indicando propriedades hidrofílicas significativas. Estudos apontam que altas solubilidades não inviabilizam o uso em embalagens biodegradáveis, especialmente para alimentos de baixa umidade.

Microscopia óptica para os biocompósitos

A figura 8 fornece uma visualização microscópica das superfícies dos diferentes materiais: EPS (BC), e biocompósitos reforçados com diferentes percentagens de palha de milho e capim elefante.

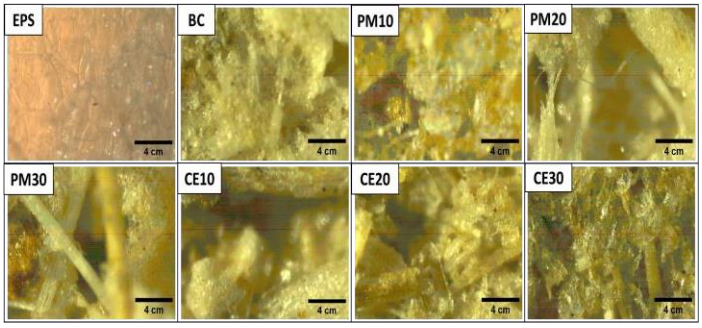


Figura 8: Resultados de micrografia

A micrografia do poliestireno expandido (EPS) revelou uma superfície lisa, homogênea e translúcida, com estrutura de células fechadas, responsável pela leveza e capacidade de isolamento térmico. Não há fibras ou aditivos, confirmando a pureza do material. Já o material

controle (BC) apresentou superfície rugosa e granular, contendo farelo de cana-de-açúcar, amido, água e glicerol, o que sugere uma maior complexidade estrutural.

Nos biocompósitos com palha de milho (PM10, PM20 e PM30), o aumento da concentração de fibras tornou a estrutura mais complexa, com a superfície cada vez mais entrelaçada e fibrosa, o que pode impactar a resistência mecânica e solubilidade. Em contraste, nos biocompósitos com capim elefante (CE10, CE20 e CE30), as fibras mostraram uma distribuição irregular e contribuíram para uma maior porosidade na matriz de bagaço de cana.

Os estudos realizados pelos autores BONSE et al. (2015), FERNANDO GOMES DOS SANTOS et al. (2016) e RAZERA (2006) identificaram resultados semelhantes ao trabalhar com fibras de coco, sisal e curauá, destacando que a ausência de um pré-tratamento das fibras contribui para a baixa afinidade entre a matriz e as fibras. Os autores explicaram que a alta concentração de lignina de algumas fibras actua como uma barreira que impede uma interacção eficaz com a matriz polimérica

Teste de biodegradabilidade os biocompósitos

A figura 9 mostra o resultado a partir do gráfico do ataque biológico ou teste de biodegradabilidade do Poliestireno expandido (EPS) e compósitos biodegradáveis.

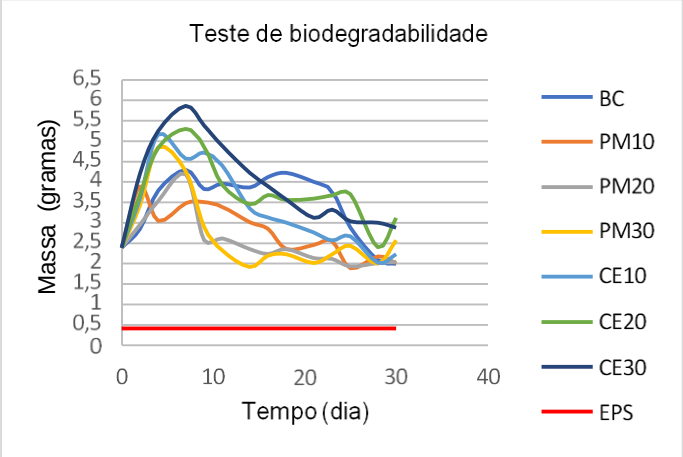


Figura 9: Teste de biodegradabilidade

Observa-se no gráfico da figura 9 que na primeira fase, todos os biocompósitos diferente do EPS (que manteu a sua massa ao longo do processo), apresentaram um aumento de massa, atingindo um pico que varia conforme a composição. O biocompósito CE30 alcança o maior pico, sugerindo maior absorção de umidade ou outras interacções sendo esta a justificação proposta por FERREIRA (2018). Após o pico, todos os biocompósitos mostraram uma redução de massa, indicando biodegradação. Segundo VAVERKOVÁ e ADAMCOVÁ (2015) o processo ocorreu porque, ao aumentar a quantidade de reforço, até certo ponto, há uma incompatibilidade entre o bagaço de cana e os reforços, permitindo mais facilidade na entrada de humidade. No anexo 2 estão ilustrados visualmente imagens da degradação progressiva dos biocompósitos ao longo do tempo, destacando as diferenças no grau de deterioração entre as amostras.

Propriedades mecânicas para os biocompósitos

A figura 10 ilustra o resultado em forma de gráfico obtido pelo programa “winTest Analysis” para EPS e diferentes materiais compósitos submetidos ao ensaio de tracção.

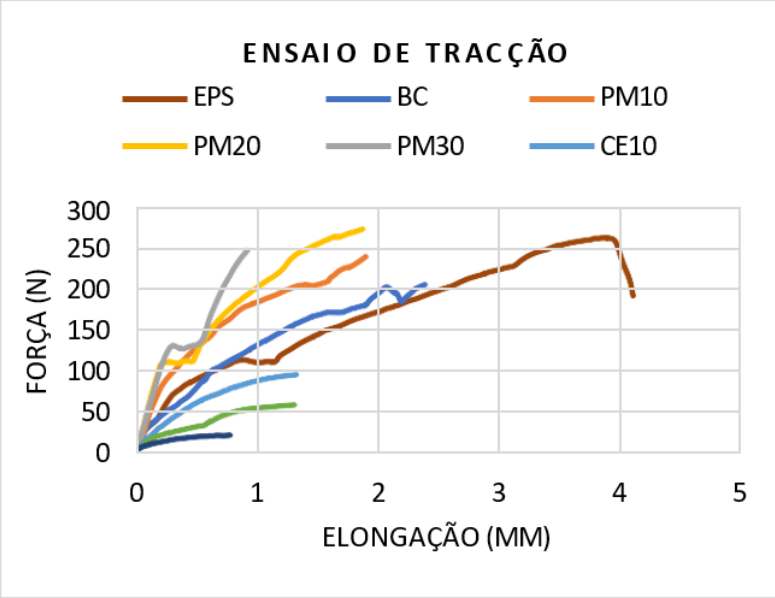


Figura 10: Ensaio de tracção

O EPS apresentou alta resistência à tração e maior alongamento antes da ruptura, demonstrando um comportamento mais dúctil em comparação aos biocompósitos. O biocompósito de controle (BC) mostrou um equilíbrio entre resistência e alongamento, servindo como referência. A adição de palha de milho aumentou a resistência máxima, mas reduziu o alongamento, indicando maior resistência e menor ductilidade. Isso foi associado à maior compactação, menor porosidade e composição rica em celulose e hemicelulose.

Por outro lado, o capim elefante resultou em biocompósitos com menor resistência e alongamento, devido à menor densidade, maior porosidade e altos níveis de umidade, o que diminui a rigidez e resistência à tração. A água entre as cadeias poliméricas enfraquece a força de atração, tornando o material menos resistente. Esses fatores influenciam a tração, compressão e flexão dos biocompósitos.

Tabela 4: Resultado de ensaio de tracção

Amostra	Tensão de Ruptura (MPa)	Deformação no pico (%)	Módul o de Young (GPa)
EPS	1,10 ± 0,01	3,85 ± 0,06	20,81
BC	0,89 ± 0,06	1,43 ± 0,55	30,88
PM10	1,01 ± 0,04	1,11 ± 0,12	125,26
PM20	1,03 ± 0,04	1,14 ± 0,41	127,15
PM30	1,21 ± 0,27	0,60 ± 0,1	125,08
CE10	0,45 ± 0,05	0,86 ± 0,04	28,48
CE20	0,26 ± 0,09	0,78 ± 0,09	26,54
CE30	0,08 ± 0,01	0,45 ± 0,03	10,27

O EPS se destaca por sua alta resistência à tração com 1,10 Mpa (tabela 4) e elevada deformação no pico (3,851%), tornando-o ideal para aplicações que exigem força e capacidade de deformação. Em comparação, os biocompósitos de palha de milho (PM), especialmente o PM30, apresentam resistência à tração ainda maior (1,21 MPa), mas com menor deformação no pico (1,03% a 1,14%), indicando maior fragilidade e menor ductilidade. Esses resultados estão de acordo com o estudo de DE OLIVEIRA NETO et al. (2015), que associou o aumento do Módulo de Young à maior rigidez dos materiais, sendo os biocompósitos de PM mais rígidos (125,08 a 127,15 GPa) do que o EPS (20,81 GPa).

Os biocompósitos de capim-elefante (CE) apresentaram as menores resistências à tração (0,083 a 0,45 MPa) e Módulos de Young (10,27 a 28,48 GPa), refletindo menor rigidez e resistência, em biocompósitos de bagaço de laranja. O EPS, com maior deformação no pico, demonstra maior ductilidade em comparação às amostras de PM, que, embora mais resistentes, possuem menor elongação. FERREIRA (2018) e MARENGO et al. (2013) enfatizaram que a densidade e a força de ligação interna são cruciais para a resistência do biocompósito, uma vez que maiores densidades resultam em maior compactação e, consequentemente, maior resistência à tração.

Ataque químico para os biocompósitos

A tabela 5 mostra os resultados da integridade estrutural obtidos após submeter as amostras de EPS e biocompósitos a diferentes soluções de pH, onde as principais análises visuais são tidas na coluna de observações.

Os biocompósitos que incluem capim-elefante (CE10, CE20, CE30) demonstram uma menor estabilidade estrutural, particularmente em ambientes mais alcalinos (pH 9). Em contraste, os biocompósitos feitos com palha de milho (PM10, PM20, PM30) são mais resistentes, especialmente PM10, que manteve a estrutura estável em todos os pHs.

Tabela 5: Resultados de teste de corrosão

pH / Amostra	Observações da Integridade
EPS	Estável (coloração const.)
BC	Estável (coloração alterada)
PM10	Estável (coloração alterada)
PM20	Estável (coloração alterada)
PM30	Parcialmente estável
CE10	Instável
CE20	Instável
CE30	Instável

SELECÇÃO DO BIOCOMPÓSITO E ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO DA EMBALAGEM

Os biocompósitos reforçados com palha de milho (PM) nas concentrações de 10%, 20% e 30% apresentaram um desempenho superior em diversos aspectos demonstrando maior resistência mecânica, durabilidade e exibiram uma integridade estrutural mais robusta, especialmente em ambientes químicos adversos. Embora os biocompósitos reforçados com capim-elefante (CE)

tenham mostrado melhor desempenho em propriedades específicas, como biodegradabilidade, a palha de milho proporcionou uma estrutura mais uniforme e estável. A micrografia das amostras com 20% e 30% de PM evidenciou uma distribuição compatível das fibras dentro da matriz de amido e bagaço de cana-de-açúcar, o que foi fundamental para a melhoria das propriedades físicas e mecânicas dos biocompósitos. A figura 11 mostra os protótipos das embalagens desenvolvidas a partir dos biocompósitos, reforçados com palha de milho (PM) em diferentes proporções.



Figura 11: Protótipos da embalagem

CONCLUSÕES

Após a realização do trabalho com o tema "Produção de embalagens biodegradáveis usando biocompósito de matriz polimérica e reforçadas com fibras lignocelulósicas de resíduos vegetais" e considerando os objectivos traçados, conclui-se que:

Resíduos vegetais mais secos, como o bagaço de cana-de-açúcar e a palha de milho, apresentaram fibras mais semelhantes, facilitando a compatibilidade entre sí. Em contraste, o capim-elefante, com sua coloração esverdeada, indicou uma fibra com maior capacidade de absorção de água, diferenciando-se dos outros resíduos seleccionados. A análise das propriedades físicas e químicas das fibras foi crucial para identificar a adequação de cada resíduo. A palha de milho (PM) destacou-se pela alta densidade, cor intensa e teor de proteína, oferecendo maior resistência e uma aparência sólida ao biocompósito final. O bagaço de cana (BC), mais leve e claro, mostrou-se ideal para aplicações que priorizam leveza e discrição no biocompósito final. O capim-elefante, apesar de inicialmente promissor, teve desempenho inferior em resistência.

Os biocompósitos com palha de milho (PM) nas concentrações de 10%, 20%, e 30% apresentaram superior resistência mecânica, durabilidade e estabilidade estrutural, especialmente em ambientes químicos adversos. Embora os biocompósitos com capim-elefante (CE) tenham se destacado em biodegradabilidade, a palha de milho garantiu uma estrutura mais uniforme e sólida, além de uma cor clara e atraente.

Os biocompósitos produzidos são adequados para embalar produtos que não exsudam grandes quantidades de água ou que tenham baixa umidade, como ovos, cereais, massas secas, especiarias e itens de *fast food*, como *hambúrgueres* e batatas fritas. A combinação de resistência e aparência estética torna-os ideais para embalagens que requerem tanto funcionalidade quanto atractividade visual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bonse, B. C., A. de Sousa, A., Guerrero, C., & Ferreira, A. C. B. (2015). Compósito de poliéster insaturadiie fibras vegetais: uso em Biocuba para lavabos. *XIII Congresso Brasileiro de Polímeros*, 1–5. https://www.researchgate.net/publication/330638855

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2010). *Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução* (Wiley, Ed.; 8a, Vol. 1).

Color Reader CR-10 Operation Manual. (n.d.).

Danish, M. (2024). Advances in Protein-Based Biodegradable Films: A Review. *Journal of Packaging Technology and Research*, *8*(2), 109–119.

Díaz-Mendoza, C., Mouthon-Bello, J., Lucia Pérez-Herrera, N., & María Escobar-Díaz, S. (2020). Plastics and microplastics, effects on marine coastal areas: a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 39914–39922

Farrelly, T. A., & Shaw, I. C. (2017). Polystyrene as Hazardous Household Waste. In *Household Hazardous Waste Management*. InTech.

Ferreira, D. C. M. (2018). *Desenvolvimento de embalagens sustentáveis a partir de subprodutos agroindustriais* [Dissertação]. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mecuri.

Gomes dos Santos, L. F., Antônio de Souza Formiga, L., da Silva Rodrigues, J., & Silva Silva, C. (2016). Desenvolvimento De Compósitos De Amido Termoplástico Reforçados Com Fibras De Curauá Natural Da Amazônia Eco-Compósitos De Amido Com Fibras De Curauá. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, *17*(4), 230–239.

Köselerli, S. Ü., Gücüş, M. O., & Uslu, M. K. (2023). Production of Biodegradable Composite Plates from Cross-Linked Starch and Cellulosic Fibers. *BioResources*, *18*(4), 6772–6783. https://doi.org/10.15376/biores.18.4.6772-6783

Madakadze, I. C., Masamvu, T., Li, J., & Smith, D. L. (2010). Evaluation of pulp and paper making characteristics of elephant grass (Pennisetum purpureum Schum) and switchgrass (Panicum virgatum L.). *African Journal of Environmental Science and Technology*, *4*(7), 465–470.

Marengo, V. A., Elisa, A., Vercelheze, S., & Mali, S. (2013). Compósitos Biodegradáveis De Amido De Mandioca E Resíduos Da Agroindústria. *Quim. Nova*, *36*(5), 680–685.

MozAzul Inovação. (2021). 58–59.

Raimundo, C., & Grosso, F. (2006). Effect of thermal and enzymatic treatment on the properties of gelatin films. *Article in Food Science and Technology*, *3*, 495–501.

Razera, I. A. T. (2006). *Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica* [Tese de doutoramento]. Instituto De Química De São Paulo.

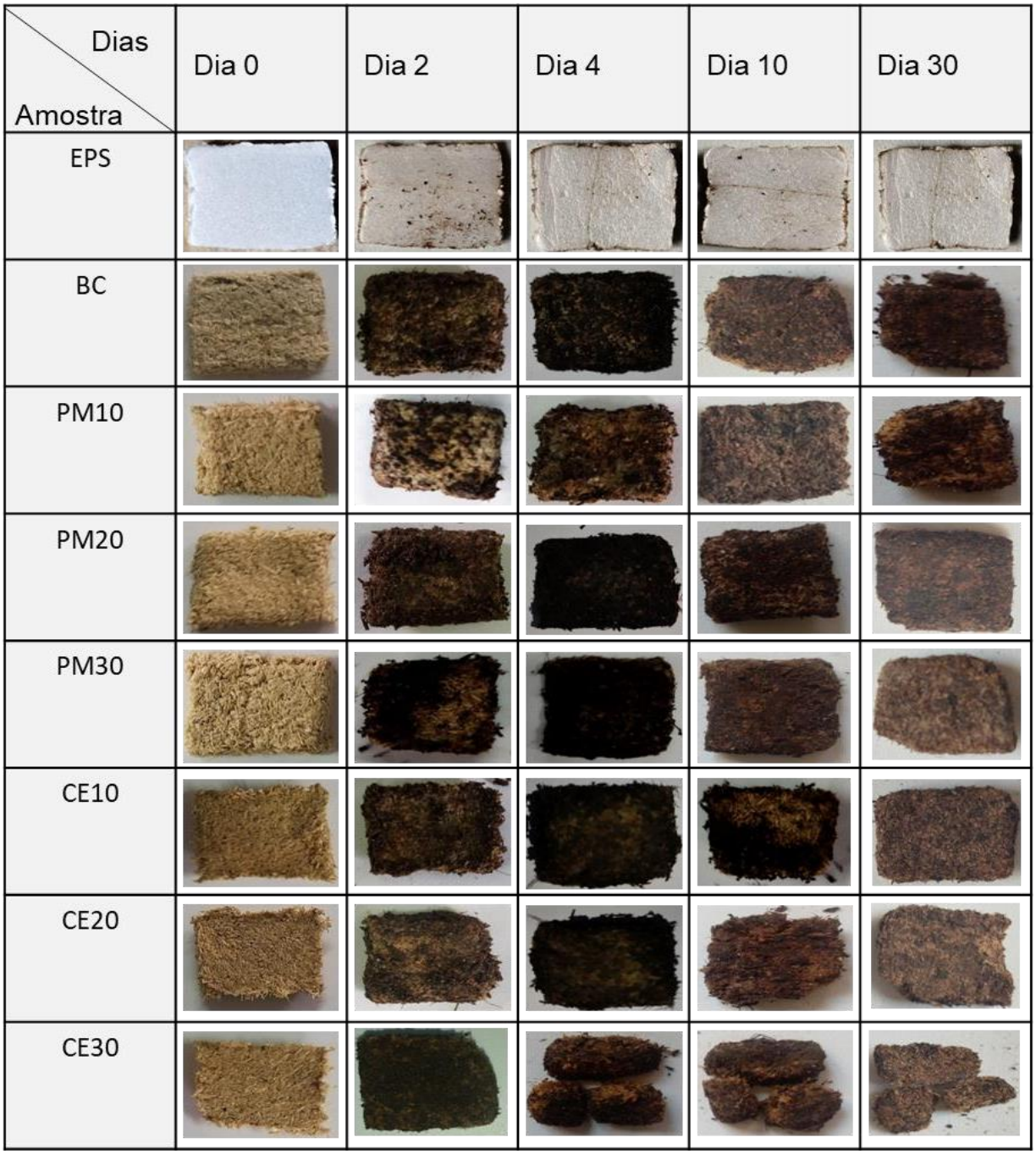
Romão, D. R. (n.d.). *POTENCIAL DE FIBRAS DE RESÍDUO AGRÍCOLA: PALHA DE MILHO (Zea mays L.) PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE.*

PRODUÇÃO DE EMBALAGENS BIODEGRADÁVEIS USANDO BIOCOMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA E REFORÇADAS COM FIBRAS LIGNOCELULÓSICAS DE RESÍDUOS VEGETAIS

João Edilson Joaquim Pery e Jonas Valente Matsinhe
Universidade Eduardo Mondlane Faculdade de Engenharia
Departamento de Engenharia Química -Maputo

ANEXO

Representação visual da biodegradabilidade os biocompósitos



EPS-Poliestireno Expandido; Material controle (BC) - (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar); Reforço (PM10,20e 30%) - (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar + Palha de Milho); Reforço (CE10,20 e 30%) - (amido/água/glicerol e farelo de cana-de-açúcar +Capim Elefante).

ARTIGO Nº23529

COMPOSTAGEM COMUNITÁRIA COMO ESTRATÉGIA DE MITIGAÇÃO DE EMISSÕES DE GEE: ANÁLISE BASEADA NA CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS DOMÉSTICOS – Caso de Estudo Bairro de Nkobe

Salustiana M. Jasse[(*)], Ana Gonçalves[2]

[1]Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia – Maputo, Mocambique

[2]Universidade Eduardo Mondlane, Engenharia do Ambiente – Moçambique

[(*)] *Email:* salustianajasse@gmail.com

Resumo

O presente estudo avalia o potencial da compostagem comunitária como estratégia de mitigação de emissões de gases de efeito estufa, com base na caracterização dos resíduos sólidos domésticos do bairro de Nkobe, no município da Matola. A selecção desse local de estudo – Nkobe se deve às lacunas identificadas no sistema de gestão de resíduos local, com vistas à implementação de soluções voltadas à gestão de resíduos orgânicos.O estudo incluem a análise da percepção da população em relação gestão de resíduos sólidos, a caracterização e quantificação gravimétrica dos resíduos, o potencial de viabilidade para compostagem e a estimativa da redução nas emissões de metano associada à adoção da compostagem comunitária, além do dimensionamento dos compostores necessários.A metodologia usada baseou-se na combinação das abordagens qualitativas e quantitativas, englobando revisão bibliográfica, entrevistas com aos munícipes para avaliar sua percepção sobre a gestão de resíduos e análise dos aspectos físicos dos resíduos. Os resultados deste estudo indicaram que aproximadamente 30% dos resíduos sólidos domésticos gerados no bairro são resíduos orgânicos com potencial para compostagem. A implementação da compostagem comunitária, aliada a estratégias educacionais e políticas, sendo que, numa fase inicial com uma taxa de captura de 20%, desviar cerca de 1,4 toneladas de resíduos orgânicos por ano gerados apena nas residências do bairro. Com o aprimoramento das práticas e o aumento da adesão da comunidade, estima-se que essa taxa de captura pode alcançar até 70%, desviando aproximadamente 2 toneladas anuais de resíduos. Esse processo reduz significativamente a emissão de carbono para a atmosfera, contribui para a mitigação de gases de efeito estufa e possui potencial para a geração de créditos de carbono.

Palavras-chave: Campanha de caracterização de RSD, percepção sobre GRSU, compostagem comunitária, mitigação de GEE.

1 INTRODUÇÃO

O texto aborda a problemática do aumento da geração de resíduos sólidos, especialmente relacionado ao crescimento urbano e populacional, e destaca a compostagem comunitária como uma alternativa sustentável para lidar com os resíduos orgânicos (Harris, 2023). No município da Matola, particularmente no bairro de Nkobe, a gestão de resíduos enfrenta sérios desafios, como o descarte inadequado e a ausência de iniciativas voltadas à valorização dos resíduos orgânicos (MTA, 2021).

Estima-se que mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos sejam orgânicos, cuja decomposição inadequada contribui para a emissão de gases de efeito estufa, proliferação de doenças e poluição ambiental. A compostagem, como forma de decomposição aeróbia, é apontada como uma solução viável, sustentável e de fácil implementação (KIEHL, 1985).

O estudo propõe analisar o potencial da compostagem comunitária em Nkobe para mitigar emissões de gases de efeito estufa. Para isso, foram realizadas análises da percepção ambiental da população, caracterização e quantificação dos resíduos sólidos domiciliares, além do cálculo do carbono biodegradável e do metano evitado, visando o dimensionamento adequado de compostores comunitários.

1.1 Exposição do Problema

O aumento da geração de resíduos sólidos urbanos, especialmente de resíduos orgânicos, é um desafio significativo para o município da Matola, refletindo a rápida urbanização, o crescimento populacional e a diversificação no consumo. No bairro de Nkobe, a gestão inadequada dos resíduos resultou em acúmulo em áreas impróprias, contribuindo para a poluição ambiental, a emissão de gases de efeito estufa e riscos à saúde pública. A falta de políticas efectivas para a valorização dos resíduos tem limitado as oportunidades de mitigação desses problemas, tornando-se essencial a identificação de estratégias sustentáveis que possam transformar resíduos em recursos e promover a conscientização da comunidade.

1.2 Justificativa

O texto destaca a importância de adotar práticas sustentáveis frente às mudanças climáticas e à má gestão dos resíduos sólidos. A compostagem comunitária é apontada como uma solução eficaz para reduzir o volume de resíduos enviados à lixeira e mitigar as emissões de gases de efeito estufa (GEE).

No município da Matola, a implementação dessa prática pode trazer benefícios ambientais significativos, além de promover a conscientização da população sobre a gestão de resíduos. O estudo é relevante não só para Matola, mas também como referência para outras comunidades com problemas semelhantes, podendo embasar políticas públicas e programas de educação ambiental voltados à valorização dos resíduos orgânicos

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo geral

Analisar o potencial da compostagem comunitária como estratégia para a mitigação de emissões de gases de efeito estufa, com base na caracterização dos resíduos gerados nas residências do bairro de Nkobe.

1.3.2 Objectivos específicos

- Avaliar da percepção da população envolvida em relação a valorização dos RSU;
- Caracterizar e quantificar os resíduos sólidos produzidos, mediante a análise gravimétrica;
- Determinar a quantidade de resíduos sólidos orgânicos gerados com potencial ao processo de compostagem;
- Determinar quantidade de carbono biodegradável e do metano que deixará de ser emitido como resultado da implementação do processo de compostagem;
- Dimensionar os compostores comunitários.

1.4 Metodologia

A realização deste trabalho baseou-se em pesquisa bibliográfica e trabalho de campo, para a recolha de dados que permitiram, posteriormente, proceder ao dimensionamento do centro de compostagem e quantificar o metano que não será emitido. A pesquisa bibliográfica consistiu na análise e recolha de informações (artigos, livros, dissertações, trabalhos de licenciatura e sites de *internet*) relacionadas com:

- Resíduos Sólidos Urbanos;
- Caraterização dos resíduos sólidos urbanos;
- Valorização dos resíduos orgânicos;
- Quantificação o carbono biodegradável .

Para o trabalho de campo serão realizadas as seguintes actividades:

- Visita ao Município da Matola e as estruturas do bairro;
- Entrevista aos moradores;
- Caraterização de resíduos produzidos em diferentes intervalos.

METODOLOGIA E TRABALHO DE CAMPO

2 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O bairro de Nkobe está situado na província de Maputo, no distrito da Matola e do município homônimo, especificamente no posto administrativo da Machava. Localiza-se no interior do município da Matola e faz fronteira com os bairros Malhemele ao norte; Machava Socimol Km 15, Singatela, São Dâmaso e Bunhiça ao sul; 1º de Maio e Intaka a leste; e Matola Gare a oeste. Nkobe é um dos 42 bairros que compõem o município de Matola

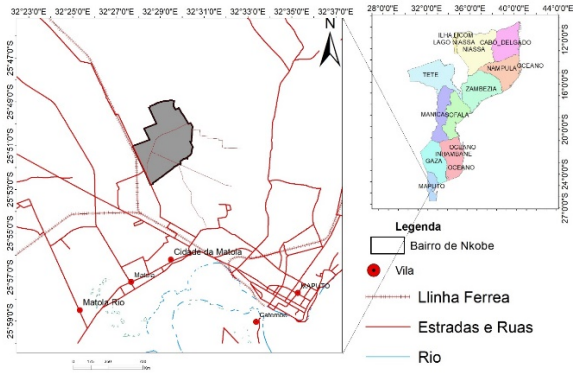


Figura 1: Mapa de localização do bairro de Nkobe

2.1 Histórico e Contexto de Expansão

- Reassentamento pela N4 levou deslocados a Nkobe (antes rural).
- Nova estrada impulsionou urbanização e expansão periurbana.
- 15 quarteirões com perfil rural-suburbano.

- Possui: posto policial, escolas, posto de saúde, ATMs, comércio, água e luz.
- Recolha de lixo: apenas 2x/semana – insuficiente.
- Crescimento no comércio e serviços.
- Urbanização trouxe novos mercados e negócios.
- Infraestrutura pública não acompanha a expansão.

Desafios Ambientais

- Enchentes na época chuvosa.
- RSU mal gerido: poucos contentores e lixo acumulado.
- Urgência em melhorar gestão de resíduos.

2.2 Crescimento Populacional

O bairro de Nkobe também passou por um crescimento populacional expressivo nos últimos anos. De acordo com o censo de 2007, Nkobe tinha uma população de 8 038 habitantes. Dez anos depois, em 2017, o bairro registrou um aumento significativo, com uma taxa de crescimento de 14%, tingindo um total de 28 552 habitantes. Este aumento populacional exerce pressão sobre a infraestrutura existente, aumentando a necessidade de serviços públicos e a expansão da rede de infraestrutura básica.

3 METODO E MATERIAS

A componentes prática do trabalho incluiu a realização de entrevista à população, e a realização de campanhas de caracterização dos RSD em diversas residências no bairro de NKobe.

3.1 Descrição da Amostra

Amostra: residentes do quarteirão 2 de Nkobe, com escolaridade do básico ao superior. Seleção estratégica para refletir a percepção comunitária sobre gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU)

3.1.1 Critérios e Método de Amostragem

- Participantes: representantes da residência com 15 anos ou mais.

- Excluídos: menores de 15 e funcionários domésticos (sem autorização para responder).

- Método: amostragem por zona (Cluster Sampling) foco em grupos geográficos, não indivíduos.

3.1.2 Entrevistas e Dados

Entrevistas exploraram:

- Percepções sobre RSU.
- Práticas domésticas de gestão de resíduos.
- Objetivo: identificar hábitos, desafios e melhorias possíveis nas políticas e educação ambiental.

Cada entrevistado assinou um termo de concordância, validando a participação, a assinatura garantiu transparência e ética na pesquisa. Residências participantes foram georreferenciadas (pontos amarelos no mapa), que permitiu melhor análise da distribuição e percepção dos moradores.

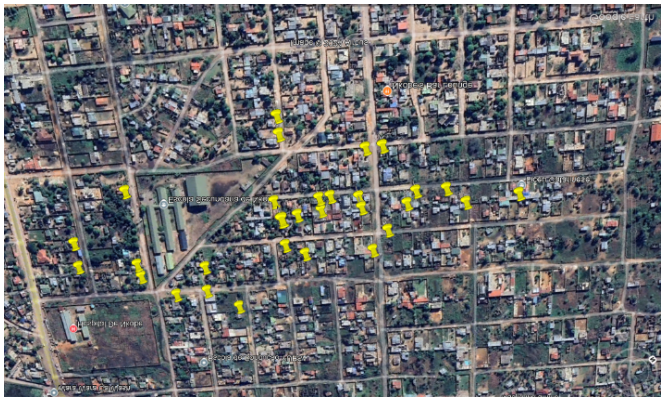


Figura 2: Mapa das residências que estiveram envolvidas no estudo

3.1.3 Características da Amostra

- Idade média: 34 anos
- Sexo: 80% feminino | 20% masculino
    - Justificado por normas sociais: mulheres mais presentes em casa nos dias úteis.
- Média de pessoas por casa: 4
    - Reflete a estrutura familiar típica da região.

.

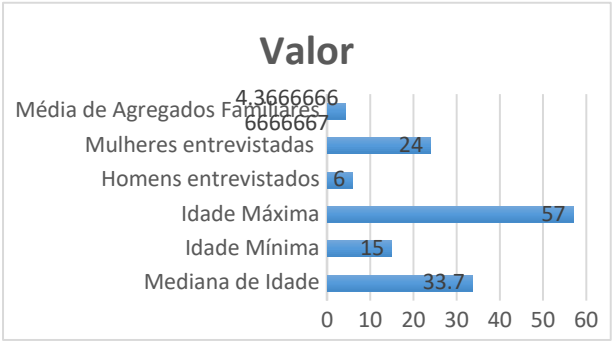


Figura 3: Gráfico de dados gerais da amostraEscolaridade: básica, média e superior

Escolaridade influencia positivamente a percepção ambiental e a adoção de boas práticas. Ocupações diversas: avaliadas para entender sua influência na gestão de RSU. Os graficos ilustram dados gerais, nível educacional e ocupação.

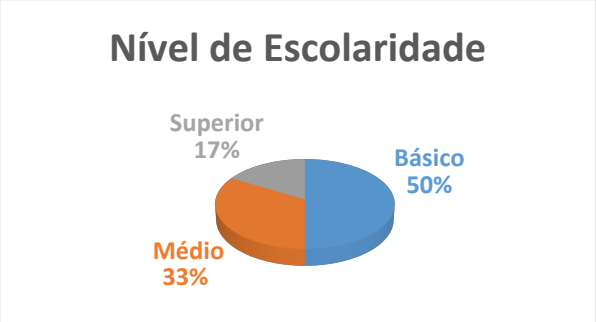


Figura 4: Gráfico de dados do nível de escolariade

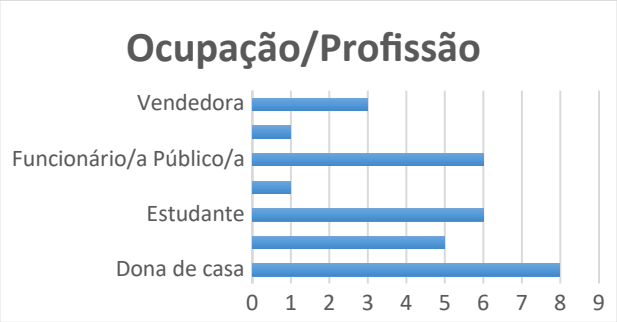


Figura 5: Gráfico de dados de ocupação dos moradores

3.1.4 Avaliação da Percepção Comunitária sobre a GRS

- Entrevistas: combinaram perguntas abertas e fechadas;
    - Respostas demonstraram bom conhecimento informal sobre gestão de resíduos:
    - Descarte em baldes, sacos, covas, queima, reciclagem, deposição em focos de resíduos ilegais e afins.

3.1.5 Gestão Doméstica de Resíduos

Dos entrevistados foi constato que as principais forma de gestão a nível domésticos estão compreendidos em:

- Queima**:** 38%
- Enterrar: 33%
- Depósito em focos ilegais**:** 22%
- Levar aos contentores (veículo próprio): 7%
- Impactos:
    - Riscos ambientais (contaminação do solo e da água)
    - Emissão de poluentes tóxicos



Figura 6: Gestão de resíduos a nível domestico

3.2 Campanha de Caracterização dos Resíduos

3.2.1 Procedimentos de recolha de Dados

3.2.1.1 Instrumentos e Técnicas de Análise

Durante a campanha de caracterização e análise de resíduos, foram utilizados os seguintes equipamentos e ferramentas, cada um com uma função específica para garantir a eficiência e a precisão do processo:

- Saco 50 kg: utilizado para fornecer uma superfície limpa e prática para a triagem dos resíduos. O saco foi cortado ao meio e usado como lona para a triagem dos resíduos;
- Sacos Pretos para Resíduos: destinados ao acondicionamento dos resíduos gerados no espaço de 24 horas, assegurando que os materiais fossem adequadamente armazenados.
- Balança: utilizada para medir a quantidade precisa de resíduos em cada categoria, garantindo a obtenção de dados quantitativos exatos.
- Dois Baldes (15 litros e 25 litros): empregados para a pesagem e separação dos resíduos de acordo com suas categorias. O balde maior foi usado para volumes maiores e o menor para volumes menores ou categorias específicas.
- Luvas: fornecidas para proteção durante o manuseio dos resíduos, garantindo segurança e higiene durante o processo.
- Máscara: usada quando necessário para proteger contra possíveis partículas e odores dos resíduos, mantendo a saúde dos participantes.
- Bota com Sola de Aço: garantia proteção adicional ao manusear resíduos potencialmente perigosos durante a recolha e triagem dos resíduos.
- Caneta e Agenda: utilizadas para registrar as o peso das categoria de resíduos e as observações durante o processo.



Figura 7: pesagem de cada fracção de resíduos, depois da triagem

4 RESULTADOS DA CAMPANHA DE CARATERIZACAO

4.1 Fases da Campanha

Inicialmente, foram selecionadas 30 residências representativas dentro da área de estudo. Cada dia, foram visitadas cinco residências para a recolha e triagem dos resíduos gerados. Esta abordagem permitiu a obtenção de uma amostra representativa e a observação dos padrões de geração de resíduos em um ciclo completo de 24 horas.

Cada categoria de resíduo foi cuidadosamente analisada para determinar tanto a quantidade gerada quanto os padrões de descarte associados. O gráfico da Figura, ilustra a percentagem de cada fracção de resíduos, oferecendo uma visão clara das proporções relativas de cada tipo de resíduo gerado.

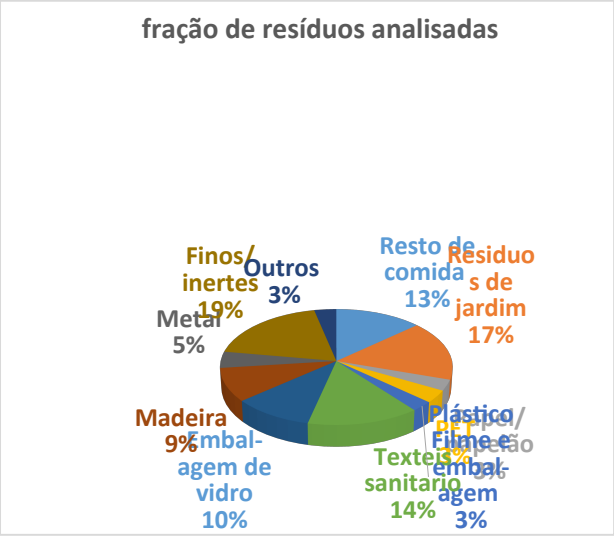


Figura 8: Gráfico com a fracção de resíduos analisadas do estudo de NKobe

5 PONTENCIAL DE VALORIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

5.1 Projecção populacional e geração de resíduos

O estudo em questão tem como objectivo comprovar que o bairro de Nkobe possui potencial significativo para o dimensionamento de um centro de compostagem descentralizado, focado na valorização da fração orgânica gerada nas residências locais.

A instalação de tal centro permitiria o aproveitamento eficiente dos resíduos orgânicos, como restos de comida e resíduos de jardinagem, contribuindo para a redução do volume de resíduos destinados às lixeiras e promovendo a produção de compostos orgânicos de alta qualidade, que pode ser utilizados na agricultura local.

Com base na análise dos dados populacionais e nas projecções de crescimento, foi possível estimar a quantidade potencial de resíduos que poderá ser valorizada no futuro. Utilizando a taxa de crescimento anual observada entre 2007 e 2017, de 14%. Uma vez que o crescimento populacional tem vindo a estabilizar, foi considerado neste estudo uma taxa anual de 3.40%, conforme a estimativa para o município da Matola para o ano de 2024 (Macrotrends, 2024). Esse crescimento populacional é directamente proporcional a geração de resíduos orgânicos gerados na área.

Sendo que a produção per capita dos resíduos sólidos domésticos foi estimado em uma media de 0.34 $kg/habitante/dia$. E a produção dos resíduos orgânicos foi estimada em 0,04 $kg/habitante/dia$.

A tabela traduz quanto mais resíduos forem encaminhado ao processo de compostagem, quantidades significativas de metano pode-se mitigar emitir, sendo que o metano que tem um potencial de 25 durante 100 anos de sobre a atmosfera contribuído para o aquecimento global em relação ao dióxido

O gráfico, não apenas representa a quantidade do metano que deixa de ser emitido, mas também demonstra o potencial em geração de crédito de carbono a partir do processo de, contribuindo significativamente para a redução dos gases de efeito estufa.

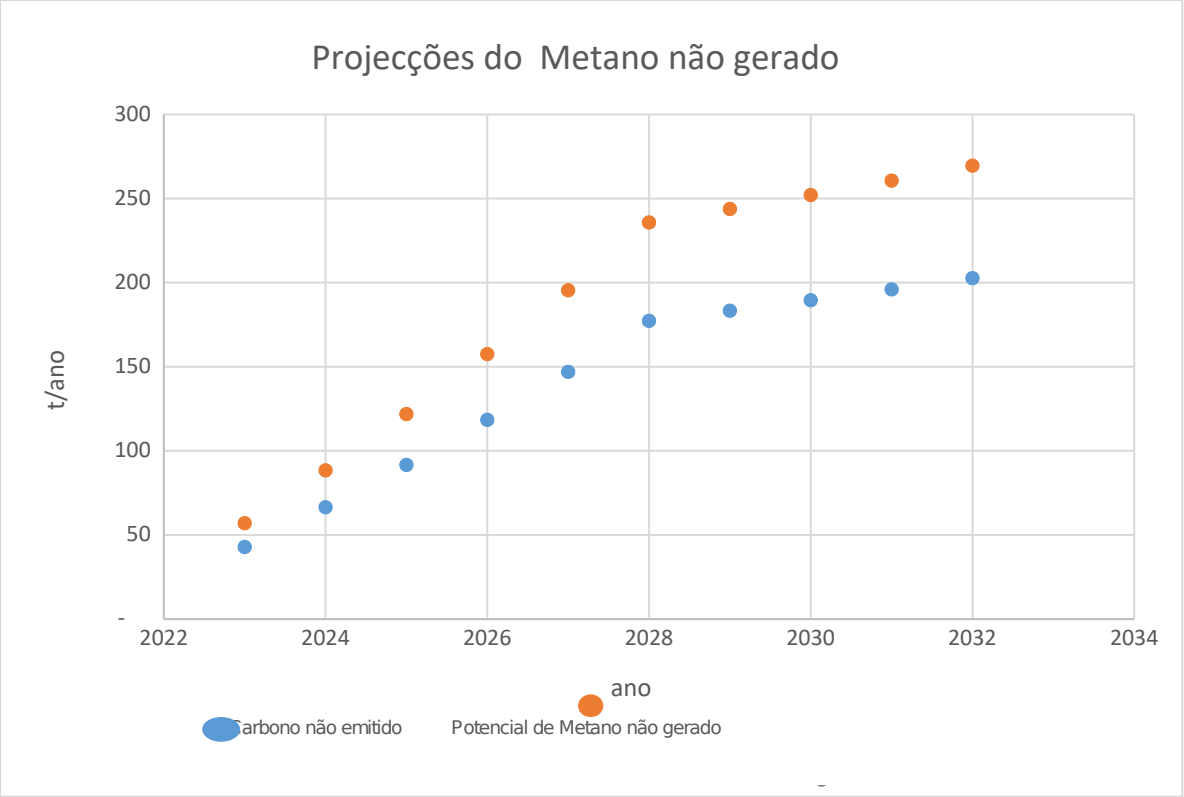


Figura 9: Gráfico de projecções carbono e metano ao longo de dez anos

Tabela 1: Quantidade de carbono biodegradável

			Projecções							
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anos	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Quantidade de carbono biodegradável (t/ano)										
Resto de comida	14	21	29	38	47	57	59	61	63	65
Resíduos de jardim	29	45	62	80	100	120	125	129	133	138
Total	43	66	92	118	147	177	183	190	196	203
Potencial de metano gerado (t/ano)	57,0	88,4	121,9	157,5	195,5	235,8	243,8	252,1	260,7	269,5

Tabela 22: projeções dos resíduos gerados nas residências dentro de 10 anos

			Projecções						
n	Dados de Base		1	2	3	4	5	6	7
Anos	2007	2017	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Demografia									
População (hab)	8 038	28 552	34 895	36 081	37 308	38 576	39 888	41 244	42 646
Taxa de crescimento populacional (Calculada)		14%							
Taxa de crescimento populacional (Estimada)		3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%	3,4%
Gestão de Resíduos									
Capitação média (kg/hab.dia)		0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Resíduos orgânicos (kg/dia)		1 166	1 425	1 473	1 523	1 575	1 629	1 684	1 741
Resíduos orgânicos (t/dia)		1,2	1,4	1,5	1,5	1,6	1,6	1,7	1,7
Resíduos orgânicos (t/ano)		426	520	538	556	575	594	615	636

5.2 Proposta de Compostagem

Para a implementação de um sistema de compostagem no bairro de Nkobe, propõe-se o uso de composteiras feitas com *pallets* conforme a Figura . Essa abordagem é especialmente adequada para a região devido às características geológicas e climáticas locais, como o elevado lençol freático e a recorrência de inundações durante a época chuvosa. Essas condições tornam inviável a utilização de métodos tradicionais de compostagem em pilhas ou leiras diretamente no solo, pois a saturação do terreno e a presença constante de humidade podem comprometer a aeração do composto, favorecendo a formação de maus odores e dificultando o processo de decomposição aeróbica.O uso de *pallets* permite a criação de u
contacto direto dos resíduos orgânicos com o s
contaminação por excesso de humidade e g
controlado para o processo de compostagem
construir uma base estável que mantém os resí
circulação de ar e uma drenagem mais ef
compostagem mais segura e eficaz, mesmo dur



Figura 10: Compostagem em pallets

Além de resolver os problemas mencionados, a compostagem com *pallets* oferece outras vantagens, conforme descrito na Error: Reference source not found, da revisão bibliográfica. Além dessas vantagens, destacam-se também os seguintes aspectos

- Facilidade de montagem e manutenção: *Pallets* são materiais de fácil de obtenção local, podendo ser montados rapidamente e ajustados conforme necessário. Sua estrutura modular também facilita a ampliação do sistema caso a quantidade de resíduos aumente;
- Custo acessível: por serem muitas vezes descartados por empresas e indústrias, *pallets* podem ser adquiridos a baixo custo ou até mesmo reutilizados, tornando o método acessível para a comunidade local.
- Flexibilidade na localização: por serem móveis, as composteiras em *pallets* podem ser deslocadas para locais mais adequados conforme a necessidade, evitando áreas mais propensas a alagamentos ou facilitando a manutenção.

5.3 Dimensionamento dos compostores

Para a aquisição dos compostores, a estimativa foi baseada na quantidade prevista de resíduos orgânicos a serem recebidos, considerando parâmetros técnicos como a densidade média dos resíduos, que é de 450 kg/m³, conforme estabelecido na tabela em Error: Reference source not found, e embasado em estudos técnicos. Considerando o volume de 2 m³ de cada compostor de *pallets* e um ciclo de compostagem de 90 dias, estima-se a realização de 4 ciclos completos de compostagem ao longo de um ano. A Error: Reference source not found, apresenta a projecção detalhada do número de compostores necessários para cada ano, em função do volume anual de resíduos estimado e da capacidade operacional dos sistemas de compostagem.

5.4 Estratégia para implementação

A valorização de resíduos orgânicos em uma comunidade requer uma abordagem integrada. Essa estratégia deve envolver educação ambiental, políticas bem definidas para a separação de resíduos e acções práticas para a recolha e compostagem. Cada um desses componentes é de suma importância para criar um sistema de sustentabilidade e responsabilidade ambiental.

5.4.1 Educação Ambiental e Conscientização

O primeiro passo para a valorização dos resíduos orgânicos é informar a comunidade sobre a importância da compostagem e seus benefícios. As acções que podem ser implementadas nesse contexto incluem:

- Workshops e palestras que devem ser organizados eventos educativos regulares em

locais estratégicos, como escolas, mercados e reuniões de bairros. Por forma que os que os educadores ambientais ou activistas comunitários abordem temas como o funcionamento da compostagem, suas vantagens e o impacto positivo que a prática traz tanto para a comunidade quanto para o meio ambiente. Essas sessões interativas permitirão que os participantes façam perguntas e se envolvam activamente na discussão;

- Material educativo: A criação de folhetos e cartazes devem ter um conteúdo claro, visualmente atraente e conter informações práticas sobre como realizar a compostagem e a importância da separação de resíduos para abragir todos os níveis de escolaridade. A distribuição deve ocorrer em locais de grande circulação, como mercados, escolas e centros de saúde, para garantir que a informação alcance o maior número possível de moradores. Além disso, a utilização de plataformas digitais e redes sociais pode ampliar ainda mais o alcance das informações.

5.4.2 Implantação de Políticas de Separação de Resíduos

Para garantir a valorização dos resíduos orgânicos, é fundamental implementar um sistema eficiente de separação de resíduos em três frações: orgânicos, recicláveis e outras resíduos. Essa separação vai assegurar que os resíduos orgânicos sejam correctamente encaminhados para o processo de compostagem. Algumas condições essenciais para garantir a eficácia desse sistema incluem:

- Legislação municipal: É fundamental que o conselho municipal crie e aprove políticas que tornem a separação de resíduos obrigatória. Essa legislação deve incluir diretrizes claras sobre como os moradores devem separar seus resíduos em casa;
- Incentivos e recompensas: Para estimular a adesão às novas políticas de gestão de resíduos, é importante que haja um sistema de recompensas para os cidadãos que praticarem a separação correcta. Por exemplo, os moradores que cumprirem as normas poderão receber uma determinada quantidade de composto no fim de cada ciclo do processo de compostagem, promovendo dessa forma a agricultura domestica e comunitária;
- Recolha porta a porta: A recolha porta a porta dos resíduos deve ser regular e bem divulgada. É essencial que a população saiba quando e como os resíduos serão recolhidos, e que essa recolha respeite os diferentes tipos de resíduos. Os cidadãos que não aderirem às novas políticas de separação de resíduos não devem ser abrangidos pela recolha porta a porta, incentivando a responsabilidade individual;
- Educação continuada: Para garantir que todos os cidadãos compreendam as novas políticas, é vital implementar um programa de educação continuada, que reforce a importância da separação de resíduos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

O presente estudo evidenciou a importância da compostagem comunitária como uma solução viável para a gestão de RSD no bairro de Nkobe. A análise revelou que a composição per capita dos resíduos sólidos é estimada em 0,04 kg/habitante/dia, resultando em uma produção anual de aproximadamente 1,4 toneladas de resíduos orgânicos. Essa quantidade demonstra o significativo potencial de valorização dos resíduos, uma vez que a implementação de práticas de compostagem pode levar a uma redução anual de 43 toneladas de carbono, equivalente a 57 toneladas de metano. Se os projectos de compostagem comunitária forem ampliados para todo o município, há a possibilidade de uma redução substancial na quantidade de resíduos gerados, bem como nas emissões de gases de efeito estufa. Levando a uma estimativa de milhões de toneladas de resíduos e uma quantidade considerável de carbono que deixarão de emitidos para atmosfera, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas, a preservação do meio ambiente e cumprindo as metas estabelecidas na redução de GEE, gerando capital ao país por meio de créditos de carbono.

Diante desses resultados, é imprescindível que as autoridades locais, juntamente com a comunidade, desenvolvam e implementem políticas que incentivem a adoção de projectos de compostagem. A conscientização da população são fundamentais para o sucesso dessas iniciativas. Assim, a compostagem não apenas representará uma alternativa sustentável para o gerenciamento de resíduos, mas também promoverá um ambiente mais saudável e equilibrado para todos.

Por fim, este trabalho abre caminhos para investigações futuras, que podem explorar a eficácia e a replicabilidade das práticas de compostagem em outras áreas, bem como os benefícios sociais e económicos associados à sua implementação. A continuidade dessas pesquisas é essencial para avançar em direcção a um futuro mais sustentável e resiliente, onde a gestão de resíduos sólidos e a redução das emissões de gases de efeito estufa se tornem prioridades nas agendas públicas.

6.2 Recomendações

Recomenda-se ao Conselho Municipal da Matola que desenvolva e implemente políticas específicas para a gestão de resíduos orgânicos, com o objectivo de incentivar a prática da compostagem em nos bairros. Essas políticas devem incluir diretrizes claras sobre a separação e destinação adequada dos resíduos, promovendo uma maior conscientização entre os munícipes.

É essencial que o município invista na criação de uma infraestrutura apropriada para a compostagem, como centros de compostagem comunitários. Esse investimento deve ser acompanhado por programas educativos que visem sensibilizar a população sobre a recolha selectiva, a importância da compostagem e a participação activa dos cidadãos, garantindo, assim, a eficiência no processamento dos resíduos.

Além disso, recomenda-se a implementação de um sistema de monitoramento contínuo da gestão de resíduos orgânicos. Esse sistema permitirá avaliar a eficácia das políticas e práticas de compostagem adotadas, possibilitando ajustes nas estratégias implementadas, além de garantir transparência e responsabilização na gestão dos resíduos.

Para estudos futuros, é fundamental focar na análise da composição e geração de resíduos sólidos urbanos nos bairros, especialmente em áreas comerciais, como mercados, onde a geração de resíduos orgânicos é significativa. Essa pesquisa pode contribuir para ampliar os sectores de recolha de resíduos orgânicos, favorecendo sua valorização e aproveitamento.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Ambiente, M. d. (31 de Dezembro de 2014). Regulamento Sobre a Gestão de Resíduos - Decreto n.º 94/2014.

Anderson, J. B. (2024). Sustainable Resource Management and Waste Minimization. Green Earth Publishers. Nova York, EUA.

ANVISA. (2020). Em A. N. Sanitária, *Manual de Gestão de Resíduos Sólidos.* Brazil, Brasília: ANVISA.

Brown, A. G. (2021). Contamination of Soil by Industrial Waste: Implications for Agriculture. Journal of Environmental Protection.

Carbon Market Watch. (13 de 09 de 2024). *Carbon Markets Explained: A Beginner's Guide.* Obtido de https://carbonmarketwatch.org.

Chaluque, M. C. (2013). *Análise da implementação do Projecto de Valorização dos Resíduos Solidos Orgânicos* . Florianópolis .

Cortez, C. L. (2011). *Estudo do Potencial de utilizacao da Biomassa Resultante da Poda de árvores para Geração de Energia* . São Paulo.

Emmanuel F. Mushi, D. C. (2022). Urban waste management in Dar es Salaam: Challenges and opportunities. pp. 56-67.

Environment, M. o. (1 de November de 2021). Government of Mozambique. Updated First National Determined. *Update of the First Nationally* , p. 105.

Flick, U. (2014). An Introduction to Qualitative Research. SAGE Publications.

George Tchobanoglous, H. T. (1993). Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues .

Hand, S. E. (1996). Manual de compostagem doméstica e de pequenos jardins. London: Ecological Foundation Press.

Harris, C. A. (2023). The Future of Waste Management: Innovations and Policies. Sustainable Solutions Press. Londres, Reino Unido.

Hoornweg, D. &.-T. (2012). What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management. *World Bank*.

Hopewell, J. D. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. Em *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences.*

IPCC. (2021). *Climate Change The Physical Science Basis - Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chang.*

Jaramillo, J. (2003). *GUIDELINES FOR THE DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF MANUAL SANITARY LANDFILLS.* Universidad de Antioquia: Lima.

Kiehl, E. J. (1985). *Fertilizantes Orgânicos.* Piracicaba: Ceres.

Kirchherr, J. R. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Em *Resources, Conservation and Recycling.*

Langa, M. d. (2014). Gestão de RSU em Moçambique, Responsabidade de Quem? *Nacional de Gerenciamento de Cidades*, 92-105.

Levy, J. d. (2006). *Resíduos Sólidos Urbanos: Princípios e Processos.* Lisboa: AEPSA.

Luis F. Diaz, C. G. (2020). *Composting and Recycling Municipal Solid Waste.* Boca Roton: Imprensa CRC.

Macrotrends. (5 de 10 de 2024). *www.macrotrends.net. Retrieved*. Obtido de Matola, Mozambique Metro Area Population 1950-2024: https://www.macrotrends.net

Miller, R. T. (2019). Biodiversity Loss Due to Waste Pollution: Case Studies and Analysis. Em *Ecological Impact Studies* (pp. 321-340). EUA.

MTA. (2017). Ministerio da Terra e Ambiente Plano Director Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos na Cidade de Maputo.

MTA. (2021). Guião Metodologico para a Elaboracao de Planos de Gestao Intergrada de Residuos Solidos. *Projecto de Desenvolvimento Urbano Local, 1ª.*

Município de Nampula, J. V. (2018). Estudo sobre as Quantidades e Tipologias de RSU Produzidos no Município de Nampula.

Nhabanga, E. (2013). *FORMAS DE APROPRIACAO DO ESPACA HABITACIONAL NUM BAIRRO DE REASSENTAMENTO: O CASO DE ESTUDO NKOBE.* Provincia de Maputo: Universidade Eduardo Mondlane.

Nhabanga, E. M. (2013). *Formas de Apropriacacao do espaco habitacional num bairro de reassentamento: o caso de estudo Nkobe.* Matola: Universidade Eduardo Mondlane.

Oliveira, M. G. (2018). Gestão de Resíduos Sólidos: Uma Abordagem Prática. Florianópolis, SC, Brasil: Editora UFSC.

Ribeiro, S. &. (s.d.). The circular economy and sustainable development: An overview. Em *2018* (pp. 90-104). Journal of Cleaner Production.

Santos, A. S. (2020). Gestão e Tratamento de Resíduos Sólidos. . *Editora Ambiental*.

Smith, J. T. (2022). Air Pollution from Waste Management Practices: Health and Environmental Impacts. Atmospheric Environment. 101-115.

Taylor, R. C. (2019). The Impact of Waste Incineration on Air Quality and Climate Change. Em *Environmental Science & Technology* (pp. 345-359).

UNFCCC. (13 de 09 de 2024). *Protocolo de Kyoto à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.* Obtido de https://unfccc.int/kyoto_protocol

Anexos

1. O que entende por resíduos sólidos
2. O que entende por gestão e tratamento de resíduos sólidos
3. Este bairro e beneficiado pelo sistema de recolha de resíduos sólidos

Sim ( ) Não ( )

4. Como avalia o sistema de recolha de resíduos sólidos urbanos em Nkobe

Óptimo ( ) Bom ( ) Razoável ( ) Ruim ( )

5. Quais são as formas de tratamento de resíduos sólidos que tem utilizado em sua residência ?

Enterra__
Queima__
Deposita em contentores de lixo__
Deposita em focos de lixo__

6. O que entende por reciclagem?

7. Já reciclou? O que já reciclou?

Material Plástico ( ) Material metálico ( )
Material de vidro ( ) Material orgânico ( )

8. Já ouviu falar em compostagem ?

Sim ( ) Não ( )

9. Já praticou a compostagem ou pratica ?

Sim ( ) Não ( )

10. Aceitaria realizar uma caracterização dos resíduos em sua residência e implementar a compostagem?
Sim ( ) Não ( )

Assinatura da entrevistadora Assinatura do/a entrevistado/a

_____ _____

Salustiana M. Jasse Munícipe

Hdhjshd

Anexo 1: Etapas de abertura de composteira domesticas em pilha nas residências



O processo de abertura das composteiras domésticas em pilha foi realizado através da montagem de uma base composta por galhos maiores, que serve para proporcionar aeração e drenar a humidade. Em seguida, os resíduos orgânicos foram dispostos de maneira ordenada, seguindo uma sequência específica: inicialmente, foram adicionados resíduos secos (restos de jardim e folhas secas), que ajudam a equilibrar a relação carbono-nitrogênio na pilha.

Depois disso, foram incorporados os resíduos húmidos, que consistem principalmente em restos de alimentos de origem vegetal. Essa combinação é essencial para garantir um processo de compostagem eficiente e um composto rico em nutrientes.

Anexo 2: Parcela da folha de cálculos onde foi lancada os dados de cada residência na campanha de caracterização de RSD

Residências	Resto de comida	Resíduo de jardim	Papel/papelão	PET	Plástico Filme e embalagem	Têxt
1	0,550	0,220	0,027	0,000	0,050	
	0,450	0,140	0,000	0,000	0,035	
	1,260	0,160	0,070	0,000	0,065	
	0,135	0,185	0,000	0,000	0,045	
	0,095	0,145	0,000	0,000	0,000	
2	0,710	0,235	0,000	0,000	0,055	
	0,640	0,145	0,040	0,000	0,155	
	0,505	0,175	0,950	0,135	0,055	
	0,365	0,195	0,000	0,095	0,095	
	0,280	0,145	0,065	0,105	0,075	
3	0,240	0,160	0,041	0,035	0,105	
	0,195	0,230	0,000	0,000	0,065	
	0,235	0,095	0,095	0,000	0,095	
	0,105	0,145	0,055	0,000	0,000	
	0,000	0,090	0,000	0,000	0,025	
4	0,115	0,265	0,000	0,000	0,045	
	0,095	0,165	0,025	0,055	0,035	
	0,205	0,185	0,020	0,095	0,000	
	0,135	0,305	0,000	0,025	0,040	
	0,105	0,295	0,095	0,035	0,000	
5	0,245	0,295	0,015	0,030	0,030	
	0,000	0,235	0,000	0,065	0,015	
	0,000	0,155	0,000	0,000	0,045	
	0,115	0,090	0,065	0,000	0,055	
	0,095	0,305	0,125	0,035	0,035	
6	0,790	2,210	0,070	0,020	0,350	
	0,665	0,135	0,000	0,000	0,205	
	0,545	0,100	0,000	0,000	0,000	
	0,700	0,135	0,055	0,075	0,075	
	0,455	0,105	0,000	1,095	0,135	
7	0,340	0,075	0,040	0,700	0,130	
	0,305	1,090	0,065	0,000	0,000	
	0,265	0,125	0,000	0,000	0,060	
	0,305	0,105	0,035	0,565	0,025	
	0,375	0,050	0,000	0,135	0,000	
8	0,115	0,405	0,025	0,100	0,070	
	0,095	0,265	0,000	0,125	0,000	
	0,205	0,115	0,000	0,000	0,065	
	0,000	0,200	0,045	0,000	0,035	
	0,155	0,305	0,105	0,015	0,000	
9	0,145	0,500	0,035	0,000	0,045	
	0,150	0,105	0,075	0,000	0,065	
	0,135	0,235	0,000	0,000	0,000	
	0,115	0,170	0,105	0,000	0,035	
	0,095	0,185	0,000	0,000	0,000	
10	0,375	0,475	0,095	0,095	0,045	
	0,340	0,375	0,025	0,000	0,095	
	0,195	0,400	0,000	0,000	0,035	
	0,245	0,095	0,000	1,005	0,055	
	0,165	0,105	1,015	0,000	0,035	
30	0,135	0,260	0,055	0,000	0,015	
	0,120	0,305	0,035	0,000	0,035	
	0,115	0,275	0,000	0,000	0,005	
	0,090	0,565	0,000	0,000	0,015	
	0,155	0,755	0,045	0,000	0,015	
Total	30,515	38,285	6,928	7,965	6,270	

Simpósio Nº4: Geologia Médica e Termalismo

22202 ARGILAS PARA APLICAÇÕES CONJUNTAS DE PELOTERAPIA E ELETROTERAPIA. Fernando Rocha; Carla Bastos. 1029

22390 MODELAGEM DA DISPERSÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. Aciel Ashantis; Carla Candeias; José Ângelo dos Anjos. 1031

22391 COMPARATIVE STUDY OF SALINE MUDS FROM AVEIRO AND ALGARVE (PORTUGAL) SALTPANS FOR PELOTHERAPY PURPOSES. Lara Almeida; Fernando Rocha; Carla Candeias. 1033

22407 CHARACTERIZATION OF SPA PELOIDS FOR THERAPEUTICAL APPLICATIONS. Carla Candeias; Nikola Burazer; Lara Almeida; Aleksandra Šajnović; Gordana Gajica; Gorica Veselinović; Branimir Jovančićević; Fernando Rocha. 1035

22561 GEOMEDICINA: O QUE É? PARA QUE SERVE? - ESTUDOS DE CASOS EM MOÇAMBIQUE. Bernardino Bernardo; Carla Candeias; Fernando Rocha. 1037

ARTIGO Nº22202

ARGILAS PARA APLICAÇÕES CONJUNTAS DE PELOTERAPIA E ELETROTERAPIA

Fernando Rocha[1(*)], Carla Bastos[1, 2]

[1]Geobiotec, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro - Aveiro, Portugal
[2]Exatronic - Aveiro, Portugal
[(*)] *Email:* tavares.rocha@ua.pt

RESUMO

A peloterapia e a eletroterapia são metodologias terapêuticas com sucesso comprovado nas áreas de medicina física e reabilitação e dermatologia. O principal objetivo destas modalidades terapêuticas é reduzir a dor, acelerar a cicatrização de feridas, aliviar os espasmos musculares e melhorar a mobilidade e o tónus muscular. O seu principal desafio está na passagem de algumas espécies iónicas através da barreira cutânea. Os valores de absorção dérmica são parte integrante do processo de avaliação dos riscos para os peloides.

Este trabalho explora a avaliação da qualidade das argilas a serem utilizadas nesses dois sistemas transdérmicos de liberação de fármacos (TDDS) e a apresentação de metodologias para alcançar a conformidade com a segurança peloide, especialmente no que diz respeito ao potencial e grau de toxicidade decorrente da troca iônica e oligoelementos. TDDS de peloterapia é reforçada pela temperatura e eletricamente por iontoforese.

A integração terapêutica da iontoforese e da peloterapia centrada nos benefícios para o paciente e no baixo risco relacionado à segurança pode contribuir para o excelente desempenho fisiológico da peloterapia, especificamente, na forma como os elementos essenciais e os catiões de troca atravessam a barreira cutânea.

As argilas são naturalmente ionizadas e é possível alterar a sua polarização utilizando soluções eletrolíticas ou misturando-as com água medicinal-mineral específica (processo de maturação). A ativação da entrega transdérmica por forças eletrocinéticas deve ser estudada considerando fatores experimentais como a força da corrente (0,5 mA/cm2), a temperatura (40–45 °C) de aplicação, o tempo de aplicação (15–20 min) e a seleção de materiais de eletrodos. Isso é possível através do desenvolvimento de um dispositivo eletrônico e um eletrodo cutâneo especificamente para armazenar e aquecer o peloide, para ser aprovado para uso clínico.

A validação de um sistema iontoforético inovador aplicado à peloterapia também pode promover desafios futuros na obtenção do controle terapêutico ideal dos peloides e na validação clínica dos resultados com reconhecimento da eficácia fisiológica.

***Palavras-chave**:* Argilas, peloterapia, eletroterapia, iontoforese.

ARTIGO Nº22390

MODELAGEM DA DISPERSÃO DE METAIS POTENCIALMENTE TÓXICOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Aciel Ashantis[1,2], Carla Candeias[2(*)], José Ângelo dos Anjos[1]
[1]Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Brasil
[2]GeoBioTec UI, Departamento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal
*E-mail: candeias@ua.pt

RESUMO

As mudanças climáticas tendem a exacerbar as condições de aridez dos solos, a intensidade dos ventos e o consequente aumento das partículas em suspensão, o que afeta a qualidade do ar e traz impactes aos ecossistemas e riscos para a saúde humana e animal. O objetivo do presente trabalho é modelar a dispersão do material particulado colocado em suspensão na bacia de rejeitos da mineração de Pb-Zn de Boquira, região semiárida do Brasil. Para tal, foram recolhidas amostras da bacia de rejeitos, das pilhas de estéreis, da camada superficial dos solos e, principalmente, da poeira assentada nos telhados e coberturas de prédios públicos e privados. Entre os resultados esperados estão (i) identificar os potenciais impactes sobre as populações do entorno, (ii) obter melhor entendimento de como as mudanças climáticas influenciam na dispersão, (iii) fornecer recomendações de mitigação e prevenção.

Palavras-chave: dispersão atmosférica, material particulado, bacia de rejeitos

INTRODUÇÃO

No Brasil, os metais respondem por cerca de 90% da produção mineral, o que representa cerca de 61 mil milhões USD/ano. No entanto, apenas um pequeno número das pilhas de estéreis e de rejeitos espalhadas pelo país constam nas bases de dados da Agência de Mineração (ANM, 2024). A compor um quadro adverso nesse contexto, verifica-se nas últimas décadas significativo aumento das condições de aridez em grande parte do país, sobretudo na região nordeste (Pivetta e Fontanetto, 2024), propícias ao aumento da intensidade dos ventos e das partículas em suspensão. Para as populações que vivem no entorno de atividades de exploração mineral, os riscos são exponencialmente maiores (González, 2024).

REFERÊNCIAS

ANM, Report Mensal Barragens de Mineração, Agência Nacional de Mineração, Brasília, 2024.

González, R., Left in the dust, Science, 385(6707):356-358, 2024.

Pivetta, M., Fontanetto, R., O Brasil que seca, Revista Pesquisa Fapesp, 25(338), 11-21, 2024.

PAPER Nr.22391

COMPARATIVE STUDY OF SALINE MUDS FROM AVEIRO AND ALGARVE (PORTUGAL) SALTPANS FOR PELOTHERAPY PURPOSES

Lara Almeida[1(*)], Fernando Rocha[1], Carla Candeias[1]

[1]GeoBioTec Research Unit, Geosciences Department, University of Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 Aveiro, Portugal
[(*)] *Email:* candeias@ua.pt

ABSTRACT

The present study aims to characterize saline mud samples and assess the potential for pelotherapy applications. Two samples from the Ria Formosa saltpans (Tavira and Olhão; Portugal) were collected and compared with previously studied samples from a saltpan in Ria de Aveiro (Portugal), specifically Marinha da Noeirinha. Different analyses were performed, including chemical (XRF and cation exchange capacity), mineralogical (XRD), technological (e.g., abrasiveness index, expandability, oil absorption, Atterberg limits and specific surface area), thermal (specific heat and cooling time), and rheological (viscosity) tests, on the silt fraction (< 63 μm) of the collected samples. Ria de Aveiro saltpans muds revealed properties suitable for use in pelotherapy. Mineralogical and chemical analyses revealed favorable results, positively influencing the technological, thermal and rheological properties, which met the minimum requirements established for peloids. The characterization of the muds from Algarve saltpans is currently being performed.

Keywords: saline muds, saltpans, pelotherapy, Ria de Aveiro, Ria Formosa

INTRODUCTION

Natural materials, especially salted ones, have been used by humans for healing purposes, with ancient civilizations recognizing the therapeutic effects of mineral-rich muds and salts. Marinha da Noerinha SPA is located on a former saltpan, recently adapted into an artificial peri-urban saltwater beach. The site now offers mud and salt SPA, reflecting the growing trend in modern wellness tourism to integrate traditional healing practices with contemporary therapeutic techniques. In contrast, the saltpans of Tavira and Olhão are commercial facilities dedicated exclusively to salt extraction and sale, contributing significantly to the local economy. Recent studies on the Ria de Aveiro saltpans (Almeida et al., 2023a,b) demonstrated that the muds, when used without treatments or modifications, generally present beneficial properties for application in SPAs therapies. These findings align with the increasing interest in uzing natural resources in alternative medicine and wellness practices, particularly the use of mineral-rich muds in modern SPAs.

Funding: L.A. is thankful for the FCT PhD funding (2023.01752.BDANA). All authors are thankful for the support to GeoBioTec (UIDB/04035/2020) financed by national funds through the FCT/MCTES.

REFERÊNCIAS

Almeida, L., Rocha, F., Candeias, C. (2023a). Geochemical and mineralogical characterization of Ria de Aveiro (Portugal) saltpan sediments for pelotherapy application. Environ. Geochem. Health, 45, 3199-3214.

Almeida, L., Rocha, F., Candeias, C. (2023b). Portuguese lagoon clay sediments for pelotherapy applications. The study of technological properties. J. Appl. Sci., 23, 185-193.

PAPER Nr.22407

CHARACTERIZATION OF SPA PELOIDS FOR THERAPEUTICAL APPLICATIONS

Carla Candeias[1(*)], Nikola Burazer[2], Lara Almeida[1], Aleksandra Šajnović[2], Gordana Gajica[2], Gorica Veselinović[2], Branimir Jovančićević[3], Fernando Rocha[1]

[1]GeoBioTec, Geosciences Dep., University of Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193Aveiro, Portugal
[2]University of Belgrade, Institute of Chemistry, Technology and Metallurgy, Njegoševa 12, 11000 Belgrade, Serbia
[3]University of Belgrade, Faculty of Chemistry, Studentski trg 12-16, 11000 Belgrade, Serbia
[(*)] *Email:* candeias@ua.pt

ABSTRACT

Peloids for therapeutic use are natural or artificially maturated muddy materials enriched with minerals. On the process, additional constituents can be included, such as algae, microorganisms, and bioactive compounds, offering unique properties that can benefit the skin [1]. The chemical composition often includes Mg, Ca, and S, which can positively affect the skin, such as detoxification, hydration, and anti-inflammatory properties. Peloids are commonly used in Spa treatments and have different textures and formulations. However, peloids can also pose a risk to human health, including mineral dysregulation, the presence of contaminants, and pharmacological interactions, making its characterization crucial [2,3]. In this study, six peloid samples were characterized.

***Keywords**:* clays, pelotherapy, spa treatments, Serbia.

INTRODUCTION

Six peloid samples were collected from Serbian spas, specifically one sample from each spa, Junaković (JUN), Koviljača (KOV), Jošanička (JOS), Vranjska (VR), Bujanovačka (BU), and Selters (MLA) Spa's. All samples underwent artificial maturation using locally collected mineral waters for varying periods, ranging from one day (VR) to 12 years (MLA). In some cases, the peloids were dried and stored and, when necessary, the dried material undergoes a 10-day maturation period with the same mineral water used during the aging process or is heated before use, after which it is considered ready for skin applications. These six samples were analyzed using XRD, XRF, SEM-EDS, and Sedigraph to characterize the mineral phases, the chemical composition of major elements, particles morphology and composition, and texture. Additionally, technological tests were performed, including abrasiveness, specific heat, and expansiveness. The results obtained for the mentioned peloids will be presented and discussed.

Funding: This research has been financially supported by the Ministry of Science, Technological Development and Innovation of Republic of Serbia (Contract No: 451-03-66/2024-03/200026 and 451-03-65/2024-03/200125) and by FCT funding to GeoBioTec Research Unit (UIDB/04035/2020). L.A. is thankful for the FCT PhD funding (2023.01752.BDANA).

REFERÊNCIAS

[1] Gallo, T., Pacelli, C., Therapeutic properties of peloids for skin applications: A review of recent findings, J Cosmetic Dermatology, 21(4), 1200-1210, 2022.

[2] Mourelle, M.L., Composition and properties of peloids: The role of natural vs. artificial maturation. J Applied Clay Science, 2021.

[3] Vadlja, D. (2022). "Understanding the maturation of peloids and implications for therapeutic applications." Thermal Medicine, 2022.

ARTIGO Nº22561

GEOMEDICINA: O QUE É? PARA QUE SERVE? - ESTUDOS DE CASOS EM MOÇAMBIQUE

Bernardino Bernardo[1,2(*)], Carla Candeias[2], Fernando Rocha[2]

[1] Faculdade de Ciências da Terra e Ambiente Maputo, Universidade Pedagógica de Maputo, 2482, Moçambique
[2] Unidade de Investigação GeoBioTec, Departmento de Geociências, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal
[(*)] *Email:* nhacundela.berna@gmail.com

RESUMO

A Geomedicina é um campo científico interdisciplinar emergente, que se refere à relação entre os factores geoambientais e a saúde humana. Actualmente com aumento dos riscos de saúde não-cancerígenos e cancerígenos associado a contaminação geoambiental a geomedicina ganhou uma grande atenção na explicação e identificação das fontes de poluição para alem das reconhecidas propriedades terapêuticas. Neste artigo, faz – se a síntese de dois artigos ora publicados: Soils Risk Assessment in the Surrounding Area of Hulene-B Waste Dump, Maputo (Mozambique) e Geophagic Materials Characterization and Potential Impact on Human Health: The Case Study of Maputo City (Mozambique) para explicar as potencialidades da geomedicina no reconhecimento das fontes de contaminação por elementos potencialmente tóxicos e da identificação das propriedades terapêuticas. O estudo conclui que geomedicina é um campo de saber interdisciplinar e imprescindível na compreensão dos processos de contaminação ambiental e riscos de saúde bem como para o aproveitamento dos recursos geoambientais na terapia humana.

***Palavras-chave**:* Geomedicina, contaminação, riscos, saúde, terapia.

INTRODUÇÃO

A relação entre a Geologia e Saúde foi reconhecida pelos povos antigos, e a geologia médica foi um tema popular que envolveu académicos desde o final do século XVIII até meados do século XIX (Bill, 2010). Actualmente com aumento dos riscos de saúde associado as condições geoambientais, a Geomedicina ganhou uma grande atenção na explicação dos impactos para saúde resultante do enriquecimento do solo, agua, ar, plantas, animais(Steinnes, 2010) e na cura pelos produtos naturais terrosos/rochosos (Diesfeld,1995)).

Neste artigo, mostramos as potencialidades da Geomedicina no estudo dos problemas ambientais que impactam a saúde bem como as potencialidades curativas por meio da sintese dos seguintes artigos: Soils Risk Assessment in the Surrounding Area of Hulene-B Waste Dump, Maputo (Mozambique); Geophagic Materials Characterization and Potential Impact on Human Health: The Case Study of Maputo City (Mozambique) e The Contribution of the Hulene-B Waste Dump (Maputo, Mozambique) to the Contamination of Rhizosphere Soils, Edible Plants, Stream Waters, and Groundwaters ambos de Bernardo et al.2023 e Bernardo et al.2023 (a) e (b). Por fim, são identificadas áreas de oportunidades de investigação multidisciplinar e interdisciplinar para geólogos, geográfos, médicos, cientistas de saúde, sociais e outros.

REFERÊNCIAS

Bernardo, B.; Candeias, C.; Rocha, F. The Contribution of the Hulene-B Waste Dump (Maputo, Mozambique) to the Contamination of Rhizosphere Soils, Edible Plants, Stream Waters, and Groundwaters. *Environments*, *10*, 45, 2023. https://doi.org/10.3390/environments10030045

Bernardino Bernardo, Carla Candeias, Fernando Rocha (a): Soils risk assessment in the surrounding area of Hulene-B Waste Dump, Maputo (Mozambique), 2022.https://doi.org/10.3390/geosciences12080290;

Bernardino Bernardo, Carla Candeias, Fernando Rocha (b): Geophagic Materials Characterization and Potential Impact on Human Health: The Case Study of Maputo City (Mozambique), 2022 https://doi.org/10.3390/app12104832;

Bill, D. Geomedicine: Using Geographical Information Systems to Improve Personal Health. Paper submitted for the Bridging Public Health Informatics with Personal Health Records: Opportunities for Wellness and Disease Prevention session of the 10th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine, Corfu, Greece, November 3–5, 2010

Diesfeld, H.J. (1995). Geomedicine. In: Tropical Pathology. Spezielle pathologische Anatomie, vol 8. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57863-2_2

Steinnes, E. Soils and geomedicine. *Environ Geochem Health* **31**, 523–535, 2009. https://doi.org/10.1007/s10653-009-9257-2

Simpósio Nº5: Geotecnia Ativa nas Infraestruturas

22483 ENSAIOS SCPTU PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS A PARTIR DA VELOCIDADE DE ONDAS DE CORTE. Luis Andrade-Pais; Leonardo Marchiori; Maria Vitoria Morais; Paulo de Carvalho; Antonio Albuquerque. 1041

22514 CONTROLO TECNOLÓGICO EM SOLOS APLICADO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM (ESTUDO DE CASO NAS ESTRADAS N280 E N281 ENTRE TICA-BÚZI E BÚZI-NOVA SOFALA). Manuel Gabriel Macumo; Albano Sâlzon Maparagem. 1053

ARTIGO Nº22483

ENSAIOS SCPTU PARA A CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE MACIÇOS A PARTIR DA VELOCIDADE DE ONDAS DE CORTE

Luis Andrade-Pais[1], Leonardo Marchiori[1(*)], Maria Vitoria Morais[1], Paulo de Carvalho[1], Antonio Albuquerque[1]

[1]GeoBioTec, Depto. de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior - Covilhã, Portugal
(*)*Email:* leonardo.marchiori@ubi.pt

RESUMO

Este estudo apresenta a caracterização de um maciço na Covilhã (Portugal) utilizando ensaios *in situ*, com ênfase em ensaios SCPTu (piezocone de penetração estática com sensor sísmico). Os resultados obtidos forneceram informações sobre a resistência mecânica, a estrutura interna do maciço e suas propriedades geotécnicas, permitindo uma avaliação mais precisa das condições do subsolo. A classificação dos solos, influenciada pelo empacotamento e rigidez do maciço, indica areia a areia siltosa, com OCR e densidade relativa elevados e crescentes, tendendo à cimentação. O ensaio SCPTu demonstrou grande potencial na determinação da rigidez inicial e no cálculo dos módulos de deformabilidade do maciço, contribuindo para a compreensão do comportamento mecânico do solo e sua aplicação em projetos de engenharia geotécnica.

***Palavras-chave**:* SCPTu, ensaios *in situ*, caracterização geotécnica, resistência mecânica.

INTRODUÇÃO

A caracterização geotécnica de maciços rochosos e solos é essencial para a engenharia de fundações e obras subterrâneas (McCarthy David, 2007). Tradicionalmente, os ensaios laboratoriais, como o triaxial, têm sido amplamente utilizados para determinar as propriedades mecânicas dos solos, no entanto, os ensaios *in situ* vêm ganhando destaque por sua rapidez, eficiência e capacidade de fornecer perfis contínuos do subsolo (Goel & Singh, 2011).

Grandes esforços têm sido feitos para que os ensaios *in situ* possam replicar os mesmos parâmetros obtidos em ensaios laboratoriais, especialmente aqueles provenientes do ensaio triaxial, tradicional ferramenta para compreender as propriedades mecânicas do solo e projetar fundações (Zhang et. al, 2022). No entanto, a integração dos resultados de ensaios *in situ* com as análises laboratoriais tornou-se uma abordagem indireta padrão nos projetos de engenharia. Uma abordagem direta de campo oferece vantagens como facilidade de aplicação, rapidez e custo reduzido, mas possui limitações, como extensas calibrações, menor confiabilidade para os engenheiros e não é amplamente aplicada a solos pouco estudados, como os residuais, contaminados ou artificiais, além de novas técnicas construtivas (Mayne et al., 2015). Entre os métodos in situ mais antigos, os ensaios de penetração dinâmica têm sido amplamente utilizados para investigação do subsolo devido à sua simplicidade, tornando-se padronizados globalmente nas últimas décadas (McCarthy David, 2007).

Dentre os ensaios de campo, o CPTu (Cone Penetration Test com medição de poropressão) é amplamente reconhecido por sua confiabilidade e custo-benefício (Viana da Fonseca et al., 2006; Shahgholian et al., 2022). Sua evolução, o SCPTu, incorpora sensores sísmicos, permitindo a medição da velocidade das ondas de corte (*Vs*), fundamental para a determinação

de módulos de rigidez do solo (Lo Presti et al., 2024). Avanços recentes incorporaram sensores que expandem suas aplicações para investigações ambientais, incluindo leituras em tempo real de resistividade elétrica, condutividade, pH e íons na fase fluida, além de detecção de fluorescência por meio de fibras ópticas acopladas (Zhang et al., 2023). A crescente demanda por geotecnia ambiental impulsionou a inovação nas técnicas de caracterização do subsolo, especialmente na detecção de contaminantes subterrâneos em fase gasosa, líquida ou sólida (Mayne et al., 2015). No entanto, a implementação de estudos geotécnicos ambientais avançados frequentemente requer campos experimentais e equipamentos sofisticados, cuja disponibilidade pode ser limitada por fatores externos (Robertson et al., 1998).

O SCPTu, em particular, integra medições de ondas sísmicas para avaliar a velocidade das ondas de cisalhamento no local, tornando-se uma ferramenta poderosa para determinar a rigidez inicial e as propriedades de deformação. A capacidade do SCPTu de avaliar simultaneamente a resistência do solo, a poropressão e as propriedades sísmicas faz dele uma técnica indispensável para investigações geotécnicas modernas, oferecendo uma visão abrangente das condições do subsolo e possibilitando o desenvolvimento de infraestruturas mais seguras e eficientes.

Este artigo apresenta um estudo detalhado da caracterização de um maciço a partir de ensaios SCPTu, realizados no Parque Industrial do Tortosendo, Covilhã. Os resultados são comparados com métodos empíricos e laboratoriais, e comparados com resultados preliminares de ensaios CPTu, destacando as vantagens e limitações da abordagem in situ na caracterização de maciços.

MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se neste trabalho o equipamento da *Pagani TG 63 100* (PG100) e *PAGANI TG 63 200* (PG200), com os penetrómetros de cone fixo de força máxima de penetração de 110 kN e 220 kN, respectivamente. O equipamento CPTu é fundamentalmente constituído por quatro partes: i) sistema de ancoragem; ii) estrutura utilizada para transmitir de forma hidráulica ou mecânica, a força necessária à introdução da coluna de varas (coluna de ensaio) duplas ou simples, consoante o tipo de penetrómetro e ou ponteira cónica; iii) o equipamento de medição e o dispositivo hidráulico, mecânico ou eléctrico para medição das forças aplicadas, a inclinação em profundidade e no caso do piezocone a tensão de água intersticial (tipo *u2* – medição de pressão de água nos poros imediatamente acima do cone), obtendo-se directamente leituras contínuas, ou seja as curvas dos vários parâmetros em função da profundidade; iv) sistema motorizado.

A Figura 1 apresenta a carta do local de ensaios (Parque Industrial do Tortosendo, incluída na Carta Topográfica nº 235, Covilhã), com localização dos pontos de sondagem CPTu (estações 1 a 10). A Figura 2 apresenta alguns detalhes sobre o dispositivo de cravação do piezocone em trabalhos, os aspectos técnicos dos cones utilizados, e ilustra o piezocone com as medições geométricas deste, para o necessário cálculo das tensões envolvidas.

O dispositivo utilizado comporta um sistema automático de aquisição de dados, o qual permite a transmissão imediata dos dados recolhidos para um computador e por intermédio de um software simples, providencia a projecção gráfica do ensaio bem como o armazenamento das medições efectuadas para posterior tratamento. O equipamento dispõe ainda de um disparador automático que permite que se inicie o registo das leituras imediatamente após o início da cravação.

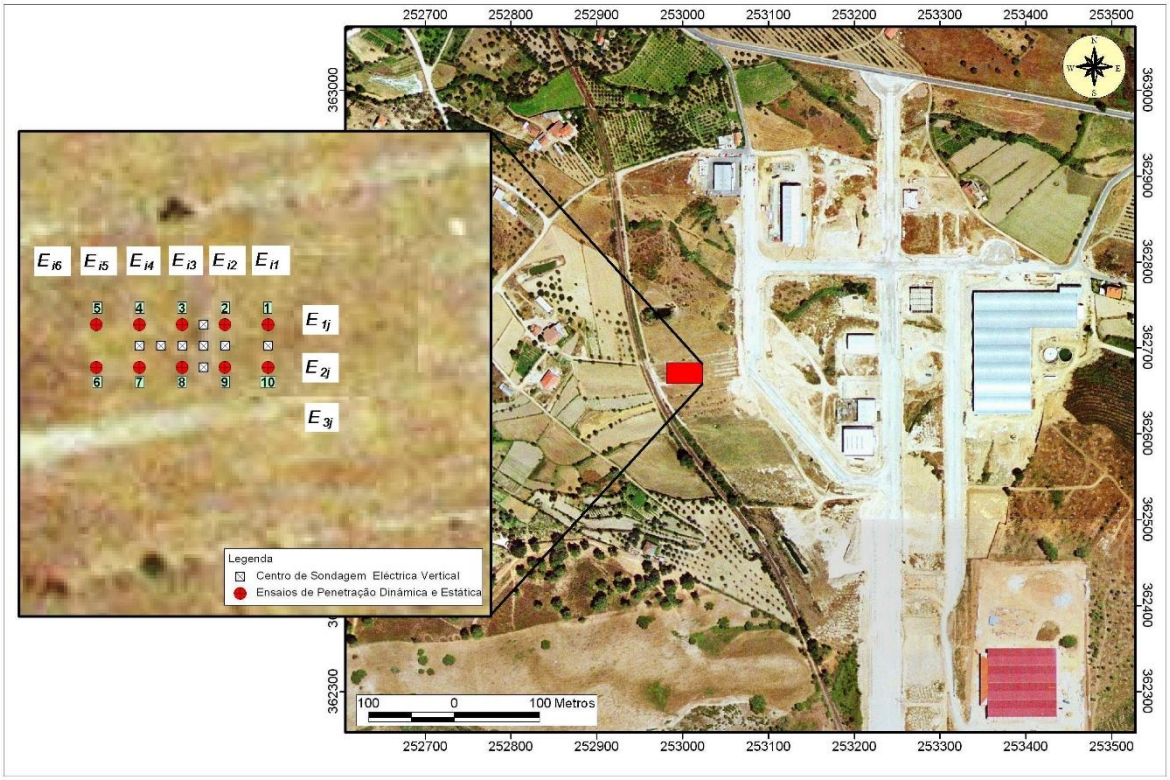
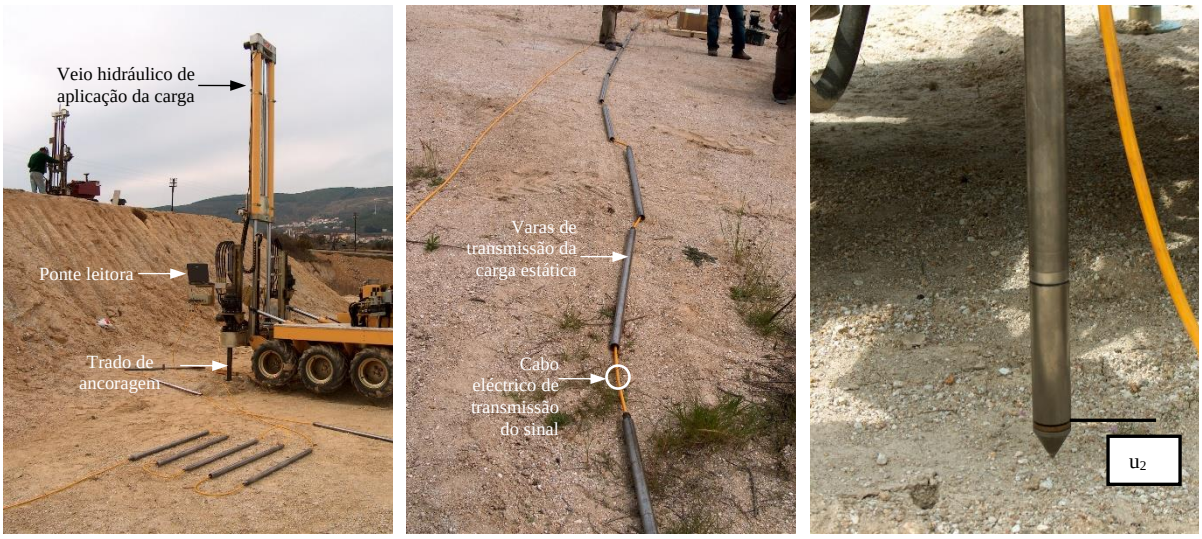


Figura 1. Zona de ensaios (Parque Industrial do Tortosendo, incluído na Carta Topográfica nº 235, Covilhã), com localização dos pontos de sondagem no sistema Hayford Gauss, *Datum* Lisboa.



a) b) c)

Figura 2. Equipamento usado em ensaios CPTu: a) máquinas PAGANI TG 63 100 e PAGANI TG 63 200; b) preparação das varas guia; c) piezocone tipo u2

As medições básicas constam da quantificação da força axial (F_c), necessária à cravação contínua a velocidade constante (2 cm/s) do cone, da medição da força gerada pela fricção na manga de atrito (F_s) e da poro pressão gerada pela cravação (*u2*). As leituras destas grandezas são usadas para calcular de modo contínuo os seguintes parâmetros:

$$q_c = \frac{F_c}{A_c}$$

$$f_s = \frac{F_s}{A_s}$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c}$$

Onde q_c é a resistência de ponta, A_c = 10 cm^2 é a área da secção do cone, f_s é atrito lateral, A_s = 150 cm^2 é área exterior da manga, R_f é a razão de atrito em percentual

Os sistemas de classificação são baseados no q_t e nos parâmetros de poro-pressão, e por q_c ser a medição mais precisa, tem-se por base três relações entre a resistência de ponta total (q_t), coeficiente de poro-pressão (B_q) e R_f (Robertson et al., 1986). Considera-se mais tarde a influência da tensão vertical in situ no incremento de qt, fs e u, pelo que Robertson (1990) propôs um sistema tridimensional de classificação baseado na normalização destes parâmetros, a conhecer:

$$B_q = \frac{\Delta u}{q_t - \sigma_{v0}}$$

$$F_r = \frac{f_s}{q_t - \sigma_{v0}}$$

$$Q_t = \frac{q_t - \sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}}$$

onde F_r é a razão de atrito normalizada em percentual, Q_t é a resistência de ponta normalizada, Δu = (u - $u0$) é pressão de água gerada (sendo u medido e $u0$ a pressão de água em equilíbrio *in situ*), e σ_{v0} é a tensão vertical total *in situ*.

Tendo conhecimento prévio de que os materiais aflorantes correspondem fundamentalmente a solos granulares soltos e que os níveis freáticos, nesta fase de ensaios se situam a profundidades da ordem de 1,00 m, optou-se por utilizar parafina líquida muito fina na saturação do piezocone.

O método utilizado na saturação compôs-se de duas partes: i) que diz respeito à saturação prévia dos anéis porosos, que constou da impregnação com parafina líquida fina através de um sistema de vácuo que funciona durante pelo menos duas horas; ii) após a saturação os anéis, são colocados em reserva, submersos em parafina. Quanto à operação de troca de anel poroso, necessária à execução de um novo ensaio CPTu, utilizou-se um dispositivo apropriado introduzido do topo do piezocone, o qual se encheu de parafina submergindo-se o anel poroso previamente saturado e a ponteira cónica desenroscada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados Preliminares CPTu

Os ensaios CPTu foram realizados de acordo com os procedimentos normativos propostos pela ISSMFE (1989). Foram executados 5 ensaios CPTu com distribuição correspondente às estações 1-10 da Figura 1. Na Figura 3 estão projectados os resultados dos vários ensaios com referência correspondente à estação da área de estudo. Os resultados referem-se à resistência de ponta (q_c), atrito lateral (f_s), pressão de água nos poros gerada (u) e a inclinação (ângulo entre a linha da ponteira e o eixo vertical definido).

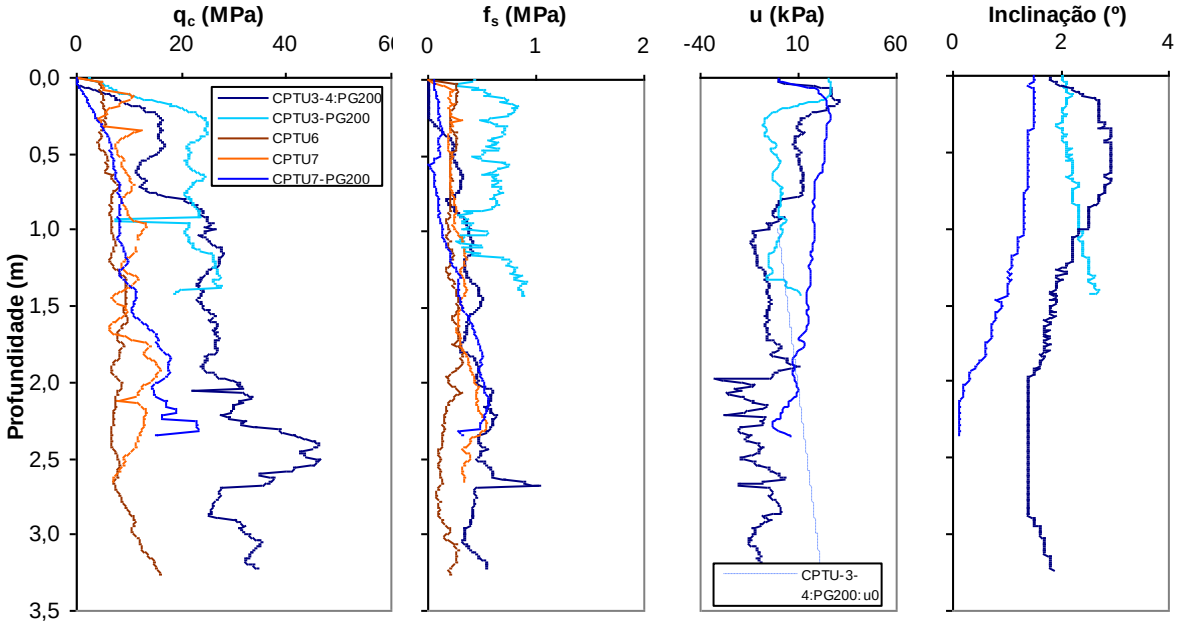
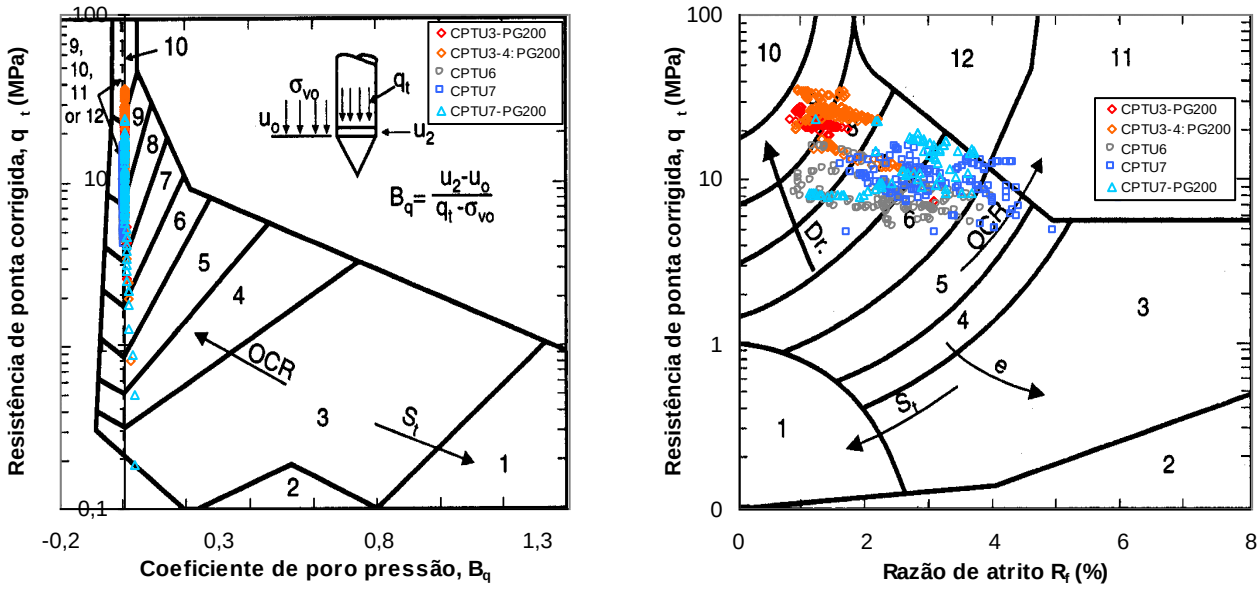


Figura 3. Resultados prévios CPTu.

A morfologia da evolução de q_c com a profundidade mostra uma tendência igual e constante nos ensaios realizados nas estações 6 e 7. Os ensaios realizados nas estações 3 e a meio de 3 e 4 evidenciam maior resistência. Os ensaios foram possíveis apenas para profundidades máximas de 3 a 3,2 m pela elevada resistência destes solos e/ou ultrapassagem da capacidade de reacção do mecanismo (100 e 200 kN). Resultados corroboram estudos em solos de natureza granular, onde tendem a gerar elevada q_c e reduzidas R_f (Viana da Fonseca, 2006). O atrito lateral é basicamente constante, mas numa análise de pormenor existem incrementos que estarão associados a zonas com cristais porfiróides de feldspato caulinizados (zonas de alteração diferencial) e a forças de sucção geradas pela natureza parcialmente saturada destes solos (Andrade Pais, 2007). Os solos residuais encontram-se em condições de saturação parcial e acima do nível freático geram-se mecanismos de sucção, efeito que se traduz na fraca representatividade da variação de *u2*, a situar os valores de *Bq* perto de valores nulos. Nestas condições o incremento de resistência ocorre por efeitos de tracção superficiais geradas pela pressão de água nos poros negativa, contudo o efeito da capilaridade é de difícil formação em espaços dinâmicos de grandes dimensões possivelmente existente entre o solo e o cone (Schnaid, 2008).

Os resultados foram projectados no ábaco tridimensional de Robertson et al. (1986), num sistema de variação dos valores q_t com R_f e q_t com B_q, conforme se apresenta na Figura 4.



1. solos granulares finos sensíveis
2. materiais orgânicos
3.argila
4. argila siltosa a argila
5. argila siltosa a silte argiloso
6. silte arenoso a silte argiloso
7. areia siltosa a silte arenoso
8. areia a areia siltosa
9. areia
10. areia com seixos a areia
11. materiais granulares muito rijos
12. areia a areia siltosa (*)

(*) cimentados ou sobreconsolidados

Figura 4. Classificação dos solos residuais graníticos a partir dos resultados CPTu baseada no sistema de classificação proposto por Robertson et al. (1986).

A projecção dos valores no espaço q_t:B_q, a concentração faz-se sobre o eixo Bq=0, o que está de acordo com a permeabilidade do solo residual granítico, mas dispersando sobre o eixo entre as zonas 5 a 9, com maior predominância na zona 9 e 8. A projecção no espaço q_t:R_f, confirma a dispersão dos pontos pelo facto de se considerar o parâmetro R_f, pouco sensível às alterações estruturais em solos residuais. Contudo a maior densidade de pontos situa-se na zona de classificação de areia siltosa a silte arenoso com tendência a deslocarem-se no sentido da zona 12, correspondente ao aumento da densidade relativa (D_r) e a areia siltosa com ligações cimentadas. A presença de finos nesta classificação está de acordo com as análises granulométricas realizadas em Andrade Pais (2007). A interpretação dos resultados com o piezocone em solos não saturados, os factores Q_t e B_q dependem apenas do grau de sobreconsolidação e do estado de sucção desenvolvidos, sendo possível conhecer os parâmetros de resistência ao corte de forma correcta com a informação de *u2* e abaixo do nível freático (NF).

A avaliação dos parâmetros geotécnicos, características de resistência e de deformabilidade, torna-se bastante complexa pois o estado tensão e de deformação gerado pela cravação do cone são possíveis de momento, com a introdução de hipóteses simplificadoras. Usam-se métodos empíricos e semi-empíricos (câmara de calibração), teorias de equilíbrio limite (capacidade de carga), teoria de expansão de cavidade, trajectória de deformações entre outras, aplicadas em solos sedimentares, o que afasta ainda mais a sua aplicação ou validade em solos naturalmente estruturados.

Os resultados são projectados segundo a proposta, separando os ensaios, de um lado referentes à estação 3 e a meio entre as estações 3 e 4, maciço mais resistente e do outro lado referente à estações 6 e 7 onde o maciço está um pouco mais alterado. Os valores de ângulo de atrito interno (φ´) são exageradamente elevados (mais exagerados quando o maciço é mais resistente). A

justificação encontra-se na natureza destes solos que além da componente friccional, da componente dilatante, têm a parcela de coesão advinda da estruturação e das ligações inter partículas que não são passíveis de separação neste tipo de ensaio. Os parâmetros de corte propostos pelas correlações são menos conservadores em relação aos obtidos nos diferentes ensaios, de caixa de corte directo com coesão (c´) = 10 kPa e φ´ = 29º, para h = 3m; e c´= 20 kPa e φ´ = 30º para h = 1,40m; já para o ensaio triaxial, c´ = 7,6 kPa e φ´ = 29,6º, para provetes do mesmo local retirados entre 1,40 m e 3,50 m de profundidade), em amostras estruturadas (Andrade Pais, 1998; Lemos & Andrade Pais, 2000).

As diferenças entre os resultados laboratoriais e os ensaios *in situ*, ficaram certamente a dever-se à existência da estrutura "cimentada" herdada da rocha mãe (estruturação) que se reflecte na coesão, não contabilizada nas correlações desenvolvidas e aplicadas em solos granulares não coesivos. Neste caso, obtendo-se invariavelmente valores superiores para os parâmetros de corte pelas correlações propostas pelos diversos autores a partir do ensaio CPTu (Schnaid, 2008).

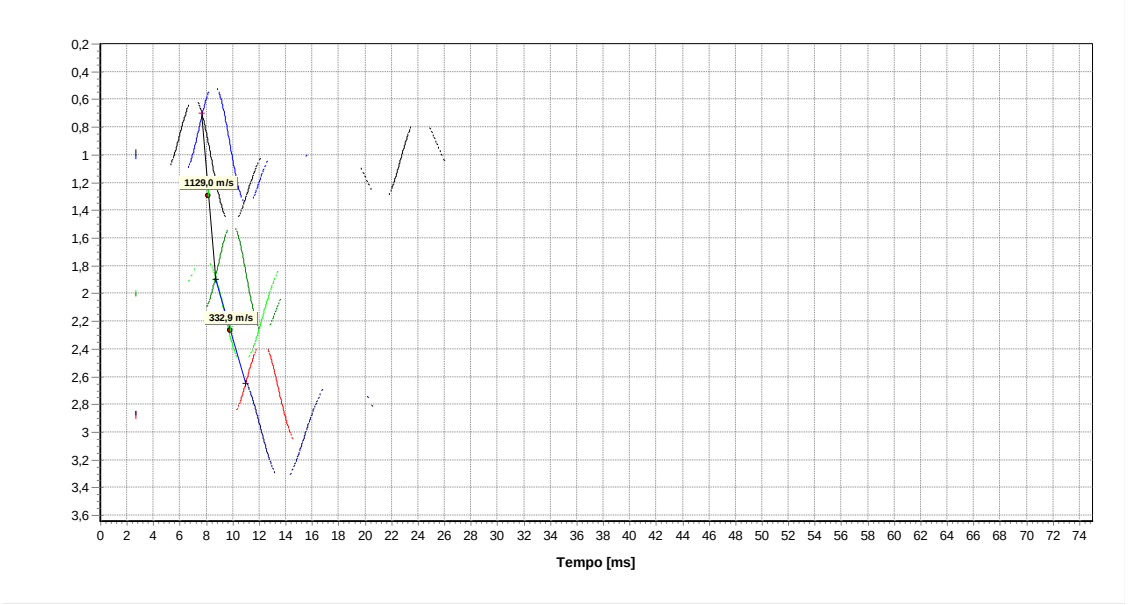
Resultados SCPTu

Foram executados 2 ensaios SCPTu correspondentes às estações 7 e 3. Os NF encontravam-se a profundidades reduzidas e optou-se por avaliar apenas a velocidade das ondas sísmicas de corte (*Vs*), dada a reconhecida influência que as condições de humidade impõem à velocidade de propagação das ondas de compressão (ondas P). Para o registo das ondas de corte (ondas S), utilizou-se uma fonte de energia sísmica geradora de impulsos sísmicos por impacto. Esta fonte é constituída por uma viga de madeira que foi inicialmente colocada numa posição distinta.

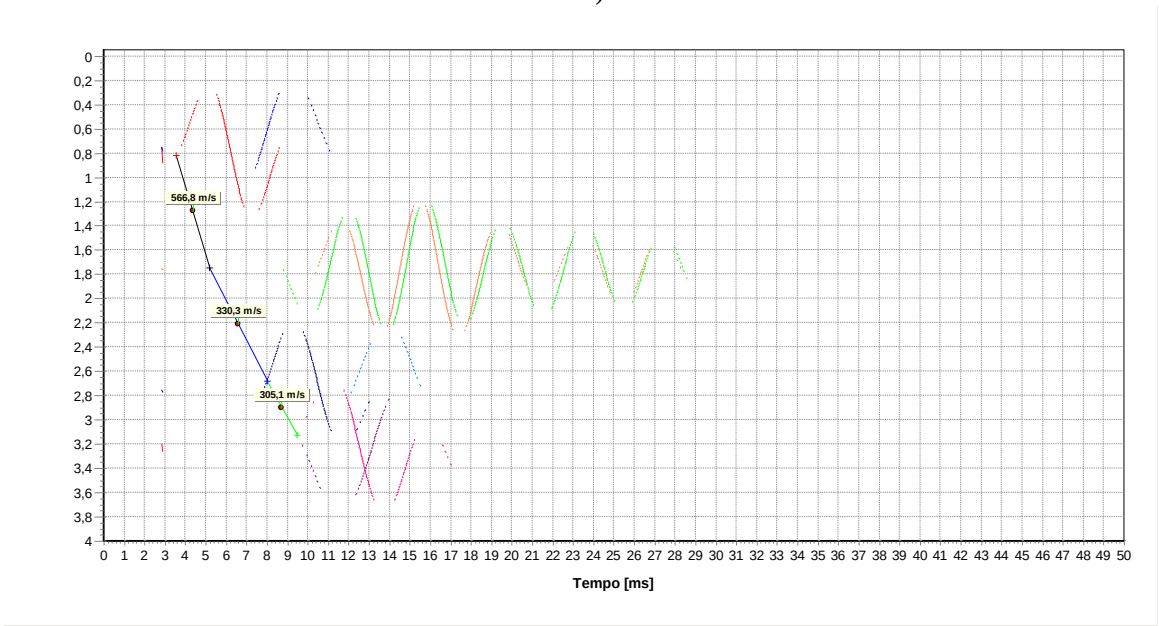
Os ensaios foram executados com a fonte sísmica colocada a 1,5 m do ponto de cravação da ponteira cónica. A medição da velocidade de propagação das ondas S fez-se em intervalos de 1 m, coincidindo com os pontos de mudança de vara. Foram utilizados dois métodos interpretativos para a avaliação da velocidade propagação das *Vs*: o Método da Correlação Cruzada (CC) e o Método da Inversão da Polaridade (IP).

O Método IP recorre a dois registos sísmicos de polaridade invertida, gerados à superfície e registados a uma mesma profundidade, que são confrontados com outros dois registos sísmicos, correspondentes a uma profundidade subsequente. Após filtragem dos sinais (caso seja necessário), marcam-se os pontos correspondentes ao cruzamento do sinal sísmico devido à inversão da polaridade, normalmente no ponto anterior ao sinal de maior amplitude. Conhecendo a diferença de profundidade do registo dos sinais e o diferencial de tempo dos pontos de referência da inversão do sinal é possível estimar a velocidade de propagação da onda de corte nesse intervalo de profundidade. Na Figura 5 apresentam-se resultados tipo filtrados (50-300 Hz), dos registos sísmicos de propagação das ondas S, em dois ensaios SCPTu, recorrendo à técnica da IP.

Refira-se que o método IP foi utilizado para avaliar a velocidade de propagação das ondas de corte (S) nos ensaios realizados, quando no método da correlação-cruzada foram obtidos coeficientes de correlação por vezes inferiores a 0,85.



a)



b)

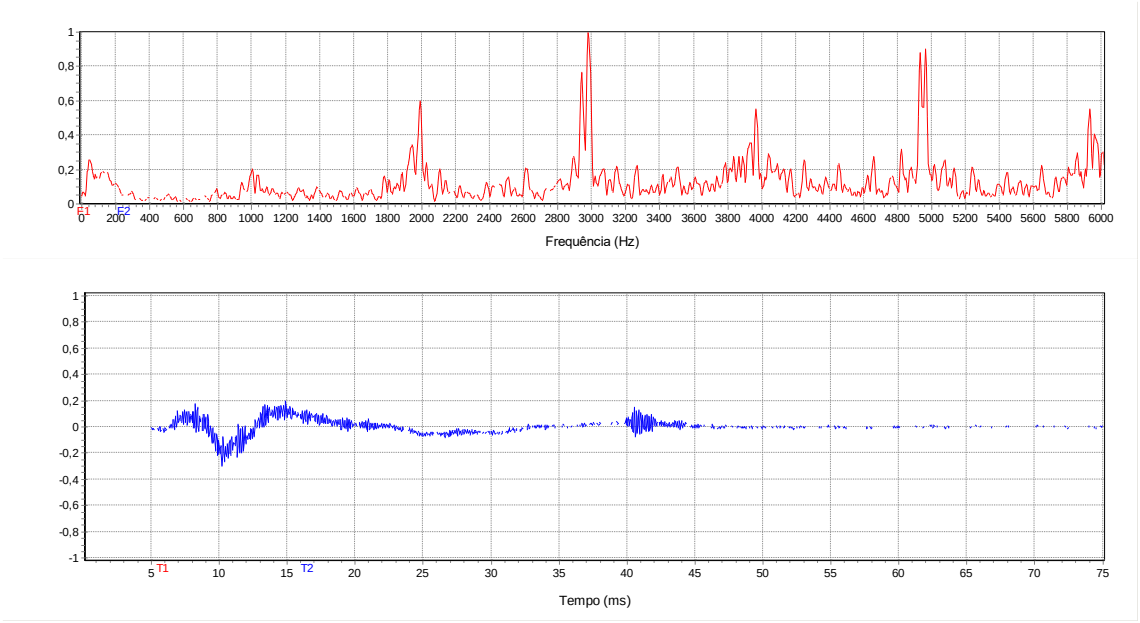
Figura 5. Avaliação da velocidade de propagação das ondas de corte no ensaio recorrendo à técnica da Inversão da Polaridade: a) no ensaio SCPTu7-PG200; b) no ensaio SCPTu3-4:PG200.

Os resultados obtidos permitem verificar que os sinais sísmicos apresentam qualidade razoável, sendo visível de forma clara a inversão da polarização das ondas de corte. Refira-se, no entanto, que os sinais obtidos nos ensaios sísmicos perto da superfície apresentam menor qualidade, motivada fundamentalmente pela chegada menos espaçada no tempo dos sinais propagados pelo terreno e pelo trem de varas.

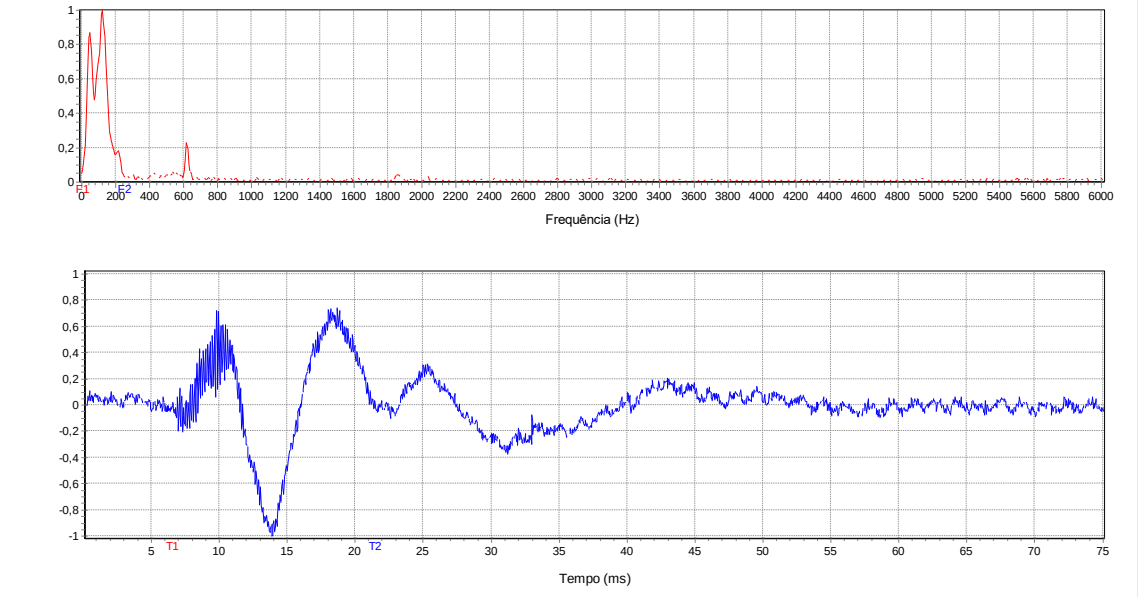
Com o Método CC, é possível obter velocidades de intervalo a partir da aplicação do operador, correlação cruzada, a dois sinais sísmicos referentes a profundidades distintas. A ordenada máxima da correlação cruzada corresponde em abcissas ao atraso temporal relativo entre as duas ondas e é assumido como sendo o tempo de propagação ao longo do incremento espacial em profundidade. As vantagens deste método relativamente àquele baseado na inversão de polaridade são as seguintes: não depende da decisão humana para estipular tempos de chegada;

considera todo o sinal sísmico em vez de um único ponto; o valor máximo da correlação cruzada fornece uma medida da similaridade entre os dois sinais sísmicos e finalmente permite obter duas velocidades independentes a partir de sinais de polaridade opostos podendo escolher-se a mais fiável.

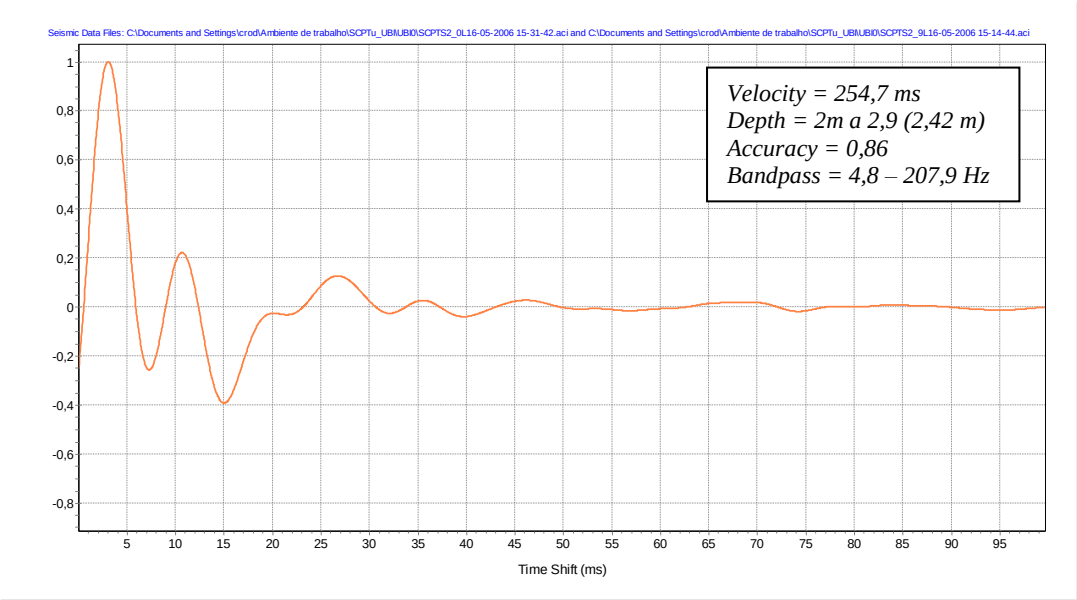
Na Figura 6 apresenta-se o espectro de frequências e o campo de filtragem (F1 a F2), bem como o campo de velocidades (T1 a T2) do registo obtido a 2 m de profundidade no ensaio SCPTu7-PG200, tratado e cruzado com o registo obtido a 2,9 m de profundidade, além de apresentar a função de correlação-cruzada. O maior sinal positivo da função de correlação-cruzada é indicativo do off-set dos sinais sísmicos.



a)



b)



c)

Figura 5. Parâmetros de tratamento do registo sísmico a) SCPTu7-PG200 obtido à profundidade de 2 m; b) SCPTu7-PG200 obtido à profundidade de 2,9 m; c) função de correlação cruzada dos sinais sísmicos

Com base nos valores da velocidade de propagação das ondas de corte, obtidos dos ensaios SCPTu, e nas características físicas do maciço avaliadas com recurso a amostragem in situ, designadamente no peso volúmico que se verificou variar desde a superfície até à profundidade de investigação de 19,08 kN/m^3 até 20,02 kN/m^3.

Os resultados de q_c, R_f, u, V_s (obtida pelos dois métodos de avaliação da velocidade de propagação da onda de corte – IP) e os valores estimados de G_0, nos perfis obtidos pelos dois ensaios SCPTu7-PG200 e SCPTu3-4: PG200, apresentam-se na Figura 6.

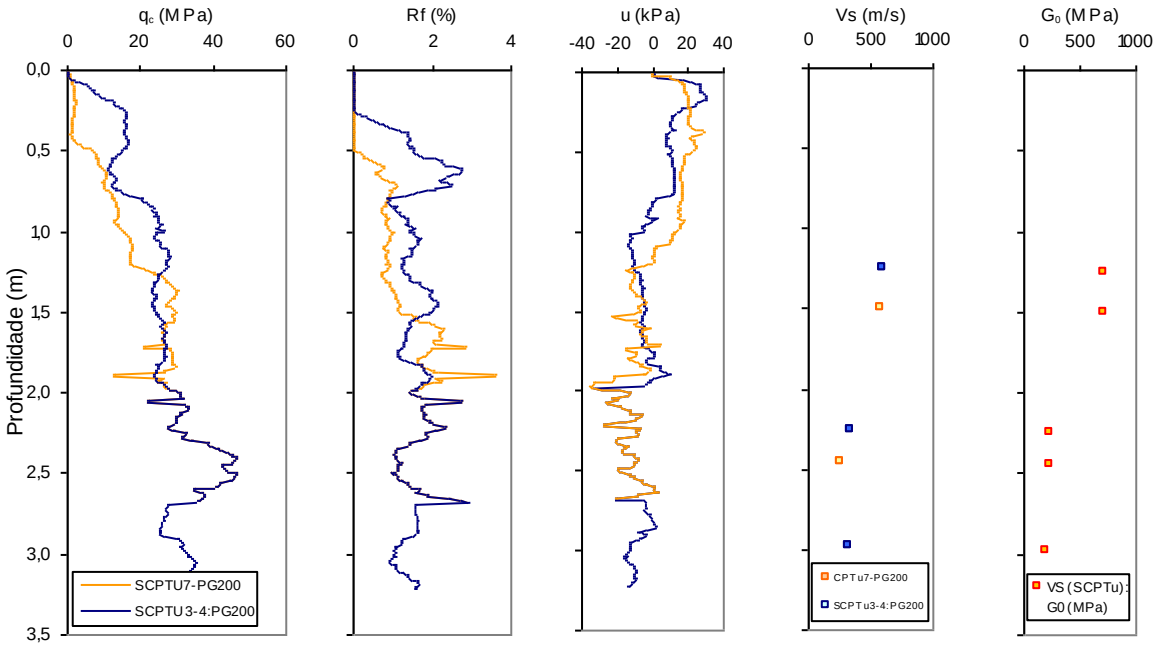


Figura 6. Resultados do ensaio SCPTu com o perfil da velocidade da onda de corte do ensaio SCPTu7-PG200 e do ensaio SCPTu3-4 :PG200.

CONCLUSÕES

No maciço escolhido para amostragem foi previamente idealizado um conjunto de ensaios in situ de modo a caracterizá-lo geotecnicamente. Realizaram-se ensaios de caracterização directa mecânica (penetração estática) CPTu e SCPTu. Estes de difícil realização pelas dificuldades de ancoragem, limitação da capacidade de reacção e na escala de leitura das células eléctricas relativamente baixa para este tipo de maciços, pelo que só foi possível estabelecer perfis contínuos de q_t, f_s e u para profundidades relativamente baixas (h = 3 a 4 m).

Tal desiderato está associado ao estado de empacotamento e rigidez do maciço. Ainda assim, foi possível classificar os solos como areia a areia siltosa, *OCR* e D_r elevados e crescente, a deslocar-se para solo cimentado. A pressão de água nos poros abaixo do NF varia negativamente pelo carácter dilatante deste tipo de solos.

A avaliação do ângulo de atrito (φ) pelas correlações clássicas, assume valores elevados, situação que se entende estar associada à não separação dos efeitos friccionais, da dilatância e da possível ténue coesão, ligada ao efeito introduzido pelas forças remanescentes de ligação entre os minerais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da unidade de investigação GeoBioTec, por meio do projeto estratégico UIDB/04035/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDB/04035/2020) e UIDP/04035/2020 (https://doi.org/10.54499/UIDP/04035/2020), financiados pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, IP/MCTES (Portugal) com fundos nacionais (PIDDAC).

REFERÊNCIAS

Andrade Pais, L.J. Comportamento Mecânico de um solo residual granítico da Covilhã. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 1998.

Andrade Pais, L.J. Comportamento mecânico do solo residual granítico da Covilhã com efeito de contaminantes. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2007.

Goel, R. K., Singh, B., Engineering rock mass classification: tunnelling, foundations and landslides. Elsevier, 2011.

ISSMFE. Report of the ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing of Soils – TC16 with Reference Test Procedures CPT – SPT – DP – WST. 1989.

Lemos, L.J., Andrade Pais, L.J. Mechanical behaviour of a granitic residual soil of Covilhã Region. Revista Geotecnia, 51-75, 2000.

Lo Presti, D., Fiera, F., Perini, M., Pagani, E., Siviero, M., Stacul, S., Use of seismic piezocone for the assessment of the propagation velocity of body waves. Rivista Italiana di Geotecnica, 58(2), 90-98, 2024.

Mayne, P.W., Woeller, D.J., Winter, M.G., Smith, D.M., Eldred, P.J.L., Toll, D.G. Advances in seismic piezocone testing. Geotechnical Engineering for Infrastructure and Development, 3005-3009, 2015.

McCarthy David, F. Essentials of soil mechanics and foundations. Basic Geotechnics, Seventh Edition, Pearson Prentice Hall Upper Saddle Rivers, New Jersey, Columbus, Ohio, Copyright, 2007.

Robertson, P.K. Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151-158, 1990.

Robertson, P.K., Campanella, R.G., Gillespie, D., Rice, A. Seismic CPT to measure in situ shear wave velocity. Journal of Geotechnical Engineering, 112(8), 791-803, 1986.

Robertson, P.K., Wride, C.E. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian geotechnical journal, 35(3), 442-459, 1998.

Schnaid, F. In situ testing in geomechanics: the main tests. CRC Press, 2008.

Shahgholian, R., Ferreira, C., Viana da Fonseca, A. Correlation between SPT and CPT tests in liquefiable deposits. Cone Penetration Testing 2022, Gottardi & Tonni (eds), Taylor & Francis, 2022.

Viana da Fonseca, A., Carvalho, J., Ferreira, C., Santos, J.A., Almeida, F., Pereira, E., Feliciano, J., Grade, J., Oliveira, A. Characterization of a profile of residual soil from granite combining geological, geophysical and mechanical testing techniques. Geotechnical and Geological Engineering, 24, 1307–1348, 2006.

Zhang, M., Tong, L., Wang, Q. Geotechnical Characteristic Assessments of Floodplain Soils Using SCPTU Data in Nanjing, China. Advances in Civil Engineering (Hindawei), 2022(ID 1669511), 2022.

Zhang, X., Liu, X., An, R., Li, X. Site observations of weathered granitic soils subjected to cementation and partial drainage using SCPTU. Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 15(4), 984-996, 2023.

Artigo Nº 22514

CONTROLO TECNOLÓGICO EM SOLOS APLICADO EM OBRAS DE TERRAPLENAGEM (ESTUDO DE CASO NAS ESTRADAS N280 E N281 ENTRE TICA-BÚZI E BÚZI-NOVA SOFALA)

Manuel Gabriel Macumo [1(*)], Albano Sâlzon Maparagem[2(*)]

[1]Glorias Consultorias & Engenharias, lda. Estoril- Beira, Moçambique
[(1*)] *Email: gl.consultoriasengenharias2008@gmail.com/* manuelmacumo20@gmail.com
[2*]Universidade Zambeze, Faculdade de Ciências e Tecnologia, FCT - Beira, Moçambique
[(2*)]*Email:* a_maparagem@yahoo.co.uk

RESUMO

O objetivo deste trabalho é determinar as propriedades geotécnicas dos solos aplicados em obras da construção das estradas N280 e N281 nos trocos entre Tica e Guara-Guara e entre Búzi e Nova Sofala para efeitos de controlo de qualidade do projeto. O estudo apresenta resultados sobre os tipos de solos de solos coletados depois da execução das obras e que pelas propriedades apresentadas em ensaios, a sua aplicação pede ter influenciado a precoce degradação das estradas em causa. As análises geotécnicas feitas neste trabalho produziram resultados que são comparados aos que os projetos usados na construção das estradas deveriam ter para as suas camadas constituintes. Santana (1993), citado por Camargo (2023), refere que estrutura construída sobre a superfície obtida pelos serviços de terraplanagem com a função principal de fornecer ao usuário segurança e conforto, que devem ser conseguidos sob o ponto de vista da engenharia, isto é, com a máxima qualidade e o mínimo custo. Souza citado por Camargo (2023), diz que o pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. Esta estrutura assim constituída apresenta um elevado grau de complexidade no que se refere ao cálculo das tensões e deformações. Assim, este estudo foi motivado devido a fraca durabilidade das vias acima mencionadas.

***Palavras-chave**:* Estradas, solos, geotecnia, durabilidade.

INTRODUÇÃO

A terraplenagem é uma das fases importantes que se deve levar em consideração antes de qualquer construção, com o objetivo maior de conformar o terreno para implantação de um determinado projeto de engenharia, seja a construção de uma rodovia, ferrovia, aeroporto, barragem, indústria, edifício habitacional, etc. Essas obras exigem a execução de serviços de terraplenagem prévios, regularizando o terreno natural, em obediência aos projetos que se deseja implantar. É o conjunto de operações necessárias para remover a terra dos locais que se encontra em excesso, para aqueles locais em que há falta, onde podem ser ou não aproveitados, realizando uma distribuição deste material e, conforme a necessidade, uma compactação adequada.

Os solos, para que possam ser utilizados em aterros ou recomposição em obras de terraplanagem, devem cumprir com alguns requisitos, ou seja, possuir as propriedades adequadas que melhorem seu comportamento. Muitas vezes, na prática, o solo local não

apresenta condições requeridas pelo projeto. Ele pode ser pouco resistente, muito compressível ou apresentar características que deixam a desejar do ponto de vista geotécnico e econômico. Segundo Felipe B. Souza (2014), para a sua aplicação deve se estudar a possibilidades de melhorar as propriedades de engenharia do solo local. No troço entre Tica e Guara-Guara, observa-se que algumas faixas da estrada estão sofrendo deformações e afundamentos excessivos sucessivos ao longo da via. Deste modo, o estudo deste problema pretende verificar as propriedades geotécnicas dos solos aplicados ao longo da construção da obra.

As falhas na execução do aterro serviram de base no local em que esta assentada a obra, o que poderia ser evitado na etapa de terraplenagem, com mão-de-obra qualificada e equipamentos adequados. Portando, há uma série de ensaios e verificações feitos em campo que comprovam a correta execução de um aterro, gerando economia e segurança.

CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS E ENSAIOS

Os solos usados para a execução rodovias devem ser ensaiados e classificados corretamente. A retirada das amostras e a preparação dos solos para diversos ensaios laboratoriais e essenciais. Segundo Simão (2008), Os materiais não deverão conter detritos orgânicos; Os materiais a utilizar deverão ser os classificados, segundo a classificação para fins Rodoviários, nos grupos A-1-a, A-2-4, A-2-5 ou A-3, podendo, no entanto, ser usados os dos grupos A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6 ou A-7 desde que sejam tomadas as devidas precauções no projeto e execução do aterro quanto à sua distribuição, compactação e drenagem, especialmente em relação aos solos dos grupos A-6 e A-7. Os materiais xistosos, os muito alteráveis ou aqueles que contêm pedra demasiadamente branda, poderão ser utilizados em aterros desde que se tomem as devidas precauções baseadas em estudo especial e, ou se tenha em conta o seu comportamento em obras anteriores na região.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS PARA CONSTRUÇÃO DE CAMADAS DE ATERRO EM PAVIMENTO DE ESTRADAS SEGUNDO (SATCC-1998)

As normas de execução constituem um instrumento de referência e de regulamentação que poderá ser utilizada pelos técnicos, efetuando os trabalhos diretamente no local como empreiteiro e por todos os técnicos envolvidos por parte da equipe dos fiscais. A notar a implantação desta Estrada asfaltada entre tica búzi e nova Sofala, é concebida e implantada com base nas especificações técnica patentes no manual de Especificações técnicas das obras de Estradas e Pontes, como mostra a tabela 1**.**

Tabela 1-Parâmetros de aceitação dos solos para obras de pavimentação (adaptado)

Camadas	Módulo de Granulometria	Índice de plasticidade	Índice de suporte Califórnia	Requisitos de compactação
Leito do pavimento	10	3%	10% a 15%	90% ou 93%, C.I
				93% ou 95%, C.S
Sub-base	1.2 a 1.5	10%	≥95% Densidade de AASHTO (MOD)	95% ou 97%
Base	2.0	6%	80%, a 98% da densidade (MOD)	98% ou 100%

MATERIAIS E MÉTODOS

Com o objetivo de determinar as propriedades geotécnicas do solo aplicado em obra da estrada N280/281 entre Tica-Búzi e Búzi-Nova Sofala, para o controlo de qualidade do projeto, as amostras foram coletadas em dois pontos do troço, determinados levando em consideração a topo sequência, sendo o Ponto 1 na localidade de Limite cerca de (36+500) km de Tica e o Ponto 2 nas proximidades da localidade de guara-guara entre os quilómetros (45+800).

Materiais

Realizou-se uma visita no terreno para a coleta de amostras de solo com o intuito de realizar os ensaios em laboratório. No local foram realizados 2 furos com cavadeira manual e com ajuda de pá para a retirada e coleta de amostras do solo.

Métodos

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma com os métodos utilizados para caracterizar o solo, bem como, determinar sua resistência.

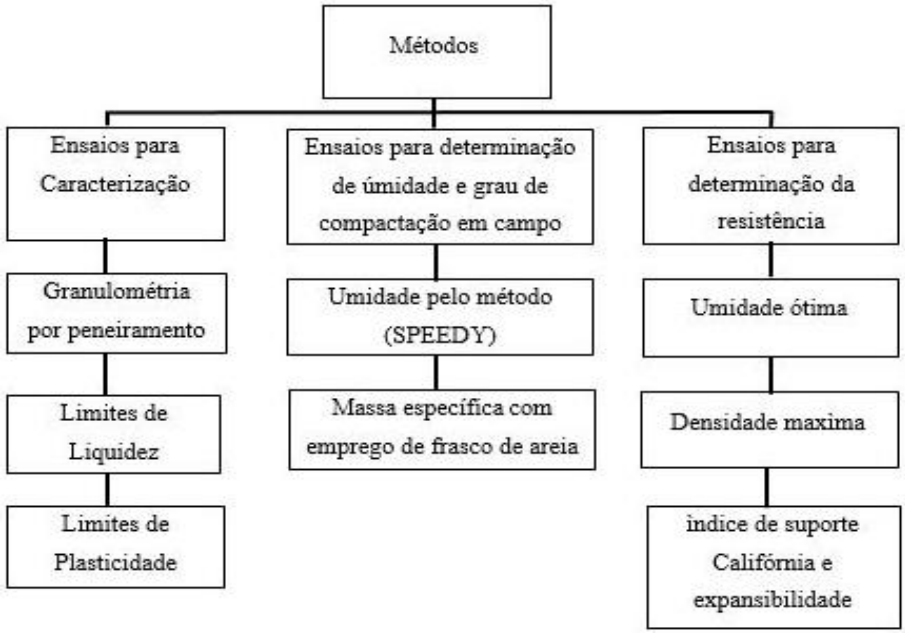


Figura 1-Fluxograma dos métodos utilizados no estudo

ENSAIOS

Os ensaios laboratoriais realizados, na sua maioria seguiram normas brasileiras, nomeadamente:

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR,1995:2016. Solo – Determinação do Limite de Plasticidade; ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7182:2016. Solo - Ensaio de Compactação; ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 6459:2017. Solo – Determinação do Limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2017; ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 5734/1989:2016. Solo – Análise Granulométrica e outras normas não mencionadas neste resumo, tendo se produzido muitas tabelas com resultados dos respetivos ensaios. As Tabelas 2 a 4, mostram os resultados de ensaio de Compactação de CBR do solo I.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

Nas tabelas e gráficos das curvas granulométrica a seguir mostra-se os resultados encontrados através do ensaio, identificando o tipo de solo.

Tabela 2-Análise granulométrica amostra I.

Ensaio de Granulometria Amostra-I				
ANE ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS	**Cliente: Administração Nacional de Estradas**			
	Enginheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates			
	Contator: AFCONS INFRAESTRURA LIMITIDA (INDIA)			
	Reabilitação da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala			
ANÀLISE DE TAMANHO DE GRAOS (SOLO) QF 7502 QC-01 (2M, BS- 1377-2,AASHTO T-27,ASTM C-136)				
Método de peneirar : Molhado/seco 1182.9 gm				peso da amostra:1500 gramas
tamanho da peneira(mm)	Peso retido (gm)	Peso retido (%)	Peso acumulado Retancado (%)	Passado (%)
19	0.0	0.00	0.00	100
13.2	0.0	0.00	0.00	100
9.5	10.5	0.70	0.70	99.3
4.75	90.5	6.03	6.73	93.27
2.00	310.5	20.70	27.43	72.57
0.425	710.7	47.38	74.81	25.19
0.075	340.5	22.70	97.51	2.49
	Módulo de grandeza =		**2.00**	

Tabela 3-Análise granulométrica amostra II.

Ensaio de Granulometria Amostra-II				
ANE ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS	**Cliente: Administração Nacional de Estradas**			
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates			
	Contator: AFCONS INFRAESTRUTURA LIMITADA (INDIA)			
	Reabilitação da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala			
GRAIN SIZE ANALYSIS (SOIL) QF 7502 QC-01 (2M, BS- 1377-2,AASHTO T-27,ASTM C-136)				
Método de peneirar : Molhado/seco 1182.0gm				Peso da amostra:1500 gramas
Tamanho da peneira (mm)	Peso retido (gm)	Peso retido (%)	Peso acumulado retancado (%)	Passado (%)
19	0	0	0	100
13.2	0	0	0	100
9.5	9.8	0.65	0.65	99.35
4.75	94.7	6.31	6.97	93.03
2	231.2	15.41	22.38	77.62
0.425	610.8	40.72	63.10	36.90
0.075	480.4	32.03	95.13	4.87
	Módulo de grandeza =		**1.81**	

Mediante a distribuição granulométrica encontrada nos ensaios das amostras I e II, foi possível traçar as curvas presente na curva 1, representada pela cor preta e curva 2 pela cor vermelha, por meio das quais se determinou os coeficientes de uniformidade (Cu=12,5) e de curvatura (Cc=1.23) para a amostra I e coeficientes de uniformidade (Cu=10) e de curvatura (Cc=0.82) para a amostra II,parâmetros usados para classificação do solo pelo método da SUCS.

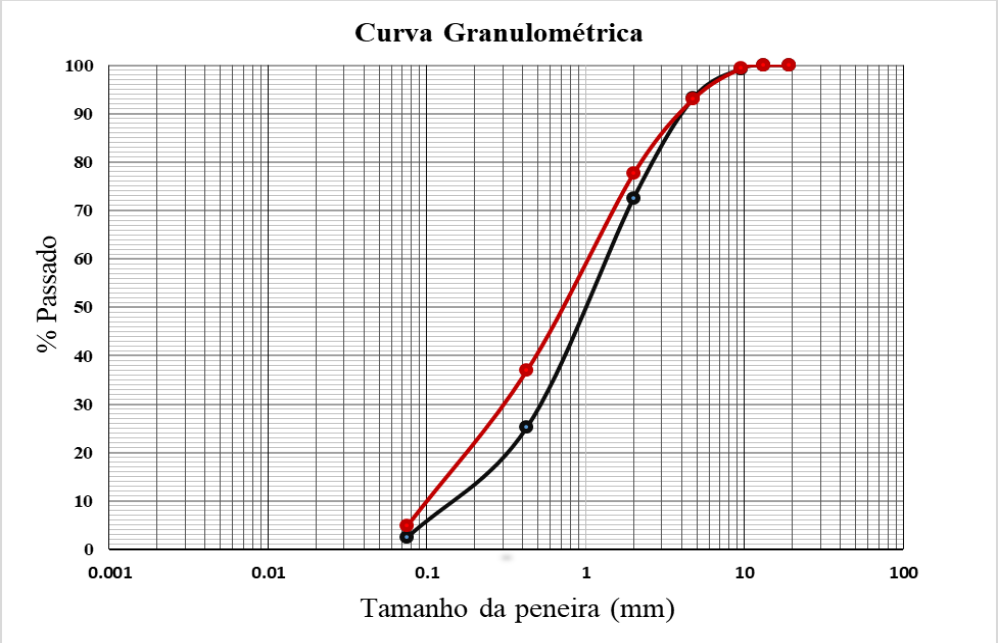


Gráfico 1-Curva granulométricas de amostra I e II

Pode-se visualizar os resultados obtidos através do ensaio de limite de liquidez e de plasticidade, realizado a partir de amostras deformadas.

Tabela 4-Limite de Plasticidade e de Liquidez

Ensaio de Limite de Liquidez e Plasticidade Amostra-I								
ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS		Cliente: Administracao Nacional de Estradas						
		Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates						
		Contrator: AFCONS INFRAESTRUTURA LIMITADA (INDIA)						
		Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala						
MÉTODO LIMITE LIQUIDEZ-CASAGRANDE								
QF 7502 QC-03 (AASHTO T-87,98,90, ASTM D-423-66 , BS- 1377-2) ATT.LIMITES								
Folha de observação								
Descrição		LIMITE LIQUIDEZ			LIMITE PLASTICIDADE			
S.nº	Teste nº	1	2	3	1	2	3	
1	Recipiente nº	17	21	28	29	38	24	
2	Número ode golpes	17.00	24.00	31.00				
3	Peso do recipente (a) (gm)	17.64	18.73	17.99	17.74	17.41		
4	Massa Umida + recipiente (b) (gm)	26.48	25.9	25.55	21.79	21.35		
5	Massa secs + Recipiente (c) (gm)	24.48	24.39	24.08	21.1	20.66		
6	Peso da Àgua (d) (gm)	2.00	1.51	1.47	0.69	0.69		
7	Peso do solo seco (e) (gm)	6.84	5.66	6.09	3.36	3.25		
8	Conteúdo de Mistura (%)	29.2	26.7	24.1	20.5	21.2		
					20.9			
		Limite Liquido (LL) =		26.7				
		Limite Plastico (PL) =		20.90				
		Índice Plastico(PI) =		5.80				

Fonte: Autor,2023

Tabela 5-Limite de Plasticidade e de Liquidez.

Ensaio de Limite de Liquidez e Plasticidade Amostra-II							
ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS	Cliente: Administração Nacional de Estradas						
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates						
	Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)						
	Reabilitacao da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala						
MÉTODO LIMITE LIQUIDEZ-CASAGRANDE							
QF 7502 QC-03 (AASHTO T-87,98,90, ASTM D-423-66 , BS- 1377-2) ATT.LIMITE							
Folha de observação							
Descriçã		LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		
S.nº	Teste nº	1	2	3	1	2	3
1	Recipiente nº	13	17	33	14	18	21
2	Número de golpes	20.00	25.00	33.00			
3	Peso do recipiente (a) (gm)	17.36	17.64	16.03	19.16	19.51	
4	Massa umida+ Recipiente (b) (gm)	30.87	29.06	31.43	27.43	28.04	
5	Massa seca + Recipiente (c) (gm)	27.24	26.12	27.74	25.92	26.47	
6	Peso da Àgua (d) (gm)	3.63	2.94	3.69	1.51	1.57	
7	Peso do solo seco (e) (gm)	9.88	8.48	11.71	6.76	6.96	
8	Conteúdo de Umidade (%)	36.7	34.7	31.5	22.3	22.6	
						22.4	
		Limite Liquido (LL)=		34.7			
		Limite Plastico (PL)=		22.4			
		Indice Plastico (PI)=		12.3			

Seguindo o preconizado pela norma AASHTO T-87.98.90, através dos Gráficos 3 e 4, que correlaciona o teor de umidade da amostra e o número de golpes empregados no aparelho de casa grande, determinou-se o limite de liquidez dos solos, LL= 26.7 e o LP=20.90 para amostra I e, LL= 34.7 e o LP=22.4 para amostra II.

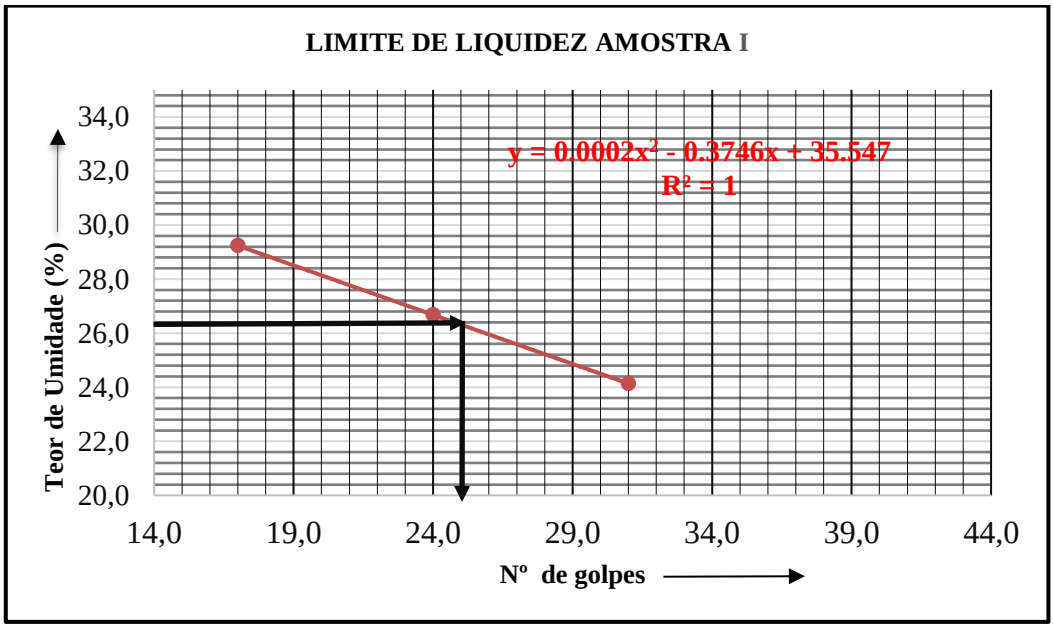


Gráfico 2-limite de liquidez amostra I

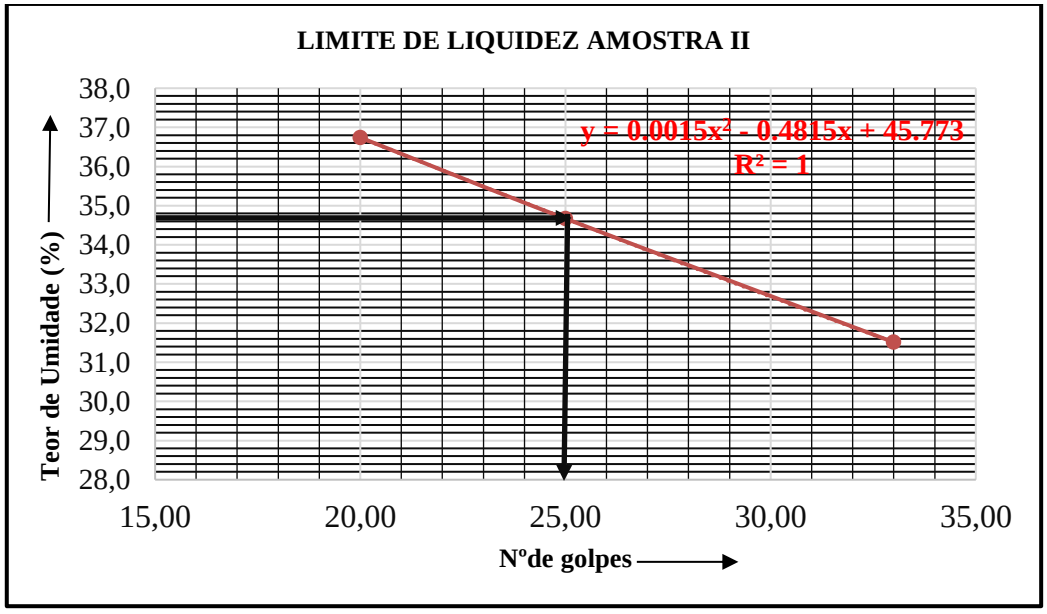


Gráfico 3-limite de liquidez amostra II

ENSAIO DE COMPACTAÇÃO PROCTOR

Dando procedência as análises de laboratório, através do ensaio de compactação pelo proctor modificado, obtiveram-se os dados descritos nas Tabela 6 e 7. em que apresenta os valores de teor de água ótima (8.1% e 9.6%), e de baridade/densidade máxima seca (1.998 $\gamma_{máx}$ (mg/cc) e (1.785 $\gamma_{máx}$ (mg/cc), para os solos 1 e 2.

Tabela 6-Dados determinados no ensaio de compactação Solo I

Ensaio de Proctor Modificado Amostra-I							
ANE ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS		Cliente: Administração Nacional de Estradas					
		Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates					
		Contrator: AFCONS INFRAESTRUTURA LIMITADA (INDIA)					
		Reabilitacao da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala					
DRELAÇÃO DENSIDADE SECA/CONTEÙDO DE UMIDADE (Compactador)							
QF 7502 QC-04 (TMH1A ,AASHTO T-180,ASTM D-1557, BS-1377-4)							
Folha de observação							
Tipo de Compactação :Estático/Dinâmico					Numerode golpes : 55		
Tipo de método : modificado					Nº de camadas : 5		
Peso de compactador : 4.536					Peso da amostra original : 7000 g		
S.Nº	**Descrição nº**	**Unidade**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	% Àgua adicionada	%	5	7	9	11	13
2	Volume de molde (v)	cc	2243	2243	2243	2243	2243
3	Peso do molde (a)	gm	3280	3280	3280	3280	3280
4	Peso do molde + solo úmido (b)	gm	7690	7903	8127	8022	7916
5	Peso do solo úmido (b-a) = c	gm	4410	4623	4847	4742	4636
6	Densidade úmida Dw = c/v	gm/cc	1.966	2.061	2.161	2.114	2.067
Determinação de teor de Umidade							
Nº do recipiente.	Nº do recipiente..	-	20	43	35	15	19
1	Peso de recipiente (1)	gm	171	164	162	161	159
2	Peso do solo umido + Recipiente (2)	gm	872	723	707	671	747
3	Peso do solo seco + Recipiente (3)	gm	843.7	689	666	623	683.1
4	Peso da Àgua (2-3) = 4	gm	28.3	34	41	48	63.9
5	Peso do solo seco (3-1) = 5	gm	672.7	525	504	462	524.1
6	Conteúdo de Àgua= (4/5x100)	gm	4.2	6.5	8.1	10.4	12.2
7	Densidade seca= 100xDw/(100+w)	gm/cc	1.887	1.936	1.998	1.915	1.842

Tabela 7-Dados determinados no ensaio de compactação Solo II

Ensaio de Proctor Modificado Amostra-II							
ANE ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS		**Cliente: Administração Nacional de Estradas**					
		Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates					
		Contactor: AFCONS INFRAESTRUTURA LIMITADA (INDIA)					
		Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala					
RELAÇÃO DENSIDADE SECA/CONTEÙDO DE UMIDADE (Compactador)							
QF 7502 QC-04 (TMH1A ,AASHTO T-180,ASTM D-1557, BS-1377-4)							
Folha de observação							
Tipo de Compctação:Estatico/Dinâmico					Nùmero de golpes : 55		
Tipo de método : Modificado					Nº de camadas : 5		
Peso do Compactador : 4.536					Peso da amostra orginal : 7000 g		
S.Nº	**Descrição nº**	**Unidade**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
1	% Àgua adicionada	%	4	6	8	10	12
2	Volume de molde (v)	cc	2243	2243	2243	2243	2243
3	Peso do molde (a)	gm	3280	3280	3280	3280	3280
4	Peso do molde + Solo húmido (b)	gm	7157	7471	7669	7550	7389
5	Peso do solo húmido (b-a) = c	gm	3877	4191	4389	4270	4109
6	Densidade úmida Dw = c/v	gm/cc	1.728	1.868	1.957	1.904	1.832
Determinação de teor de Ùmidade							
Container No.	Nº de Recipiente.	-	15	19	6	11	34
1	Peso do recipiente (1)	gm	170	172	170	172	173
2	Peso do solo hùmido + Recipiente (2)	gm	820	824	829	840	819
3	Peso do solo seco + Recipiente (3)	gm	784.9	776.8	771.3	771.1	741.6
4	Peso da Àgua (2-3) = 4	gm	35.1	47.2	57.7	68.9	77.4
5	Peso do solo seco (3-1) = 5	gm	614.9	604.8	601.3	599.1	568.6
6	Conteudop de Àgua w= (4/5x100)	gm	5.7	7.8	9.6	11.5	13.6
7	Densidade seca= 100xDw/(100+w)	gm/cc	1.635	1.733	1.785	1.707	1.612

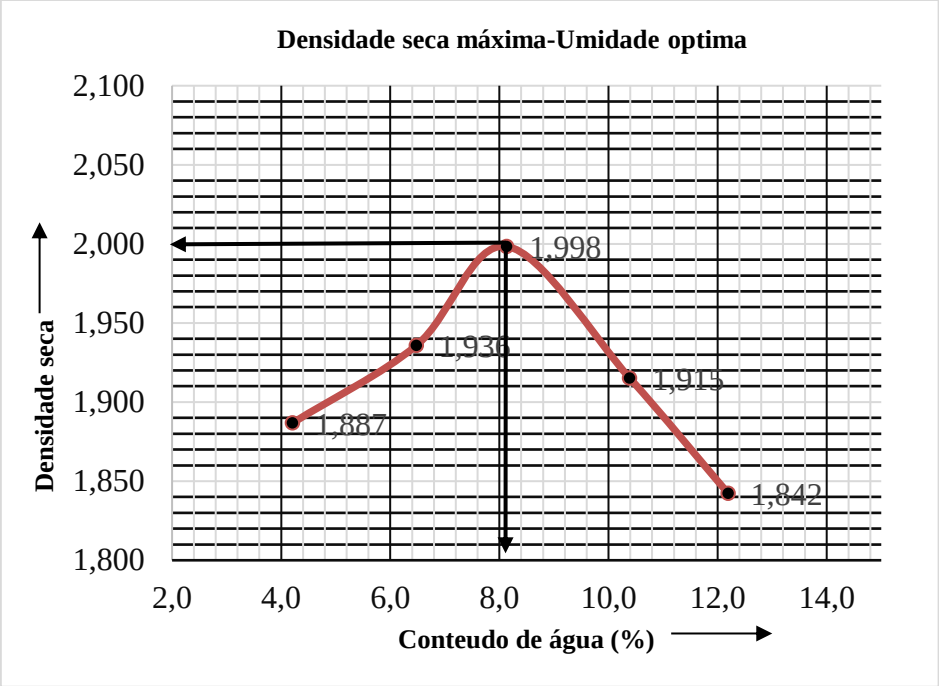


Gráfico 4-Curva de compactação e saturação do solo I

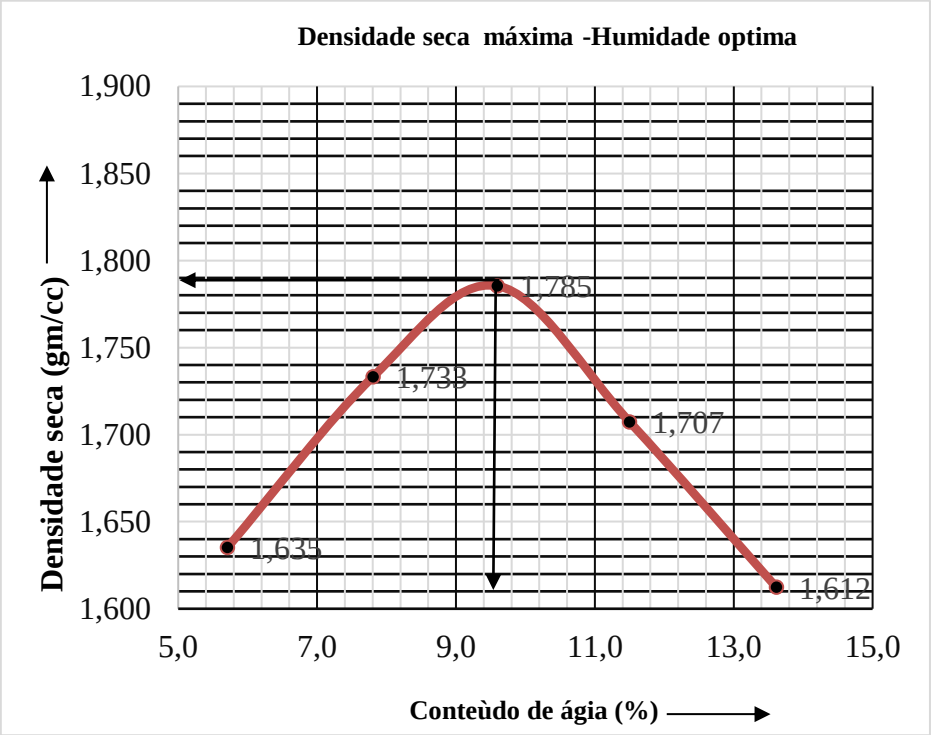


Gráfico 5-Curva de compactação e saturação do solo II

Percebe-se que, as curvas de compactação, crescem na medida em que aumenta o teor de água, e quando o material atinge a saturação, (baridade seca máxima ou densidade máxima) ele decresce. Logo o teor de água é direitamente proporcional à baridade seca máxima. A partir dos resultados dos ensaios de compactação foi possível calcular com exatidão a quantidade de água necessária para a moldagem dos corpos de prova para o CBR.

Ensaio de índice de suporte Califórnia (CBR)

As tabelas e os gráficos abaixo apresentam os valores de Compactação, expansão e o CBR obtidos para a primeira e a segunda amostra respetivamente, nas leituras de 2.5mm e 5.0mm, para curva força-penetração encontrada.

Tabela 8-Resultado de ensaio de Compactação de CBR do solo I

Ensaio de indice de suporte california(CBR) Amostra I								
	Cliente: Administração Nacional de Estradas							
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates							
	Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)							
	Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala							
DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE ROLAMENTODA CALIFORNIA(CBR)TESTE								
QF 7502 QC-08 (D-1883,T-193, BS-1377-4)								
Folha de observação								
Tipo de compactaão :	Estático/Dinâmico				MDD :	1998	(gm/cc)	
Período de imersão :	4 dias				OMC :	8.1	%	
					Amostra nº:			
Descrição		Antes de Imersão			Depois de Imersão			
Nº de golpes		5x55 Golpes	5x25 Golpes	3x55 Golpes	5x55 Golpes	5x25 Golpes	3x55 Golpes	
Nº de molde.		23	25	26				
Volume de molde (V)	(cc)	2231	2245	2240				
Peso de molde (W1)	(gm)	3264	3344	3870				
Peso de molde + Solo Compactado (W2)	(gm)	8163	7978	8298				
Peso do compactado (W3=W2-W1)	(gm)	4899	4634	4428				
Densidade húmida do solo (Dw)=W3/v	(gm/cc)	2196	2064	1977				
		Data do teor de agua						
Nºdo recipiente.		37	22	14				
Peso do recipiente	(gm)	161.8	175.8	177.7				
Peso do solo húmido+ Recipiente	(gm)	837.1	767.2	811.4				
Peso do recipiente + solo seco	(gm)	779.10	723.40	763.40				
Peso da Àgua	(gm)	58.00	43.80	48.00				
Peso do solo seco	(gm)	617.30	547.60	585.70				
Conteúdo da Àgua	(%)	9.4	8.0	8.2				
Densidsde seca do solo (Dd)=100*Dw/(100+w)	(gm/cc)	2007	1911	1827				
% de MDD:		100.4	95.6	91.4				
%CBR		**31.4**	**23.6**	**17.7**				

Tabela 8-Leitura de expansão do Solo I

EXPANSÃO QF7502 QC-05(TMH1-A8)				
Folha de observaçã				
Molde Nº.		23	25	26
S.Nº	Descriçã	Resultado		
1	Altura do molde (H)	127.0	127.0	127.0
2	Leitura do medidor antes da imersão L	0.1	0.1	0.1
3	Leitura do medidor apos quatros de imersão k	0.15	0.40	0.21
4	Expansão S=((K-L)/127)X100 (%)	0.0	0.2	0.1

Tabela 9-Leitura de penetração e o cálculo de CBR do Solo I

	Cliente: Administração Nacional de Estradas								
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates								
	Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)								
	Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala								
DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE ROLAMENTODA CALIFORNIA(CBR)TESTE									
QF 7502 QC-08 (D-1883,T-193, BS-1377-4) TMH1 A8									
% ode MDD	100%			95%			90%		
Nº. De golpes	5x55 (MDD)			5x25 (NRB)			3x55 (PROCTOR)		
Molde Nº.	Molde Nº.23			Molde Nº.25			Molde Nº.26		
Penetração do êmbolo (mm)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg	Carga corrigida (kg)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg))	Carga corrigida (kg)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg)	Carga corrigida (kg)
0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	0.64			0.47			0.36		
1.00	1.86			0.56			0.47		
1.50	2.02			1.82			1.68		
2.00	3.44			2.30			1.86		
2.50	4.65	465		3.27	327		2.19	219	
3.00	4.87			3.45			2.26		
4.00	6.36			4.1			3.48		
5.00	5.92	592		4.78	478		3.97	397	
7.50	6.79			5.26			3.01		
10.00	8.98			5.77			4.2		
CBR da amostra em 2.50 mm(padrão 1370Kg) por gráfico		**33.9**			**23.9**			**16.0**	
CBR da amostra em 5.00 mm(Standard 2055Kg)por gráfico		**28.8**			**23.3**			**19.3**	
CBR Corrigido		**31.4**			**23.6**			**17.7**	

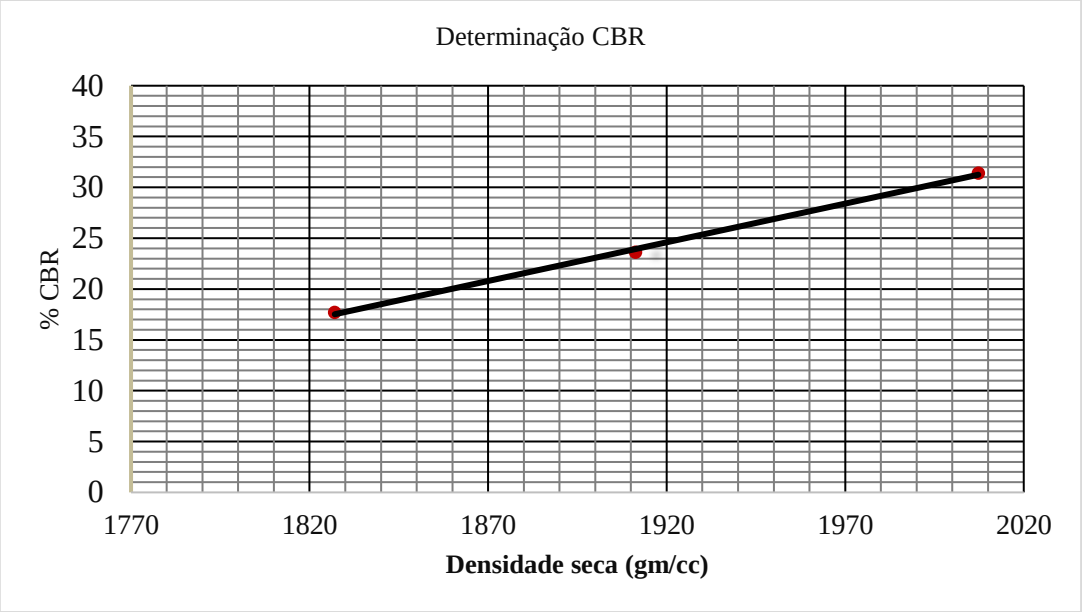


Gráfico 6-Gráfico CBR x Densidade Seca Solo I

Tabela 10-Resultado de ensaio de Compactação de CBR do solo II

Ensaio de indice de suporte california(CBR) Amostra II								
	Cliente: Administração Nacional de Estradas							
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates							
	Contrator: AFCONS INFRAESTRUTURA LIMITADA (INDIA)							
	Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala							
DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE ROLAMENTODA CALIFORNIA(CBR)TESTE								
QF 7502 QC-08 (D-1883,T-193, BS-1377-4)								
Folha de observação								
Tipo de compactaão :	Estático/Dinâmico				MDD :	1785	(gm/cc)	
Período de imersão :	4 dias				OMC :	9.6	%	
					Sample No:			
Descrição		Antes de Imersão			Depois de Imersão			
Nº de golpes		5x55 Golpes	5x25 Golpes	3x55 Golpes	5x55 Golpes	5x25 Golpes	3x55 Golpes	
Nº de molde.		30	32	33				
Volume de molde (V)	(cc)	2243	2243	2243				
Peso de molde (W1)	(gm)	3280	3280	3280				
Peso de molde + Solo Compactado (W2)	(gm)	7242	7375	7207				
Peso do compactado (W3=W2-W1)	(gm)	3962	4095	3927				
Densidade húmida do solo (Dw)=W3/v	(gm/cc)	1766	1825.680	1751				
		Dta de teor de agua						
Nºdo recipiente.		21	18	24				
Peso do recipiente	(gm)	172.8	172.2	171				
Peso do solo húmido+ Recipiente	(gm)	826.7	759.7	762.8				
Peso do recipiente + solo seco	(gm)	767.60	708.7	707.1				
Peso da Àgua	(gm)	59.10	51.00	55.70				
Peso do solo seco	(gm)	594.80	536.50	536.10				
Conteúdo da Àgua	(%)	9.9	9.5	10.4				
Densidsde seca do solo (Dd)=100*Dw/(100+w)	(gm/cc)	1607	1667	1586				
% de MDD:		90.0	93.4	88.9				
%CBR		**25.8**	**13.2**	**10**				

Tabela 11-Leitura de expansão do solo II

EXPANSÃO QF7502 QC-05(TMH1-A8)				
Folha de observaçã				
Molde Nº.		30	32	33
S.Nº	Descriçã	Resultado		
1	Altura do molde (H)	127.0	127.0	127.0
2	Leitura do medidor antes da imersão L	0.1	0.1	0.1
3	Leitura do medidor apos quatros de imersão k	1.75	2.76	3.78
4	Expansão S=((K-L)/127)X100 (%)	1.3	2.1	2.9

Tabela 12-Leitura de penetração e o cálculo de CBR do solo II

ANE ADMINISTRAÇÃO NACIONAL DE ESTRADAS / WAPCOS	**Cliente: Administração Nacional de Estradas**
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates
	Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)
	Reabilitação da estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala

DETERMINAÇÃO DA RELAÇÃO DE ROLAMENTODA CALIFORNIA(CBR)TESTE									
QF 7502 QC-08 (D-1883,T-193, BS-1377-4) TMH1 A8									
% ode MDD	100%			95%			90%		
Nº. De golpes	5x55 (MDD)			5x25 (NRB)			3x55 (PROCTOR)		
Molde Nº.	Molde Nº.23			Molde Nº.25			Molde Nº.26		
Penetração do êmbolo (mm)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg)	Carga corrigida (kg)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg))	Carga corrigida (kg)	provando leiturade anel (KN)	Carregar (kg)	Carga corrigida (kg)
0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0
0.50	0.35			0.53			0.33		
1.00	0.91			0.77			0.48		
1.50	1.06			1.25			0.78		
2.00	2.52			1.89			1.18		
2.50	3.18	318		1.95	195		1.25	125	
3.00	3.95			1.99			1.76		
4.00	4.67			2.03			2.01		
5.00	5.82	582		2.5	250		2.22	222	
7.50	5.60			2.76			2.65		
10.00	6.34			3.25			2.7		
CBR da amostra em 2.50 mm(padrão 1370Kg) por gráfico		**23.2**			**14.2**			**9.1**	
CBR da amostra em 5.00 mm(Standard 2055Kg)por gráfico		**28.3**			**12.2**			**10.8**	
CBR Corrigido		**25.8**			**13.2**			**10.0**	

Fonte: Autor, 2023

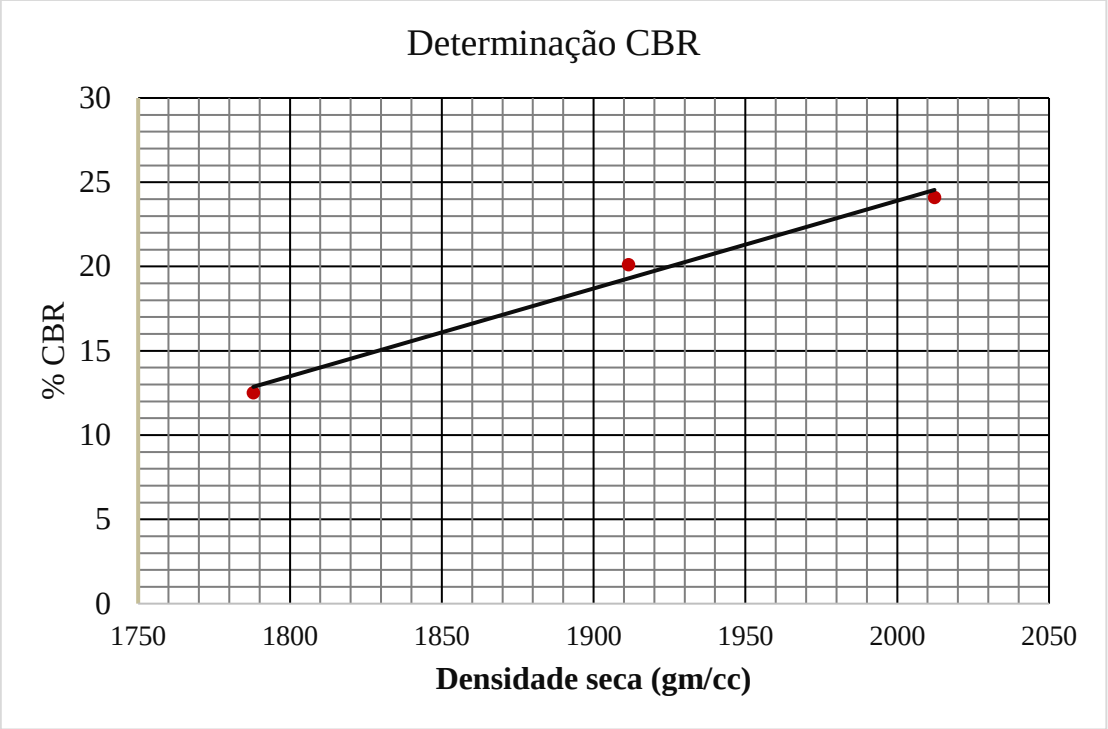


Gráfico 7-Gráfico CBR x Densidade Seca Solo II

Ensaio de campo

A etapa desse estudo se deu através dos ensaios de campo da camada de sub-base e subleito, onde foi definido os valores de umidade e densidade do solo seco, diante a compactação do aterro por 8 diferentes quantidades de passagens de rolo numa extensão de 200 m, esses dados estão dispostos nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13-Grau de compactação do solo na camada sub-base

	Cliente: Administração Nacional de Estradas				
	Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates				
	Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)				
	Reabilitacaao da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala				
TESTE DE DENSIDADE DE CAMPO PELO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO DE AREIA					
QF 7502 QC-09 (AASHTO T-196,ASTM D-1556)					
RF:Nº	Rw:	Data:			
Fonte do material (Nome e cadeia)	: 60+100 RHS	Densidade seca máxima (ÝMDD)			1998
Densidade aparente da areia (Ýd)	: 1310 gm/cc	Conteúdo ideal de Húmidade			8.1
Tipo de Camada :		Camada C4			
Trecho de teste representativo		36+00-------36+200			
Localização do poço de teste		36+050	36+090	36+140	36+190
Deslocamento da linha central	(m)	00 CL	460 RHS	370 LHS	00 CL
Profundidade de buraco	(mm)	200	200	200	200
DENSIDADE DE CAMPO					
Poço de teste Nº	No.	1	2	3	4
Peso de material hùmido do furo,Ww	(gm)	6505	5513	7049	6284
Peso de areia +Cilindro antes de despejar, W1	(gm)	14420	14420	14420	14420
Peso de areia+Cilindro após vazamento, W2	(gm)	8918	9470	8595	9066
Peso de areia em cone, W3	(gm)	1352	1352	1352	1352
Peso de areia no furo, W4=W1-W2-W3	(gm)	4150	3598	4473	4002
Volume do poço, V=W4/ýs	gm/cc	3168	2747	3415	3055
Densidade aparente do material no furo Ýb={(Ww/V)}	gm/cc	2053	2007	2064	2057
Derteminação do teor de humidade por Medidor Rápido de Humidade (RMM)					
Leitura de humidade(RMM)	(%)	12.0	11.0	12.0	12.0
Conteudo de hùmidade corrigido	(%)	11.0	10.0	11.0	11.0
RESULTADOS					
Field dry density Ýd={Ýb/(100+W)}x100	gm/cc	1900	1857	1910	1903
Compactação obtida (100xÝd/ÝMDD)	(%)	95.07	92.93	95.6	95.24
Compactação média obtida	(%)	95			
Compactação necessaria conforme especificação	(%)	97%			

Tabela 14-Grau de compactação do solo na camada subleito

Cliente: Administração Nacional de Estradas					
Engenheiro: Wapcos LTD/Aarvee Associates					
Contrator: AFCONS INFRASTRUCTURE LIMITED (INDIA)					
Reabilitacaao da Estrada N 280/N 281 entre Tica Búzi e nova Sofala					
TESTE DE DENSIDADE DE CAMPO PELO MÉTODO DE SUBSTITUIÇÃO DE AREIA					
QF 7502 QC-09 (AASHTO T-196,ASTM D-1556)					
RF:No	Rw:		Date:		
Fonte do material (Nome e cadeia)	: 60+100 RHS		Densidade seca máxima (ÝMDD)		1785
Densidade aparente da areia (Ýd)	: 1310 gm/cc		Conteúdo ideal de Húmidade		9.6
Tipo de Camada :			Camada G7		
Trecho de teste representativo			45+00-------45+200		
Localização do poço de teste			45+050	45+090	45+140	45+190
Deslocamento da linha central		(m)	00 CL	460 RHS	370 LHS	00 CL
Profundidade de buraco		(mm)	200	200	200	200
DENSIDADE DO CAMPO						
Poco de teste Nº		No.	1	2	3	4
Peso de material hùmido do furo,Ww		(gm)	6505	5583	7696	5412
Peso de areia +Cilindro antes de despejar, W1		(gm)	14420	14420	14420	14420
Peso de areia+Cilindro após vazamento, W2		(gm)	8355	8637	7029	8956
Peso de areia em cone, W3		(gm)	1161	1161	1161	1161
Peso de areia no furo, W4=W1-W2-W3		(gm)	4904	4622	6230	4303
Volume do poço, V=W4/ýs		gm/cc	3744	3528	4756	3285
Densidade aparente do material no furo Ýb={(Ww/V)}		gm/cc	1738	1582	1618	1648
Derteminação do teor de humidade por Medidor Rápido de Humidade (RMM)						
Leitura de humidade(RMM)		(%)	11.0	9.0	10.0	10.0
Conteudo de hùmidade corrigido		(%)	11.8	9.6	10.7	10.7
RESULTADOS						
Field dry density Ýd={Ýb/(100+W)}x100		gm/cc	1554	1464	1497	1524
Compactação obtida (100xÝd/ÝMDD)		(%)	87.07	82.01	83.9	85.39
Compactação média obtida		(%)	85			
Compactação necessaria conforme especificação		(%)	93			

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou destacar a importância de se conhecer os parâmetros que influenciam no processo de compactação, sendo estes, o tipo de solo, teor de umidade, a densidade e, principalmente, a energia empregada. Foram então, determinadas as características físicas do material em estudo e posteriormente os ensaios de compactação por método de Practor (modificado), tendo sido efetuada a variante pesada deste ensaio.

Dos ensaios resultaram os respetivos teores em água ótimos e os pesos volúmicos secos máximos para os solos estudados.

Por meio da caracterização física e classificação do solo, observou-se que os solos da amostra I e II, segundo a SUCS, AASHTO e SATCC constam nos grupos A-1-a, referente as areias e areias siltosos ou argilosos de comportamento excelente e com qualidade satisfatória a bom para a base de pavimento e A-2-6 referente a pedregulhos e areia siltosos ou argilosas de comportamento ruim regular a mau quando empregado como subleito e sub-base.

Na compactação observou-se que a densidade seca máxima da amostra I estabeleceu o parâmetro exigido pela norma SATCC. A segunda amostra não satisfaz a norma, tendo atingido uma densidade baixa e maior teor de humidade.

Relativamente aos valores de CBR, as duas amostras apresentaram fraca capacidade de suporte e que a segunda apresentou maior expansibilidade. Quanto ao grau de compactação, Ponto I apresentou uma compactação satisfatória em relação ao ponto 2

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos técnicos do laboratório da Administração Nacional de Estradas de Moçambique pela colaboração (ANE).

REFERÊNCIAS

Filipe, B. R. de Souza., Controle Tecnológico Aplicado A Obras De Terraplenagem/ Rio de Janeiro: UFRJ/Escola Politécnica, 2014.

Ribeiro, S. P. T., Terraplenagem. Metodologia e Técnicas de Compactação, dissertação de Mestrado na Faculdade de Engenharia, Universidade de Porto, Portugal.

Ministério das Obras Públicas, Habitação e Recursos Hídricos de Moçambique., normas para estradas urbanas municipais, manual de construção e manutenção de estradas urbanas municipais, 2021.

Camargo, C. J., dos Santos, D. L. G., Avaliação do transporte público coletivo no município de Muiabá – MT sob a perspetiva da engenharia do transporte, Projeto 458/2022

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, 2023.

Simpósio Nº6: Engenharias: Projetos e Tecnologias Sociais

23487 AVALIAÇÃO DA NEUTRALIDADE DE REDE E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE INTERNET EM MOÇAMBIQUE (Assessment of Network Neutrality and Its Influence on the Quality of Internet Services in Mozambique). Tomás Jambone Francisco. 1073

23520 ECONOMIA DOS SABERES: Extensão, Pesquisa, Territórios e Tecnologias Sociais. Carlos Alberto Máximo Pimenta; Viviane Guimarães Pereira; Adilson da Silva Mello; Maria Aparecida da Silva. 1083

23521 REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CAFEICULTURA MEDIADA PELA MANUFATURA ADITIVA: ESTUDO DE CASO. Gabriela Cristina Daniel; Rosinei Batista Ribeiro; Adilson da Silva Mello; Carlos Alberto Pimenta; João Eduardo Chagas Sobral. 1085

23522 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM DISPOSITIVOS MÉDICOS EM PLA IMPRESSOS EM 3D PARA APLICAÇÕES MÉDICAS. Caio Fernando da Silva; Rosinei Batista Ribeiro; Adilson Silva Mello; Alexandre Formigoni; Elsa A. Paz Estévez; Ramon Quiza Sardiñas; Marcelino Rivas Santana. 1087

23538 SISTEMA DE CONTROLO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM NAVIOS DURANTE A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS: estudo de caso da baía de Palma (2013-2023). Sumeila Dinis Cossa; Hagira Naide Gelo; Lucas Sábado Lima. 1089

ARTIGO Nº23487

AVALIAÇÃO DA NEUTRALIDADE DE REDE E SUA INFLUÊNCIA NA QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE INTERNET EM MOÇAMBIQUE

Assessment of Network Neutrality and Its Influence on the Quality of Internet Services in Mozambique

Tomás Jambone Francisco
Escola Superior de Ciências Náuticas, Departamento De Rádio – Maputo, Moçambique
Email: en.mo@enautica.ac.mz

RESUMO

A crescente demanda por internet e a ausência de regulamentação específica sobre a neutralidade da rede em Moçambique levantam preocupações quanto à qualidade dos serviços prestados pelos Provedores de Serviços de Internet (ISPs). Este estudo analisa a infraestrutura de telecomunicações do país, as políticas existentes e as percepções dos usuários sobre o impacto da neutralidade da rede. A pesquisa utilizou entrevistas com ISPs e órgãos reguladores, além de questionários aplicados a usuários da internet. Os resultados indicam que a falta de regulamentação permite práticas que podem comprometer a qualidade do serviço, gerando desigualdades no acesso à informação. O estudo conclui com recomendações baseadas em exemplos internacionais para aprimorar a neutralidade da rede e a qualidade dos serviços de internet em Moçambique.

Palavras-chave: Neutralidade da rede, Qualidade dos serviços de internet, Provedores de serviços de Internet, Moçambique.

ABSTRACT

The increasing demand for internet access and the absence of specific regulations on network neutrality in Mozambique raise concerns about the quality of services provided by Internet Service Providers (ISPs). This study analyzes the country's telecommunications infrastructure, existing policies, and user perceptions regarding the impact of network neutrality. The research employed interviews with ISPs and regulatory bodies, as well as questionnaires administered to internet users. The findings indicate that the lack of regulation allows practices that may compromise service quality, leading to inequalities in access to information. The study concludes with recommendations based on international examples to improve network neutrality and the quality of internet services in Mozambique.

Keywords: Network neutrality, Internet service quality, Internet Service Providers, Mozambique.

INTRODUÇÃO

A crescente digitalização das comunicações e a expansão da internet têm desempenhado um papel crucial no desenvolvimento económico e social a nível global. No entanto, essa evolução também levanta desafios significativos, especialmente no que concerne à neutralidade da rede e à qualidade dos serviços de internet. A neutralidade da rede, um princípio fundamental na governança da internet, assegura que todos os dados sejam tratados de forma equitativa, sem discriminação por parte dos Provedores de Serviços de Internet (ISP's) (Van Schewick, 2015). Essa questão ganha relevância particular em países em desenvolvimento, como Moçambique,

onde a infra-estrutura de telecomunicações ainda apresenta desafios significativos (INCM, 2023).

O presente artigo tem como objetivo analisar a neutralidade da rede em Moçambique e sua influência na qualidade dos serviços de internet no período entre 2021 a 2024. A ausência de uma regulamentação específica sobre esse tema no país gera preocupações sobre práticas discriminatórias na gestão do tráfego, que podem comprometer a qualidade dos serviços oferecidos e criar desigualdades no acesso à informação (Soares, 2021).

A pesquisa baseia-se em um estudo de caso que envolve a análise da infra-estrutura de telecomunicações, entrevistas com representantes do setor, incluindo ISP's e entidades reguladoras, e a colecta de percepções dos utilizadores. Além disso, serão comparadas as políticas de neutralidade da rede em diferentes países, com o objectivo de identificar boas práticas que possam ser aplicadas ao contexto de Moçambique.

Espera-se que este estudo contribua para o debate acadêmico e político sobre a neutralidade da rede em Moçambique, oferecendo recomendações que possam melhorar a qualidade dos serviços de internet e promover uma maior equidade no acesso à informação. Através dessa abordagem, busca-se fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas mais eficazes e para o aprimoramento do sector de telecomunicações no país (FCC, 2017; BEREC, 2016).

NEUTRALIDADE DA REDE E QUALIDADE DOS SERVIÇOS DE INTERNET EM MOÇAMBIQUE

1.Neutralidade da Rede

A neutralidade da rede é um princípio que defende que todo o tráfego de internet deve ser tratado de forma igualitária, sem discriminação, bloqueio ou priorização por parte dos ISP's (Wu, 2003). Esse conceito tem sido debatido globalmente e impacta diretamente a forma como os utilizadores acessam conteúdos online.

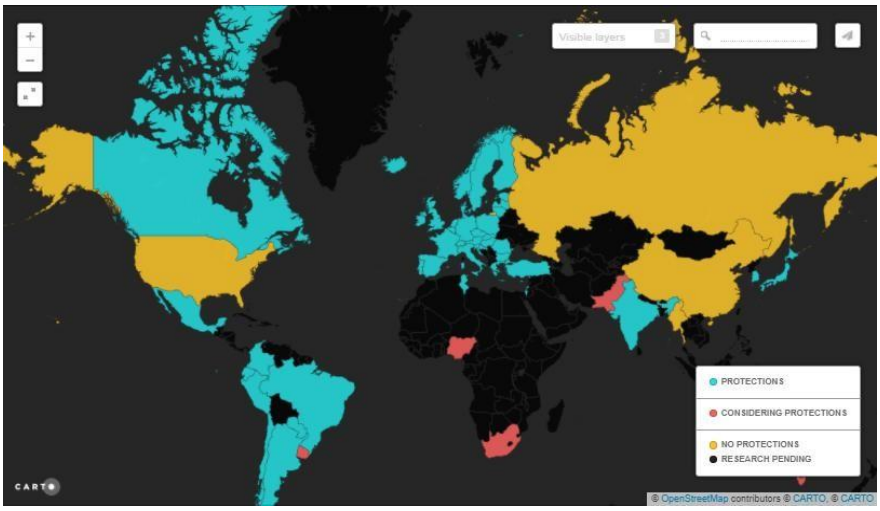


Figura 1: Estado da neutralidade de rede no Mundo
Fonte: https://dejiaccessnow.carto.com/viz/4f239c60-356f-11e5-b01c-0e853d047bba/public_map

Modelos de Neutralidade da Rede:

Diferentes países adotam abordagens variadas em relação à regulação da neutralidade da rede. A União Europeia, por exemplo, implementou regras rígidas para garantir que os ISP's não

interfiram no tráfego dos utilizadores (BEREC, 2016), enquanto os Estados Unidos têm enfrentado mudanças frequentes na política de regulação da neutralidade da rede (FCC, 2017). Os principais modelos aplicados são:

- **Modelo Aberto**: Garante que todo o tráfego seja tratado igualmente, promovendo concorrência e inovação.
- **Modelo Regulamentado**: Determina directrizes específicas para garantir que a neutralidade seja respeitada por meio de legislação.
- **Modelo de Gestão de Tráfego**: Permite a priorização de certos tipos de dados por razões técnicas ou comerciais, frequentemente criticado por gerar desigualdade no acesso.

No contexto moçambicano, a análise da neutralidade de rede é relevante, dado o papel fundamental dos provedores na estruturação da conectividade digital e suas possíveis práticas de gestão de tráfego (Brunnstrom, Beker, & Moor, 2013).

2. Qualidade dos Serviços de Internet

A qualidade dos serviços de internet pode ser mensurada com base em padrões internacionais, como os definidos pela União Internacional de Telecomunicações (UIT) e pelo Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos (IEEE). Alguns indicadores fundamentais incluem:

- **Latência**: Tempo de resposta da rede, influenciando serviços em tempo real.
- **Largura de Banda**: Capacidade de transmissão de dados da conexão.
- **Taxa de Perda de Pacotes**: Indica a confiabilidade da conexão.
- **Disponibilidade e Continuidade do Serviço**: Mede a estabilidade da rede.

Modelos de Avaliação de Qualidade:

- **Modelo SERVQUAL**: Avalia a qualidade percebida pelos utilizadores com base em cinco dimensões (tangibilidade, confiabilidade, capacidade de resposta, segurança e empatia).
- **Modelo MOS (*Mean Opinion Score*)**: Usado para avaliar a qualidade subjectiva da experiência do utilizador em serviços de voz e vídeo.
- **Modelo ITU-T E.800**: Proporciona uma estrutura técnica para mensurar a qualidade dos serviços de telecomunicação.

Aspectos Regulatórios e Políticas Públicas

A regulação da internet e a garantia da qualidade do serviço em Moçambique estão sob a supervisão do Instituto Nacional das Comunicações de Moçambique (INCM). Este órgão estabelece diretrizes para a governança da internet, baseando-se em modelos internacionais, como os da UIT e da OCDE.

Políticas que impactam a neutralidade da rede e a qualidade do serviço incluem:

- **Plano Estratégico das TICs em Moçambique**: Directrizes para a expansão da infra-estrutura digital.
- **Regulamentos de Provedores de Serviço de Internet (ISP)**: Normas sobre oferta de serviços e tratamento do tráfego de dados.
- **Legislação sobre a Internet Aberta**: Propostas para garantir acesso equitativo e transparência nos serviços oferecidos.

Infra-estrutura de Telecomunicações em Moçambique

A infra-estrutura de telecomunicações em Moçambique ainda apresenta desafios significativos, especialmente no que diz respeito à conectividade em áreas remotas. Os principais ISPs operam principalmente em centros urbanos como Maputo, Beira e Nampula, enquanto muitas regiões rurais ainda dependem de conexões móveis de baixa qualidade. Além disso, a capacidade da largura de banda fornecida pelos cabos submarinos, como o EASSy (*Eastern Africa Submarine System*), ainda não é suficiente para atender à crescente demanda por serviços de internet de alta velocidade (INCM, 2023).

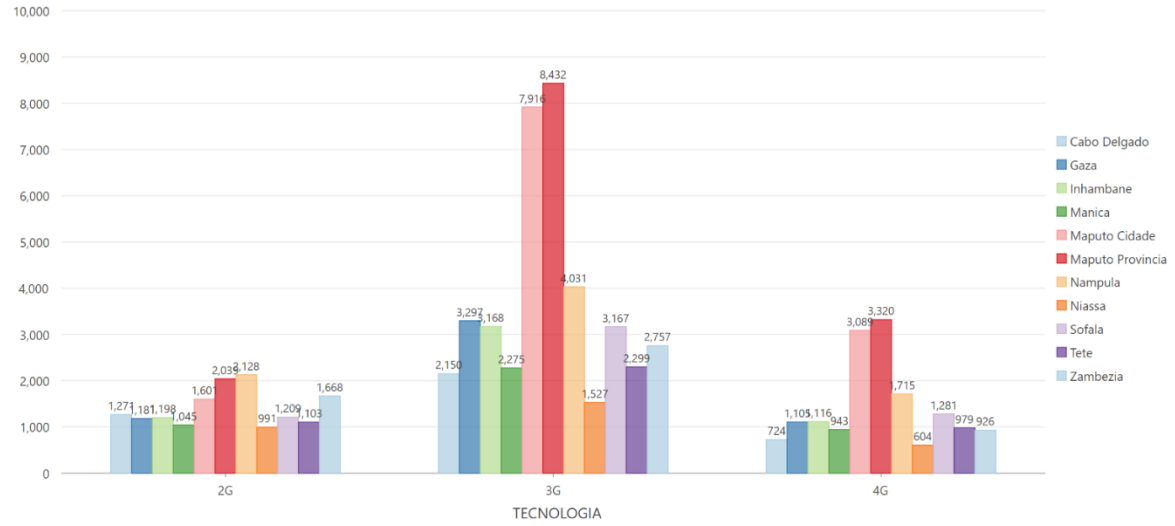


Figura 2: Cobertura de Telefonia Movel por Província: 2022-2023
Fonte: INCM, 2023

Desafios e Tendências Futura

Os principais desafios para a neutralidade da rede e qualidade dos serviços de internet em Moçambique incluem a infra-estrutura limitada, o alto custo de conexão e a falta de regulamentação específica para garantir equidade no acesso.
Tendências futuras indicam a necessidade de:

- Maior investimento em infra-estrutura digital.
- Criação de mecanismos de monitoramento da qualidade dos serviços.
- Políticas para evitar monopólios e promover concorrência justa entre ISPs.

Neutralidade da Rede em Moçambique

Em Moçambique, o sector de telecomunicações tem passado por diversas transformações nos últimos anos, impulsionado pela expansão do acesso à internet. Segundo o Instituto Nacional das Comunicações de Moçambique (INCM, 2023), cerca de 23,2% da população tem acesso à internet, sendo a maioria dos usuários conectados através de dispositivos móveis. No entanto, a qualidade do serviço ainda enfrenta desafios, especialmente em áreas rurais onde a infra-estrutura de telecomunicações é limitada. A falta de regulamentos específicos sobre a neutralidade da rede permite que os ISPs adoptem práticas de discriminação de tráfego, como a priorização de serviços pagos e o bloqueio de determinados conteúdos. Podemos citar como exemplo, o Bloqueio das redes socias em 2023 durante as Eleições autárquicas, O bloqueio da internet movel apos as eleições gerais em 2024, em períodos programados. E a pratica mais comum da Neutralidade de rede pode ser vista nos planos oferecidos pelas Operadoras moveis de Moçambique, nomeadamente a Vodacom, Movitel e a Tmcel. As operadoras adoptam planos que permitem acesso a redes socias, discriminando as restantes aplicações ou serviços de internet que o utilizador poderia usufruir.

O bloqueio e a discriminação de serviços ou aplicações em Moçambique deve-se a ausência de uma legislação específica que regulamente a neutralidade da rede. Os provedores de internet têm liberdade para gerenciar o tráfego conforme suas estratégias comerciais, o que pode levar a práticas que favorecem determinados serviços em detrimento de outros. Em comparação com países como Brasil e União Europeia, onde há regulamentações rígidas para evitar discriminação de tráfego, Moçambique ainda enfrenta um vácuo regulatório que pode afectar a qualidade da internet oferecida aos usuários (CGI.br, 2021).

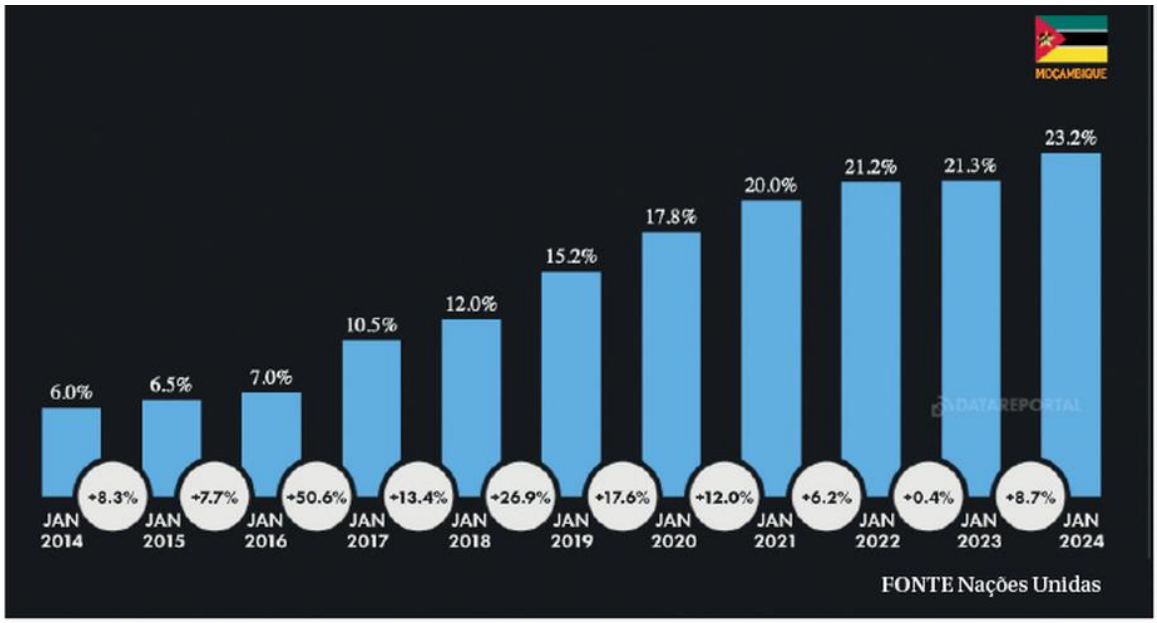


Figura 3: Crescimento do uso da internet nos últimos 11 anos
Fonte: INCM, 2023

METODOLOGIA

A metodologia adoptada neste estudo combina abordagens qualitativas e quantitativas para fornecer uma análise abrangente da neutralidade da rede em Moçambique. O estudo caracteriza-se como exploratório e descritivo, com a utilização de três principais técnicas de investigação: revisão bibliográfica, entrevistas estruturadas e análise de dados secundários(Gil, 2008).

A revisão bibliográfica incluiu a consulta a artigos científicos, relatórios técnicos e documentos regulatórios nacionais e internacionais sobre a neutralidade da rede e a qualidade dos serviços de internet. Foram analisadas políticas e regulamentações aplicadas em diferentes países para comparação com a realidade moçambicana. As entrevistas estruturadas foram conduzidas com representantes de órgãos reguladores, como o Instituto Nacional das Comunicações de Moçambique (INCM) e o Instituto Nacional de Tecnologias de Informação e Comunicação (INTIC), além de representantes de provedores de serviços de internet (ISP's), nomeadamente Tmcel e Teledata. O objectivo foi compreender as estratégias adoptadas no país para a gestão da internet e a sua relação com a neutralidade da rede.

A análise de dados secundários baseou-se nos relatórios de qualidade de serviço publicados pelo INCM, contendo métricas como velocidade da conexão, latência e estabilidade da rede. Além disso, um questionário foi aplicado a 377 utilizadores de internet, distribuídos entre zonas urbanas e rurais, para avaliar a sua perceção sobre a qualidade dos serviços prestados. Os dados recolhidos foram analisados por meio de estatística descritiva e análise de conteúdo, categorizando as respostas das entrevistas e identificando padrões nas respostas dos utilizadores. A comparação com práticas internacionais também permitiu avaliar possíveis recomendações para a implementação de políticas de neutralidade da rede em Moçambique.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a ausência de regulamentação específica sobre a neutralidade da rede em Moçambique tem impacto directo na qualidade dos serviços de internet. As entrevistas com representantes dos ISP's revelaram que, embora os provedores sigam diretrizes gerais do sector, não há um mecanismo efetivo de fiscalização para garantir que não ocorra discriminação de tráfego. Isso abre margem para práticas como a priorização de determinados conteúdos e a implementação de pacotes de zero-rating, que podem afectar a equidade no acesso à informação.

A análise dos questionários aplicados aos utilizadores indicou que 72% dos inquiridos percebem variações significativas na velocidade de acesso a diferentes plataformas, o que sugere a existência de práticas de gestão de tráfego que podem comprometer a neutralidade da rede. Além disso, 65% dos entrevistados afirmaram que frequentemente enfrentam dificuldades no carregamento de determinados serviços de streaming e comunicação, especialmente em horários de pico.

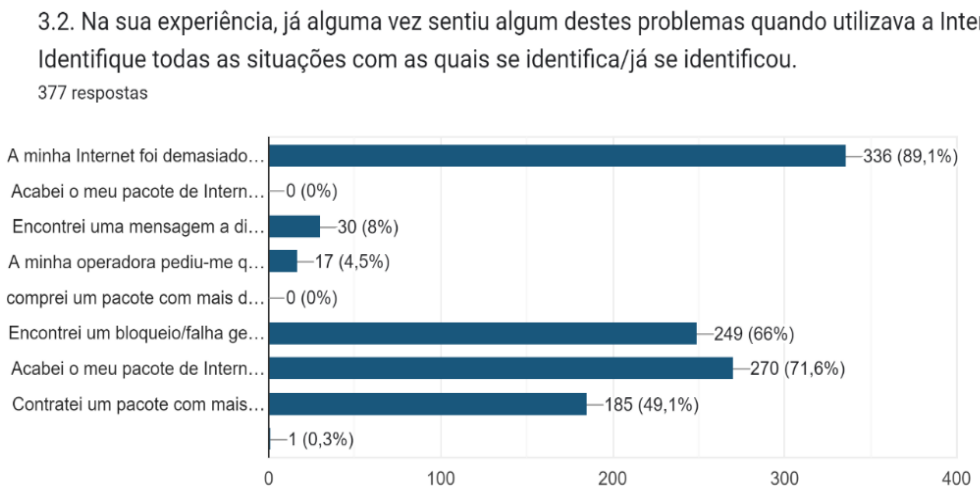


Figura 4: Problemas relatados pelos Inquiridos
Fonte: Autor, 2024

Os dados secundários analisados nos relatórios do INCM mostram que há uma disparidade entre os serviços oferecidos nas áreas urbanas e rurais. Enquanto nas cidades principais a velocidade média de conexão atinge 10 Mbps, em regiões periféricas e rurais esse valor pode ser inferior a 3 Mbps, evidenciando desafios estruturais que afetam a equidade no acesso à internet.

PERCENTAGEM DE DISTRIBUIÇÃO DA COBERTURA 4G												
LOCAL DE TESTE	TMCEL				VODACOM				MOVITEL			
	Não Existente	Má	Aceitável	Boa	Não Existente	Má	Aceitável	Boa	Não Existente	Má	Aceitável	Boa
Beira	11%	17%	22%	50%	0%	1%	4%	95%		2%	8%	90%
Bilene	24%	17%	18%	41%	14%	22%	23%	41%	33%	15%	14%	38%
Chibuto (Chib.)	45%	8%	15%	32%	14%	15%	18%	54%	12%	16%	21%	51%
Chimoio	3%	14%	34%	49%	0%	4%	18%	78%	1%	8%	22%	69%
Chiúre	100%	0%	0%	0%	48%	2%	14%	36%	3%	17%	26%	53%
Cuamba	100%	0%	0%	0%	5%	11%	23%	61%	7%	15%	18%	60%
Gorongosa (Gorong.)	100%	0%	0%	0%	43%	18%	19%	19%	15%	12%	21%	52%
Ilha de Moç.	100%	0%	0%	0%	19%	22%	25%	33%	22%	12%	17%	49%
Inhambane (Inham.)	30%	8%	13%	50%	3%	15%	18%	64%	7%	11%	19%	63%
Lichinga	100%	0%	0%	0%	4%	11%	24%	62%	6%	8%	14%	72%
Maputo Cidade (Map. Cid.)	0%	3%	25%	72%	0%	2%	23%	75%	1%	3%	20%	76%
Massinga (Massing.)	99%	1%	0%	0%	7%	11%	20%	62%	18%	19%	20%	43%
Matola	0%	6%	21%	72%	0%	1%	16%	83%	0%	0%	10%	90%
Mecanhelas (Mecanh.)	100%	0%	0%	0%	52%	10%	12%	27%	67%	12%	9%	12%
Mossuril	100%	0%	0%	0%	27%	36%	23%	14%	64%	27%	7%	2%
Namaacha	39%	15%	13%	33%	11%	25%	25%	38%	25%	24%	20%	31%
Nampula (Namp.)	100%	0%	0%	0%	0%	4%	14%	82%	2%	5%	15%	78%
Pemba	100%	0%	0%	0%	0%	2%	13%	84%	0%	4%	22%	74%
Ponta de Ouro (P. Ouro)	80%	7%	9%	4%	30%	20%	23%	27%	37%	17%	35%	11%
Quelimane	100%	0%	0%	0%	4%	12%	16%	68%	19%	6%	10%	65%
Songo	100%	0%	0%	0%	3%	5%	15%	77%	1%	6%	16%	78%
Tete	100%	0%	0%	0%	3%	8%	18%	72%	9%	6%	17%	68%
Vilanculos (Vilanc.)	21%	18%	21%	39%	4%	11%	26%	59%	14%	20%	29%	38%
Xai-Xai	15%	8%	19%	58%	2%	10%	19%	69%	3%	4%	16%	76%

Figura 5**:** Cobertura de rede 4G em todas províncias
Fonte: INCM, 2023

Comparando a situação moçambicana com outros países, observa-se que países como Brasil e União Europeia adoptam regulamentações específicas para garantir a neutralidade da rede, proibindo práticas de bloqueio e priorização paga. Em contrapartida, Moçambique ainda carece de diretrizes claras, o que pode dificultar a criação de um ambiente digital mais justo e acessível.

Diante desses resultados, torna-se evidente a necessidade de regulamentação que garanta a neutralidade da rede no país. A implementação de políticas públicas que promovam a transparência nas práticas dos ISP's e a ampliação da infraestrutura de telecomunicações são medidas fundamentais para melhorar a qualidade dos serviços e assegurar um acesso mais equitativo à internet para todos os cidadãos.

Impacto da Falta de Neutralidade da Rede na Qualidade dos Serviços

Os resultados das entrevistas com especialistas do sector e dos questionários aplicados aos utilizadores mostram que a falta de neutralidade da rede tem um impacto directo na qualidade dos serviços de internet. Muitos utilizadores relataram que determinados serviços, como redes sociais e aplicativos de streaming, têm desempenho superior a outros, sugerindo uma possível priorização de tráfego pelos ISPs. Essa prática pode gerar um ambiente de desigualdade digital, onde apenas serviços que possuem acordos comerciais com os provedores têm um desempenho adequado (Soares, 2021).

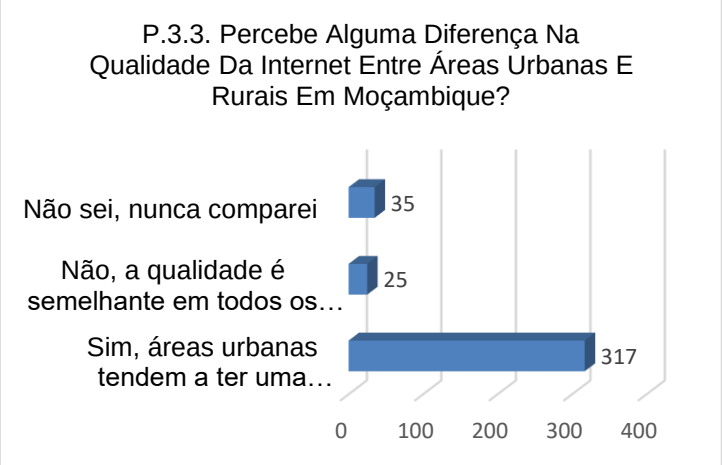


Figura *6*: Qualidade de Serviço em Zonas Urbanas e Rurais
Fonte: Autor, 2024

CONCLUSÕES

Os resultados evidenciam que a falta de regulamentação sobre a neutralidade da rede em Moçambique compromete a qualidade dos serviços de internet e favorece práticas discriminatórias por parte dos ISP's. A disparidade no acesso à internet entre zonas urbanas e rurais destaca a necessidade de investimentos em infraestrutura e políticas públicas para garantir um serviço mais equitativo.

Recomenda-se a implementação de regulamentos claros que assegurem a neutralidade da rede e protejam os direitos dos consumidores. Além disso, a promoção de maior transparência nas práticas dos ISP's e a fiscalização eficaz por parte das entidades reguladoras são medidas essenciais para melhorar a experiência dos utilizadores e garantir um acesso justo e democrático à internet no país.

REFERÊNCIAS

Belli, L. (2017). Community networks: The Internet by the people, for the people. FGV Direito Rio.

BEREC (2020). Net neutrality regulation. European Body of Regulators for Electronic Communications.

FCC (2019). Open Internet Report. Federal Communications Commission.

INCM (2023). Relatório Anual sobre a Qualidade da Internet em Moçambique. Maputo, Moçambique.

Van Schewick, B. (2015). Internet Architecture and Innovation. MIT Press.

Wu, T. (2003). Network Neutrality, Broadband Discrimination. Journal of Telecommunications and High Technology Law.

ITU (2022). Measuring Digital Development: Facts and Figures 2022. International Telecommunication Union.

CGI.br (2021). Relatório sobre a Neutralidade da Rede no Brasil. Comitê Gestor da Internet no Brasil.

Soares, J. (2021). Regulamentação da Neutralidade da Rede. Revista de Tecnologia e Sociedade.

ARTIGO Nº23520

ECONOMIA DOS SABERES: Extensão, Pesquisa, Territórios e Tecnologias Sociais

Carlos Alberto Máximo Pimenta[1], Viviane Guimarães Pereira[2], Adilson da Silva Mello[3], Maria Aparecida da Silva[4]

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Brasil
E-mail: [1] carlosalbertopimenta@gmail.com; [2] prof.adilsonmello@gmail.com;
[3]vivianeguimaraespereira@unifei.edu.br; [4] d2024101960@unifei.edu.br

RESUMO

Este trabalho é resultado de pesquisa no campo da educação tecnologia e CTS, a partir de possibilidades de relacionar cultura e engenharias para fins de geração de renda, em que se toma como partida a economia dos saberes. Objetiva-se apresentar a convergência entre os saberes locais, economia e tecnologias aplicadas ao social, as chamadas tecnologias sociais. Se justifica diante da importância dos saberes locais, enquanto elemento cultural potente e disponível no território, no caso a Serra da Mantiqueira, Sul de Minas Gerais, BR, ignorado nos planejamentos e políticas de desenvolvimento para geração de renda. Trata-se de um ensaio teórico elaborado com os resultados obtidos nos projetos *Inovação e Tecnologias no campo da Economia Criativa: pesquisa e implementação de emprego e geração de renda* e *Unifei e Comunidade: a pós-graduação como força propulsora para ações práticas de inovação comunitária, sustentabilidade e inclusão*. Os desafios estão relacionados à compreensão do conceito de tecnologia com a valorização do conhecimento popular, pelas diversas áreas de atuação das engenharias, para além do modelo hegemônico centrado em busca de avanços industriais ou de exploração de pessoas, natureza, biodiversidade, coisas e lugares.

***Palavras-chave**:* Economia dos Saberes; Tecnologia Social; Desenvolvimento Local; Universidade e Comunidade; Geração de Renda.

AGRADECIMENTOS:

CAPES - PROEXT-PG
UNIFEI – PROGRAMA DE EXTENSÃO UNIVERSITÁRIA

ARTIGO Nº23521

REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DA CAFEICULTURA MEDIADA PELA MANUFATURA ADITIVA: ESTUDO DE CASO

Gabriela Cristina Daniel[1]; Rosinei Batista Ribeiro[1,2,3]; Adilson da Silva Mello[1,4]; Carlos Alberto Pimenta[1,5]; João Eduardo Chagas Sobral[2,6]

[1]Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI)
[2]Universidade da Região de Joinville- UNIVILLE)
[3]Centro Estadual de Educação Paula Souza - CEETEPS
E-mail: [1] d2021101733@unifei.edu.br; [2]rosinei.ribeiro@cpspos.sp.gov.br; [4] prof.adilsonmello@gmail.com; [5]carlosalbertopimenta@gmail.com; [6] sobral41@gmail.com

RESUMO

Este estudo de caráter interdisciplinar abordou a possibilidade de contribuição do artesanato com a palha de café para a construção de ações relacionadas ao desenvolvimento sustentável local. A delimitação geográfica da pesquisa foi o município de Conceição das Pedras, Minas Gerais, uma cidade situada dentro da Indicação Geográfica da Mantiqueira de Minas para a produção de cafés especiais. Neste contexto, o objetivo da presente pesquisa consistiu em mapear as possíveis maneiras de utilização dos resíduos do café na confecção de artefatos artesanais locais utilizando a Teoria Ator-Rede mediada pelo conceito do Design e Território no Município supracitado. A metodologia utilizada foi de abordagem qualitativa, dividida em duas etapas: a primeira constituiu-se de um levantamento bibliográfico em livros, bancos de dissertações e teses de diversas universidades e artigos científicos publicados em periódicos científicos e uma pesquisa em documentos arquivados nas escolas municipais e na Prefeitura Municipal. A segunda etapa compreendeu a aplicação e análise de entrevistas com roteiro semiestruturado com moradores, cafeicultores de Conceição das Pedras e artesãos de Poço Fundo e Três Pontas, Minas Gerais, Brasil, com a finalidade de rastrear o artesanato com resíduos de café na região. O trabalho pôde ser realizado com êxito, a metodologia do artesanato com a palha de café foi replicada e aspectos da identidade cultural local foram incorporados ao protótipo dos artefatos mediado pela impressão 3D. Conclui-se que o trabalho foi de grande relevância para as reflexões acerca do desenvolvimento sustentável pautado nas singularidades de cada território e espera-se que pesquisas futuras possam refinar o presente estudo de maneira que a comunidade possa obter alternativas de geração de renda e trabalho dentro de um modelo artesanal e circular de produção.

***Palavras-chave*:** Palha de café. Design e Território. Artesanato. Desenvolvimento Sustentável. Interdisciplinaridade. Manufatura Aditiva.

ARTIGO Nº23522

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO TÉRMICO NAS PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS EM DISPOSITIVOS MÉDICOS EM PLA IMPRESSOS EM 3D PARA APLICAÇÕES MÉDICAS

Caio Fernando da Silva[1]; Rosinei Batista Ribeiro,[1,2]; Adilson Silva Mello[1,2]; Alexandre Formigoni[2]; Elsa A. Paz Estévez [3]; Ramon Quiza Sardiñas[3]; Marcelino Rivas Santana[3]

[1]Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI; BRASIL
[2]Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETEPS, BRASIL
[3]Universidade de Matanzas – UMCC, CUBA
***E-mail*:** nandosilvapqt@gmail.com; rosinei.ribeiro@cpspos.sp.gov.br; prof.adilsonmello@gmail.com; formigoni@yahoo.com.br; elsitaape@gmail.com; quizadocal@gmail.com; marcerivas2013@gmail.com

RESUMO

O projeto de pesquisa tem como objetivo analisar o tratamento térmico que afeta as propriedades físicas e mecânicas de dispositivos médico produzido a partir de ácido polilático (PLA) e impressos em 3D, aplicados na área de saúde. O PLA é um polímero biodegradável amplamente utilizado na indústria médica devido à sua biocompatibilidade. No entanto, a resistência e a estabilidade dos dispositivos médicos impressos em 3D podem ser significativamente melhoradas pelo tratamento térmico. O estudo emprega uma série de técnicas experimentais para avaliar as propriedades físicas e mecânicas, incluindo testes de tração, análise de microestrutura e caracterização química. A proposta é determinar o efeito ideal dos parâmetros do tratamento térmico para melhorar as propriedades mecânicas dos andaimes de PLA. Os resultados esperados são: desenvolver procedimentos, processos, produtos e relações interdisciplinares de profissionais de diferentes áreas dos conhecimentos, interistitucionalização em distintos centros de pesquisas e universidades, a internacionalização dos projetos por meio da cooperação científicas -3I´s. Exposto isso, destaco a contribuirão para o projeto e a fabricação de estruturas de suporte biomédico mais robustas e confiáveis para uso em aplicações médicas, como engenharia de tecidos ou regeneração de órgãos. Este estudo tem o potencial de impulsionar avanços significativos na tecnologia de biomédicos impressos em 3D, melhorando assim a eficácia e a segurança dos tratamentos médicos que os exigem.

Palavras-chave: PLA (ácido polilático), Impressão 3D, Tratamento Térmico, Propriedades Físico-Mecânicas.

AGRADECIMENTOS:

CAPES – Programa - Demanda Social
UNIFEI – PPG – Desenvolvimento, Tecnologias e Sociedade.

ARTIGO Nº23538

SISTEMA DE CONTROLO DE EMISSÃO DE GASES DE EFEITO DE ESTUFA NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM NAVIOS DURANTE A EXPLORAÇÃO DE RECURSOS ENERGÉTICOS: estudo de caso da baía de Palma (2013-2023)

Sumeila Dinis Cossa[1(*)], Hagira Naide Gelo[1], Lucas Sábado Lima[1]
[1] Escola Superior de Ciências Náuticas (ESCN) - Maputo, Moçambique
[(*)] *Email:* sumeilacossa@gmail.com

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver um sistema de controlo dos Gases com Efeito de Estufa (GEE) emitidos na produção de energia eléctrica em navios, durante a exploração de recursos energéticos na Baía de Palma, em Cabo Delgado, entre 2013 e 2023. A mesma utiliza métodos dedutivos, explicativos, bibliográficos, históricos, documentais e entrevistas, onde foi projectado um sistema composto por Arduino, sensor de CO_2 (capaz de detetar vários GEE), sensor de temperatura, válvula solenóide e um tanque de armazenamento para reter os gases captados. O protótipo foi testado na plataforma virtual Fritzing, demonstrando precisão na leitura e análise dos dados, bem como eficácia na deteção e encaminhamento dos GEE para o armazenamento. Conclui-se que o sistema é eficiente na identificação e retenção dos GEE, contribuindo para a redução das emissões provenientes da produção de energia eléctrica em navios.

***Palavras – Chave**:* GEE, Impacto Ambiental e Energia Eléctrica.

INTRODUÇÃO

A emissão de Gases de Efeito de Estufa (GEE) tem se tornado um dos aspectos de grande destaque e debate a nível global, devido ao aumento de áreas de extracção e exploração de recursos não renováveis. Entretanto esse aumento vem acompanhado do défice do controlo dos GEE que são emitidos no processo de produção de energia eléctrica, onde de acordo com o *ENVI committee* (2020, p. 2), prevê-se que as emissões de GEE aumentem de cerca de 90% das emissões de 2008-2018 para 90-130% das emissões de 2008-2050. Segundo a Organização Marítima Internacional (IMO) (2000, p. 8) e *ENVI committee* (2020, p. 2), o transporte marítimo foi confirmado como um elemento significativo no desenvolvimento de transporte sustentável, as emissões em navios de GEE como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido Nitrogénio(N_2O), aumentaram de 2,76% em 2012 para 2,8% em 2018. A nível nacional, a descoberta de grandes reservas de gás natural liquefeito (LNG) na Bacia do Rovuma, especialmente em Palma, trouxe um novo desafio ambiental, devido ao aumento do tráfego marítimo associado à exploração offshore. De acordo com Impacto, Projectos e Estudos Ambientais e a ERM (2014), o gás natural descoberto em Moçambique está entre as maiores descobertas globais das últimas duas décadas, posicionando Palma como um motor de crescimento económico. Contudo, o crescimento das actividades marítimas de apoio às operações offshore levanta preocupações relativas ao aumento das emissões de Gases com Efeito de Estufa (GEE).

REFERÊNCIAS

- ENVI committee (2020). *Emissões de gases de efeito estufa do transporte marítimo: à espera de progressos concretos ao nível da OMI*. Parlamento Europeu. Consultado em Greenhouse gas emissions from shipping (europa.eu) aos 20 de Junho de 2023.
- Impacto, Projectos e Estudos Ambientais e ERM (2014). *Relatório Final do Estudo de Impacto Ambiental (REIA) para o Projecto de Gás Natural Liquefeito em Cabo Delgado: Relatório Final do EIA.* Fevereiro de 2014. Consultado em mzlng.totalenergies.co.mz/sites/g/files/wompnd2311/f/atoms/files/vol_i-1_0.pdf aos 26 de Junho de 2023.
- MARPOL. (2019). *Annex VI -Prevention of Air Pollution from Ships.*
- Organização Marítima Internacional (2000). *Estudo de Emissões de Gases de Efeito Estufa de navios- Relatório Final para a Organização Marítima Internacional*. Número 2.

Simpósio Nº7: Inovação e Sustentabilidade Ambiental

22190 AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO BIOCHAR PRODUZIDO A PARTIR DA LAMA DA ETAR PARA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS EM UMA SOLUÇÃO MODELO. Leila Jossias; Kleyde Lissa; Larisse Silveira; Shirley Mariano. 1093

23534 APPLICATION OF CASHEW NUT SHELL LIQUID IN DRILLING OPERATIONS. Nelson Chichava; R.V. Sitoe; A.J. Cumbane. 1103

23535 APLICAÇÃO DO CNSL NA PRODUÇÃO DE TINTAS. Fainesse Cugala; Eduardo Mboa; A.J. Cumbane. 1107

23537 APROVEITAMENTO DO ÓLEO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU PARA PRODUÇÃO DE RESINAS BIO-BASEADAS EM MOÇAMBIQUE. Ernesto Eusébio Matavele. 1115

23541 FORMULAÇÃO DE UM LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO À BASE DE LÍQUIDO DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU. Wilson D. S. A. Raimundo; António J. Cumbane. 1125

23545 PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CAJÚ, PERA E CASCA, EM MOÇAMBIQUE. Americo Uaciquete1, Ilidio Bande; Chadreque Nhanengue; Neid Ali Ferreira; Charline de Rouvroy; Jean Baptiste Roelens; Julia Artigos Sancho. 1135

23555 DESENVOLVIMENTO DE AGENTES DE CURA DERIVADOS DO LÍQUIDO DA CASTANHA DE CAJU (CNSL) PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS EPÓXI DE ISOLADORES ELÉCTRICOS. A.S. Chirico Júnior; A. Cumbane; A. Manhique. 1147

23560 TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA PROVENIENTE DOS POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS DA SASOL POR ELECTROCOAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO. M. Jone; A. Cuamba; E. Pondja; M. Eduardo. 1149

ARTIGO Nº22190

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO BIOCHAR PRODUZIDO A PARTIR DA LAMA DA ETAR PARA REMOÇÃO DE METAIS PESADOS EM UMA SOLUÇÃO MODELO

Leila Jossias[1(*)], Kleyde Lissa[1], Larisse Silveira[1], Shirley Mariano[1]

[1]Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia- Maputo, Moçambique
(*) *Email:* pleiladeizy@gmail.com

RESUMO

Este estudo avaliou o potencial do biochar produzido a partir da lama da Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Infulene para a remoção de iões de cobre (Cu^{2+}) em solução aquosa. O biochar foi obtido por pirólise a 600 °C em condições secas e húmidas. Foram analisados os efeitos da massa do biochar, tempo de contacto e velocidade de agitação na eficiência de adsorção. Os resultados mostraram que a amostra de 0,5 g de biochar seco apresentou a maior taxa de remoção de Cu^{2+} (67%) após 10 minutos de agitação a 300 rpm. Também foi avaliada a remoção de corantes, com melhor desempenho observado para 1 g de biochar húmido. Os dados confirmam que o biochar derivado da lama da ETAR é promissor para a remediação de efluentes contendo metais pesados e poluentes orgânicos.

Palavras-chave: biochar, adsorção, cobre, lama de ETAR, metais pesados, remediação ambiental

1. INTRODUÇÃO

Desde a metade do século passado é possível perceber as consequências da revolução industrial, que visa produtividade e crescimento econômico, deixando de lado a qualidade ambiental, uma vez que a contaminação de rios, vazamentos de produtos químicos nocivos, poluição do ar, entre outros estão cada vez mais presentes no dia-a-dia. (Zanelatto, 2021)

O processo de potabilidade da água bruta oriunda de mananciais ocorre normalmente em Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs), gerando um subproduto conhecido como lama e caracterizado como um resíduo sólido. Esta lama acaba por causar problema ambiental devido as grandes quantidades geradas, sendo muitas vezes disposto de maneira inadequada (Morretto, 2021).

O aumento acentuado da população mundial, os requisitos rigorosos para o tratamento de efluentes de esgotos, bem como o aumento do número de agregados familiares ligados aos esgotos levaram a um aumento gradual do volume de lamas de esgoto produzido durante o processo de tratamento de águas residuais. (Agrafioti, Bouras, Kalderis, & Diamadopoulos, 2013)

O destino final dos resíduos produzidos nos sistemas de tratamento de água e esgotos é uma preocupação mundial. As lamas destacam-se por serem o resíduo de maior volume gerado durante os processos de tratamento de efluentes e apresentam características capazes de gerar potencial poluição ambiental se não forem destinados corretamente.

Entre os poluentes mais preocupantes por causa da crescente contaminação ambiental, está o cobre (Cu^{2+}), um metal pesado que, em concentrações elevadas, é tóxico para organismos aquáticos e para o ser humano. Ao mesmo tempo, as Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs) geram grandes quantidades de lama como subproduto, cuja disposição inadequada pode causar impactos ambientais severos.

O reaproveitamento dessa lama por meio da pirólise (processo térmico realizado na ausência de oxigênio) gera um material carbonáceo conhecido como biochar. Esse material tem chamado a atenção por suas propriedades físico-químicas que favorecem a adsorção de poluentes. O biochar pode, assim, actuar como uma alternativa de baixo custo e sustentável para o tratamento de efluentes contaminados.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho do biochar produzido a partir da lama da ETAR de Infulene na remoção do ião Cu^{2+} em solução modelo, analisando variáveis como massa do adsorvente, tempo de contacto e velocidade de agitação. A proposta visa contribuir para o uso sustentável de resíduos e para a mitigação da poluição hídrica.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Colecta e preparação da lama

A lama foi colectada na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de Infulene, em Maputo, especificamente na lagoa anaeróbica, pois ocorre a sedimentação de sólidos, onde depositam-se no fundo da lagoa e formam uma camada de lama. Após a colecta, a lama passou por um processo de secagem na estufa a uma temperatura de 105ºC por um período de 24 horas, e foi triturada.



Figura 1- Descrição da ETAR de Infulene-Fonte: AIAS



Figura 2- Colecta da amostra- Fonte: As autoras, (2024)



Figura 3- Amostras secas- Fonte: As autoras, (2024)



Figura 4- - Amostra triturada- Fonte: As autoras, (2024)

2.2. Estabilização da amostra

Realizou-se uma estabilização química, especificamente a estabilização alcalina, que consiste em adicionar a cal virgem (CaO) na lama até atingir pH 12 ou superior, cujo efeito é a destruição de microrganismos patogênicos, diminuição do odor gerado pela lama e fixação de metais pesados.



Figura 5- Adição de CaO- Fonte: As autoras, (2024)

2.3. Produção do biochar

Colocaram-se as amostras de lama seca e de lama húmida (adicionou-se água até a formação de pequenos moldes na lama seca), na mufla a uma temperatura de 600ºC, sem a presença de oxigênio. Esse processo decompõe o material orgânico na lama, resultando na formação de biochar.

Após o término da pirólise, deixou-se o material resfriar completamente em um ambiente sem oxigênio para evitar a combustão do biochar produzido.

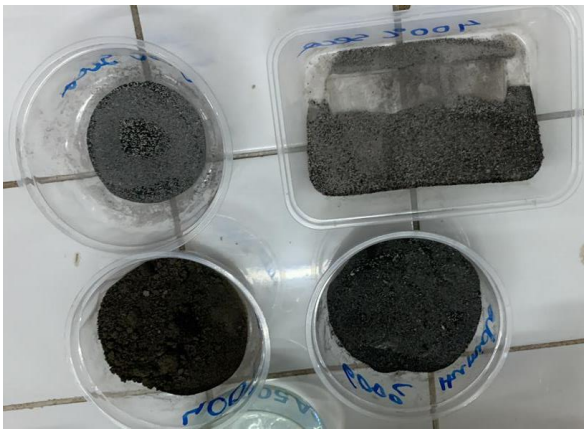


Figura 6- Amostra de lama seca em cima e de lama húmida em baixo- Fonte: As autoras, (2024)

2.4. Preparo da solução de cobre

Foi preparada uma solução-mãe de 500 mg/L dissolvendo 1,965 g de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ em 1 litro de água destilada. A partir dela, foram feitas diluições para obter soluções com concentrações de 10, 20, 30, 40 e 50 mg/L para posterior leitura da absorvância no Espectrofotómetro UV/VIS e traçar a curva de calibração.



Figura 7- Solução padrão- Fonte: As autoras, (2024)



Figura 8- Diluições- Fonte: As autoras, (2024)

2.5. Experimentos de adsorção

Foram realizados ensaios em frascos com 50 mL da solução de Cu^{2+} e diferentes massas de biochar (0,5 g, 1 g e 1,5 g). As amostras foram agitadas em agitador magnético a 300 rpm e 500 rpm, por tempos variados (110 e 30 minutos). Após o contacto, as soluções foram filtradas com filtro de papel para remoção do biochar.

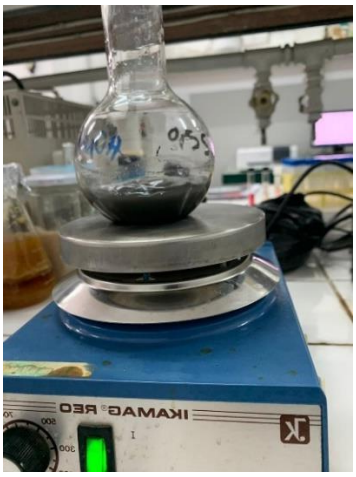


Figura 9- Amostra no agitador magnético-Fonte: As autoras, (2024)



Figura 10- Filtragem- Fonte: As autoras, (2024)

2.6. Análise da concentração de Cu2+

A concentração de Cu^{2+} foi determinada por espectrofotometria UV-Vis, após adição de 2 mL de NH_4OH para formação do complexo azul \[$Cu(NH_3)_4]^{2+}$, que facilita a leitura. A absorbância foi comparada com uma curva de calibração construída com padrões de 10–50 mg/L.

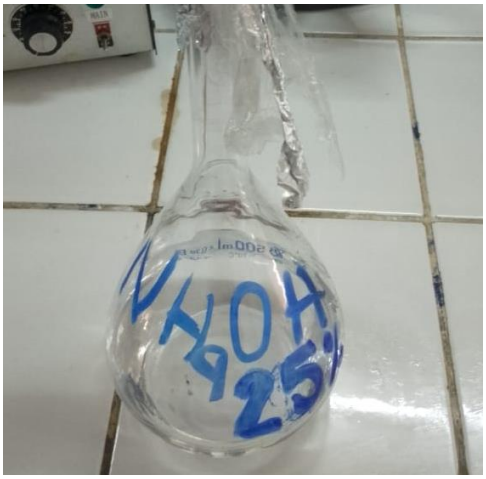


Figura 11- Solução de NH4OH- Fonte: As autoras, (2024).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Curva de Calibração

Para a obtenção da curva e calibração foram feitas as leituras das soluções no espectrofotómetro UV-VIS com um comprimento de onda de 610nm.

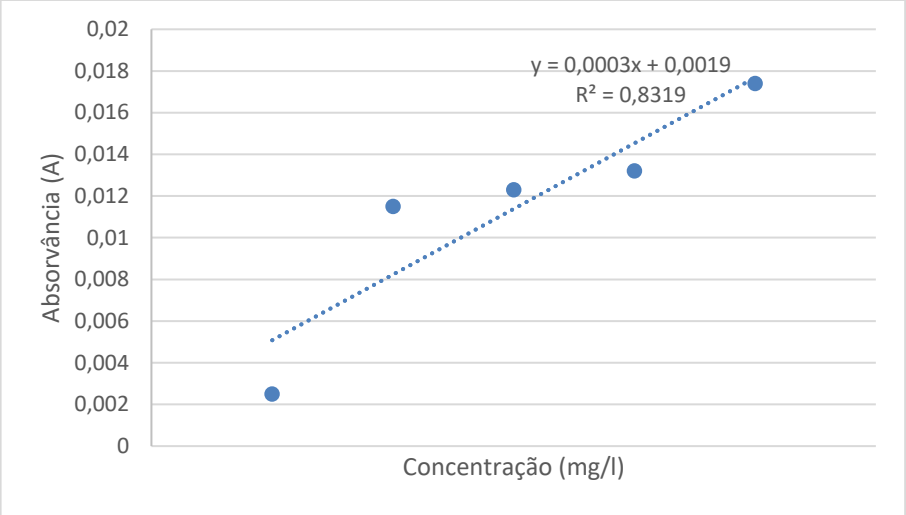


Gráfico 1- Curva de calibração

A curva foi correlacionada pela Absorvância x Concentração do cobre. Obteve-se a equação da reta (y = 0,0003x + 0,0019), onde y= Absorvância e x=Concentração de cobre. O coeficiente de determinação foi R^2= 0,8319, indicando que o modelo de regressão linear ajusta bem aos dados experimentais, pois está próximo de 1, sugerindo que 83,19% da variação na absorbância é explicada pela concentração de cobre.

3.2. Efeito da massa do biochar

Tabela 1- Resultados do teste de massa

Massa (g)	Condições	Concentração (mg/l)	Eficiência (%)
0,5	Húmido	264	47
	Seco	166	67
1	Húmido	227	55
	Seco	231	54

A eficiência de remoção de Cu^{2+} variou com a massa utilizada. A amostra de 0,5 g de biochar seco apresentou a maior eficiência, alcançando 67% de remoção após 10 minutos a 300 rpm. A redução da eficiência com o aumento da massa pode estar associada à sobreposição de partículas, o que limita a exposição dos sítios activos.

3.3. Efeito do tempo de contacto e velocidade de agitação

Tabela 2- Resultados dos testes de tempo de contacto

Tempo (min)	Condições	Concentração (mg/l)	Eficiência (%)
10	Húmido	264	47
	Seco	166	67
30	Húmido	200	60
	Seco	294	41

Verificou-se que com o aumento do tempo de contacto, em condições húmidas, contribui para uma maior capacidade de adsorção de cobre, permitindo mais interações entre o cobre e o biochar, em contrapartida o aumento do tempo, em condições secas, diminui a eficiência de adsorção do cobre, devido a saturação do biochar com o tempo.

3.4. Efeito de velocidade

Tabela 3- Resultado do efeito de velocidade

Velocidade (rpm)	Condições	Concentração (mg/l)	Eficiência (%)
300	Húmido	264	47
	Seco	166	67
500	Húmido	299	40
	Seco	286	43

Verificou-se que com o aumento da velocidade, em condições húmidas e secas, contribui para uma menor eficiência de adsorção de cobre, indicando que a agitação excessiva pode reduzir o contacto efectivo entre o biochar e o cobre.

4. TESTE ADICIONAL DE ADSORÇÃO DE CORANTE

4.1. Procedimento

Para realizar os testes de adsorção de corante foi preparada uma solução padrão de sumo diluído, onde foram colocadas 0,525g do sumo para 210ml de água destilada.
Foram usadas amostras de 0,5g e 1g de biochar húmido e seco, onde cada biochar foi uniformemente distribuído nos erlenmeyers e foram adicionados 50ml da solução de corante concentrada. As amostras foram agitadas por 5min a uma velocidade de 300rpm para garantir maior contacto entre o biochar e posteriormente foram filtradas para possibilitar a análise da eficiência de remoção de corante.

4.2. Resultados

Após o processo de filtração fez-se a verificação da eficiência de adsorção do corante através da comparação da coloração das soluções.



Figura 12- Resultados da remoção do corante- Fonte: As autoras, (2024)

A figura 12 mostra os resultados obtidos da interação entre o biochar e a solução padrão, onde à esquerda temos a solução padrão, posteriormente os resultados de 0.5g de biochar húmido e seco e por último os resultados de 1g de biochar húmido e seco. Comparando os resultados verificou-se que usando 1g de biochar húmido houve melhores resultados, isso pode estar relacionado à presença de mais grupos funcionais e maior porosidade.



Figura 13- Remoção do corante mais eficiente com 1g de biochar húmido- Fonte: As autoras, (2024)

5. CONCLUSÃO

O biochar produzido a partir da lama da ETAR demonstrou ser um adsorvente eficiente na remoção de iões Cu^{2+} em solução modelo, destacando-se a amostra de 0,5 g de biochar seco, que apresentou a maior taxa de remoção 67%. Os resultados também apontam que o tempo de contacto de 10 min é suficiente para atingir uma boa eficiência, o que pode favorecer aplicações práticas de tratamento rápido. O biochar a 600 °C em condição húmida mostrou bom desempenho na remoção de corantes, sugerindo aplicações mais amplas em remediação ambiental. Assim, o estudo reforça o potencial do biochar como solução sustentável para o aproveitamento de resíduos e o tratamento de efluentes contaminados

6. REFERÊNCIAS

Agrafioti, E., Bouras, G., Kalderis, D., & Diamadopoulos, E. (2013). *Biochar production by sewage sludge pyrolysis* . Grécia: ELSEVIER.

Alleoni, L., Camargo, O., & Casagrande, J. (1998). *Isotermas de langmuir e de freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados.*

Andreoli, C. V. (2001). *Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, Inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Sólidos Urbanos.* Rio de Janeiro: PROSAB.

Bezerra, J., Lopes, R., Barros Neto, E., Souza, M., & Nunes, A. (2020). *Remocao de Cobre(II) em solucao aquosa por adsorcao usando carvao ativado produzido a partir do lodo domesticp.*

do Monte, H. M., Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS OPERAÇÕES E PROCESSOS DE TRATAMENTO FÍSICO E QUÍMICO.* Lisboa.

Farias, W. M. (2018). *Biochar de lodo de esgoto como condicionador do solo:efeitos nas propriedades agronomicas,fertilidade do solo e qualidade da materia orgãnica.* Brasilia.

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). *Biochar for environmental management.*

Morretto, D. (2021). *APLICAÇÃO DE LODO DE ETA COMO ADSORVENTE PARA A REMOÇÃO DE CORANTE AZUL DE METILENO.*

Pereira, V. V. (2022). *PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO COM PROPRIEDADES ADSORVENTES PROVENIENTE DE LODO BIOLÓGICO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES INDUSTRIAIS* . Recife.

Zanelatto, S. (2021). *Utilização de lodo de ETA como adsorvente para remoção de p-Nitrofenol.* ERECHIM.

ARTIGO Nº23534

APPLICATION OF CASHEW NUT SHELL LIQUID IN DRILLING OPERATIONS

Nelson Chichava[1(*)], R.V. Sitoe[1], A.J. Cumbane[1,2]
[1]Universidade Eduardo Mondlane
[2]Centro de Excelência em Estudos de Engenharia e Tecnologia de Petróleo e Gás
E-mail: [(*)] n.chichava@gmail.com, [2]ajcumbane@yahoo.co.uk

ABSTRACT

The objective of reported research is to establish a basis for future research on Cashew Nut Shell Liquids CNSL) applicability in drilling operations.
CNSL is a liquid contained inside cashew nut shell. It is extracted from the shell using pressing machines.
The research was conducted by testing CNSL as an additive to drilling fluids and to fracture fluids using water as the continuous phase. The tests were performed in the drilling laboratory at the Engineering Faculty of Eduardo Mondlane University, Maputo- Mozambique.
The tests were performed on 29 pre-defined fluids compositions, measuring the density, viscosity, pH and filtration in dynamic conditions. Filtration is the property that showed most promising results. It was also observed as expected that the filtration rate of the selected drilling fluids reduced as more CNSL was added. Another promising result was that plain CNSL led to a complete cease of filtration when tested through standard filtration paper.
In addition to the promising observations, all results obtained constitute a fundamental basis for future research on CNSL applicability in drilling operations.

Key Words: Drilling fluid, cashew nuts shell, mud additives, filtration, viscosity, density

INTRODUCTION

Raw cashew nut as presented in figure 1, has a shell of about 1/8-inch thickness inside which there is a soft dark reddish brown viscous liquid. This liquid is known as Cashew Nut Shell Liquid (CNSL).

CNSL is extracted from the cashew nut shell by using classical press methods. After extraction and further proceeding through controlled heating, the Technical Cashew Nut Shell Liquid (TCNSL) is obtained. Chemical analysis on the TCNSL have identified the presence of approximately 30% of polymeric material as shown in table 1 (Lucas, Mansur, Spinelli, & Queiros, 2009).



Figure. 1 Cashew Nut Shell

Drilling Fluids (DFs) or Drilling Muds (DMs) are used in the rotary drilling process to, among other functions, remove rock fragments from beneath the drill bit and carry them to the surface, exert sufficient hydrostatic pressure against subsurface formations, and build a thin low permeability wall (mudcake) on permeable parts of borehole. Additives are added to DFs in order to perform these functions *(Adnoy, Cooper, Miska, Mitchel, & Payne, 1986)*.

Table 1. Chemical Composition of CNSL.

Component	Cardanol	Cardol	Polymeric Material	Other Substances
Percentage	52	10	30	8

Fracture fluids are used to hydraulically fracture the formation rock. They are inserted in the wellbore at a rate sufficient to increase the pressure at location of interest in order to overcome the rock fracture gradient. Fracture fluids need to exhibit sufficient viscosity at high temperatures for carrying proppant into the formations newly created fractures. Yegin, Temizel, Sari, Jia and Alkhih (2017), stated that the main working mechanism is that the initial viscosity of the injected fluid is kept at moderately high values to easily transport the proppant and easily inject the fluid, and then decreased when the solution reaches a position near fractures for settling of proppants.

Polymeric materials play an important role in DFs and in fracture fluids. CNSL contains polymeric materials and is available in Mozambique. The national gas reservoir in Rovuma Basin and in other areas along the Mozambican coast, has led to an interest in investigating potential applications of CNSL in drilling operations.

MATERIALS AND METHODS

29 defined drilling fluids compositions were grouped according to the similarity of their parameters. This procedure allowed direct comparison of the results for each DF group. Afterwards the best DF composition were regrouped to form a major group from which the best DF was selected for the entire research.

Table 2: Composition of DF 2 and the six best candidates for filtration testing

	DF2	DF10	DF13	DF20	DF23	DF26	DF29
DF volume (ml)	500	500	500	500	500	500	500
Water volume (ml)	0	479.15	475.30	479.15	479.15	475.30	475.30
Bentonite weight (g)	0	20.00	30.00	20	20	30.00	30.00
Bentonite Volume (ml)	0	7.69	11.54	7.69	7.69	11.54	11.54
NaCl (ppb)	0	-	-	2.50	4.00	2.50	4.00
NaCl (g/500 ml)	0	-	-	3.57	5.71	3.57	5.71
NaOH (g)	0	-	-	-	-	-	-
CNSL weight (g)	475	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50	12.50
CNSL Volume (ml)	500	13.16	13.16	13.16	13.16	13.16	13.16

For the filtration test the best DFs observed in all groups were DF10, DF13, DF20, DF23, DF26 and DF29.

DF2 was selected for use as additive to fracture fluids testing it's viscosity at elevated temperatures. The equipment used were mud balance, rotational viscometer, filter press and standard pH paper.

RESULTS

Two graphs were plotted, one for the filtration behavior (figure 2) and other for viscosity behavior at high temperatures (figure 3).

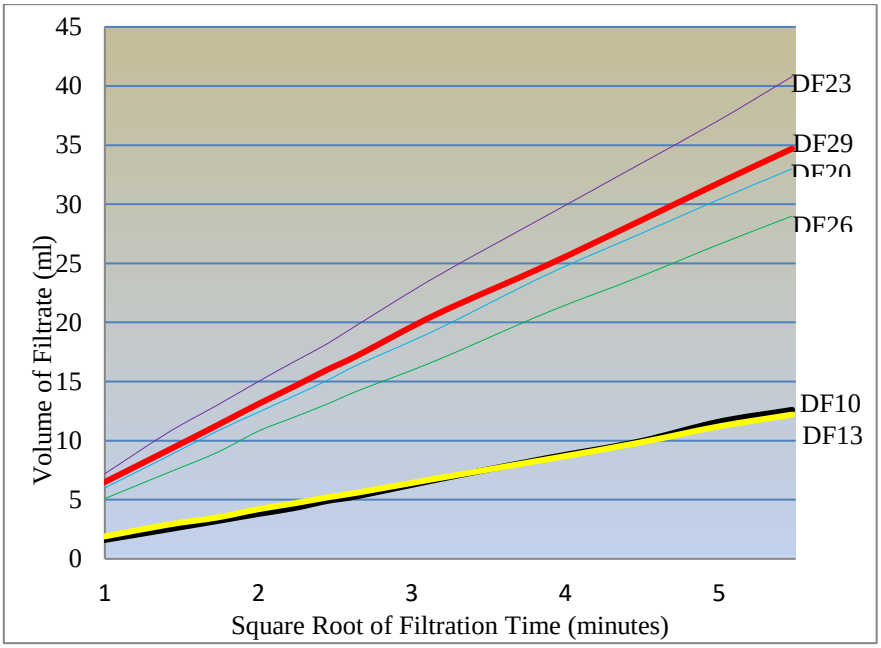


Figure 2: Filtration curves of six selected compositions.

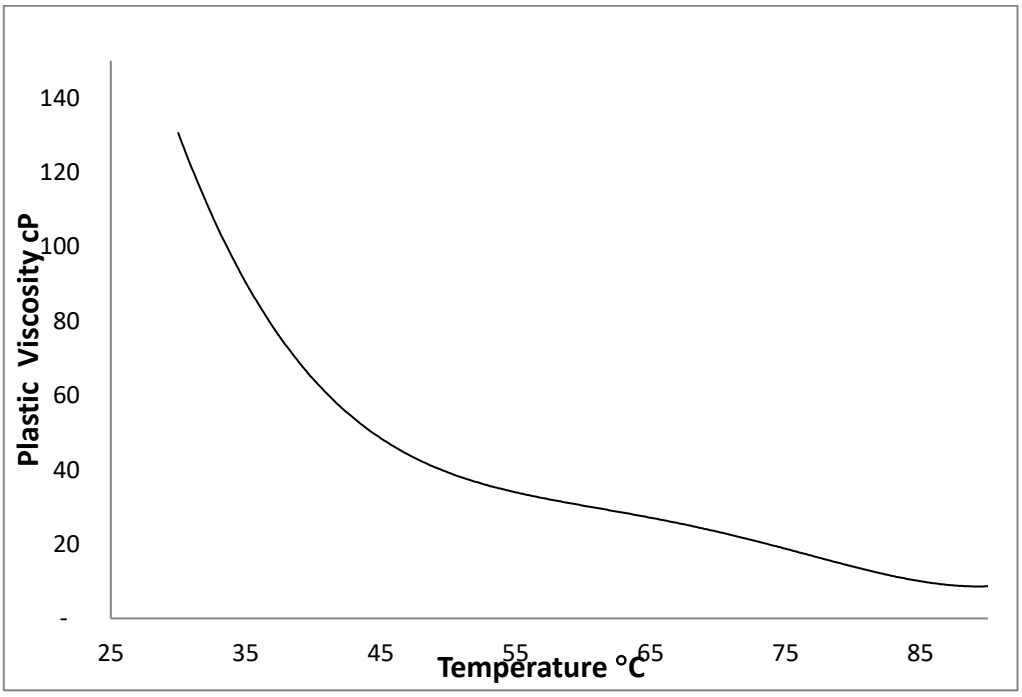


Fig 3: Thermo-cup Rheology Graph. Average Trend for DF2.

DISCUSSION

DF2, plain CNSL, showed no filtration during the observed standard time of 30 minutes.
The filtration curves of the six selected DFs showed that DF13 gave lowest filtration rate and thinnest mudcake. Among all DFs, DF13 contains the highest quantity portion of the used clay (bentonite) and highest volume portion of CNSL and contains no salt.

It can be taken that, the higher the CNSL, less the filtration. This statement meets the behaviour of fluid DF2 (plain CNSL) which showed no filtration through the standard filtration paper.

CONCLUSIONS

The zero filtration of plain CNSL during the standard filtration time and considering it's high viscosity led to consider it as a material for drilling operations with no mudcake build up effects.

Test of CNSL as DF additive

The observed fact of filtration reduction with addition of CNSL leaded to aim CNSL as filtration additive for DFs.

Test of CNSL as fracture fluid additive

The viscosity of CNSL at high temperature leaded to aim CNSL to be used in fracture operations.

NOMENCLATURE

CNSL	Cashew Nut Shell Liquid
TCNSL	Technical Cashew Nut Shell Liquid
DF	Drilling Fluid
DFs	Drilling Fluids
NaCL	Sodium Chloride
NaOH	Sodium Hydroxide
pH	Potential of Hydrogen

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank the institutions and people who contributed for the success of this research. These people include Dr Rui Vasco Sitoe, professor at Eduardo Mondlane University, Engineering Faculty who carried out all assistance from the beginning and Dr Pål Skale, professor at Norwegian University of Science and Technology. I thank the Mozambican National Institute of Cashew for its effort in providing the CNSL.
I would like to thank those whose names may not have been mentioned, so please, accept my sincere gratitude for your contributions.

REFERENCES

Aadnoy, B. S., Cooper, I., Miska, S. Z., Mitchel, R. F., & Payne, M. L. (1986). Advanced Drilling and Well Tecnology.

Lucas, E. F., Mansur, C. R., Spinelli, L., & Queiros, Y. G. (2009). Polymer science applied to petroleum production. Pure Applied Chemistry, 81(3), 473-494. doi:10.1351/PAC-CON-08-07-21

Yegin, 1. C., Temizel, C., Yegin, Y., Sari, M. M., Jia, B., & Alkhih, M. Y. (2017). pH Responsive Supramolecular Gelling Agents Used in EOR and Their Potential as Fracking Fluids.

ARTIGO Nº23535

PRODUÇÃO DE TINTA DE ÓLEO USANDO O ÓLEO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJÚ

[1] **Eduardo Mboa;** [2] **Fainesse Cugala;** [3]**António Cumbane**

[1] Engenheiro Químico, Universidade Eduardo Mondlane
[2] Esudante finalista do curso de Engenharia Química, Universidade Eduardo Mondlane
[3] Prof Departamento de Engenharia Quimica, UEM
Universidade Eduardo Mondlane/ Faculdade de Engenharia-Maputo, Moçambique
Email: mboaebm@gmail.com; fainessecugala5@gmail.com; ajcumbane@yahoo.co.uk.

RESUMO

Este estudo investiga a produção de tintas utilizando resina de óleo de casca de castanha de caju (CNSL), abrangendo desde a caracterização físico-química do CNSL até a formulação e produção das tintas. O CNSL foi caracterizado quanto à densidade, viscosidade e gravidade específica, utilizando métodos padronizados como viscosímetro de Redwood e titulação para determinação do índice de acidez.

Os resultados mostraram que o CNSL refinado possui uma densidade de 938,84 Kg/m³ e uma viscosidade de 1,42 cm²/s, enquanto o CNSL bruto apresentou uma densidade ligeiramente maior de 999,37 Kg/m³ e uma viscosidade de 3,43 cm²/s. Ambas as amostras têm gravidade específica próxima à da água, indicando uma densidade similar ao líquido comum.

Além disso, o índice de acidez das amostras foi determinado como 40,261 mg NaOH/g para o CNSL refinado e 71,0193 mg NaOH/g para o CNSL bruto, valores que, apesar de altos, diminuíram significativamente após o processo de refinamento. Esses resultados fornecem detalhes sobre as propriedades físicas e químicas do CNSL, essenciais para ajustes na formulação das tintas visando melhorar a qualidade e desempenho do produto final.

Quanto a viscosidade, os resultados obtidos mostraram uma viscosidade média de 64 KU, uma massa volúmica média de 1,150 g/cm³ e um tempo de secagem médio de 143,3 horas. A viscosidade ficou abaixo da faixa ideal para aplicação, enquanto o tempo de secagem foi superior ao recomendável.

Recomenda-se para a necessidade de ajustes em pré tratamento da resina e em produto de secantes, como forma de melhorar a qualidade da tinta produzida.

***Palavras-chave*:** Produção de tintas, Resina de óleo de casca de castanha de caju, Formulação de tintas, Viscosidade de tintas, Tempo de secagem de tinta

1. INTRODUÇÃO

Tem-se registado nos últimos anos um aumento significativo da preocupação pela sustentabilidade ambiental e a transição para uma economia verde. A indústria química, incluindo o setor de produção de tintas, tem procurado também alternativas mais seguras para o homem, económicas, e ambientalmente responsáveis. Neste contexto o CNSL surge com grande potencial para a produção de tintas ecológicas.

O CNSL é um subproduto obtido durante o processamento da castanha de caju (Anacardium occidentale L.), planta muito cultivada em Moçambique e outros países tropicais como Brasil

e Índia. Durante o processamento, a casca é geralmente descartada como resíduo, embora contenha entre 20 a 30% do óleo, que é um líquido viscoso e escuro, rico em ácido anacárdico, cardol e cardanol.

A valorização do CNSL apresenta uma oportunidade não só para a substituição de materiais sintéticos derivados do petróleo, mas também para o aproveitamento de resíduos agro-industriais locais. Em Moçambique onde a produção de caju é significativa, o aproveitamento do CNSL pode impulsionar o desenvolvimento de produtos com valor acrescentado, desta forma promover a geração de emprego, o desenvolvimento comunitário e o reforço da economia circular.

Estudos mostram que o CNSL possui propriedades adequadas para diversas aplicações industriais, o que inclui produção de tintas. Estas tintas além de serem mais amigas do ambiente, apresentam boa resistência a humidade e forte aderência a diferentes superfícies. A substituição total ou parcial das resinas petroquímicas pelo CNSL permite também a redução da emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs), o que contribui para a melhoria da qualidade do ar e da saúde pública.

Desta forma, o trabalho tem como objetivo principal avaliar a viabilidade da utilização do líquido ca casca da castanha de caju na formulação de tintas. A pesquisa inclui a caracterização físico-química do CNSL, a elaboração da fórmula laboratorial e a análise do desempenho da tinta obtida. Com esta abordagem, espera-se contribuir para o desenvolvimento de soluções tecnológicas sustentáveis e acessíveis à realidade moçambicana.

Em Moçambique, durante a temporada de caju de 2022-2023, entre os 16 membros da AICAJU, 12 fábricas declararam estar a funcionar. A capacidade média anual de processamento de castanha é entre 5.000 e 6.000 toneladas de RCN por fábrica, com as mais movimentadas a funcionar a 10.000 toneladas e as mais pequenas a processar apenas 70 toneladas/ano. No total, produzem cerca de 41.000 toneladas de casca por ano. Tabela 1 abaixo apresenta os volumes de cascas atualmente gerados e o potencial máximo de subprodutos se todas as cascas fossem submetidas a processamento adicional.

Tabela 1. Distribuição dos resíduos da casca de caju e potencial máximo de subprodutos em Moçambique, temporada2022-2023

Potencial máximo de subprodutos *[Toneladas métricas por ano]*	Unidades de processamento	Capacidade total de processamento RCN	Casca gerada	Potencial torta	Potencial CNSL	Potencial Carvão vegetal da torta
Total de fábricas ativas 2022-2023	12	65 070	40 994	31 884	9 110	6 377
na província de Nampula	9	50 070	31 544	24 534	7 010	4 907
em Gaza	1	6 000	3 780	2 940	840	588
outras províncias	2	9 000	5 670	4 410	1 260	882

Tabela 1. Distribuição dos resíduos da casca de caju e potencial máximo de subprodutos em Moçambique, temporada 2022-2023

A maioria das fábricas de transformação incorre em custos de gestão de resíduos, uma vez que as cascas de caju não são comercializadas de forma alguma. Elas precisam então de ser evacuadas e a maioria é queimada perto da fábrica ou numa área próxima. Este custo pode variar entre 1 e 5 USD/t de RCN processada, dependendo do facto de a fábrica poder queimar facilmente as cascas dentro da sua área ou de ser necessário transportá-las para outro local, pagando a um prestador de serviços ou empregando os seus recursos humanos e materiais para mover as cascas.



Figura 1. Localização das fábricas de processamento de caju em Moçambique

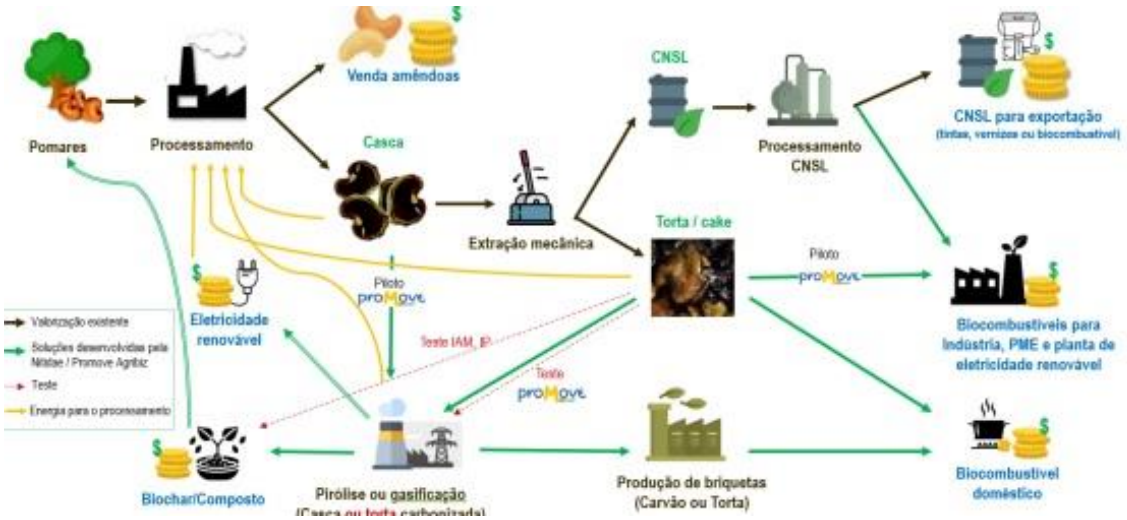


Figura 2. Potenciais caminhos para o uso da casca da castanha
Fonte: Instituto de Amêndoas de Moçambique, 2023

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais utilizados

O CNSL usado neste trabalho foi-nos previamente fornecido pelo professor orientador da pesquisa, oriundo de fontes locais, em Moçambique. O material foi devidamente armazenado em recipientes fechados e mantido a temperatura ambiente para garantir a estabilidade.

Outros materiais usados na formulação da tinta foram:

- Disperbyk-2055 (aditivo);
- White spirit (solvente);
- Metiletilcetoxima (MEKO) (aditivo);
- Carbonato de cálcio (carga);
- Secantes metálicos;
- Vidraria e utensílios laboratoriais.

2.2. Caracterização do CNSL

Embora o CNSL tenha sido fornecido já extraído, realizou-se uma análise físico-química básica para garantir a sua adequação à formulação da tinta. Os parâmetros avaliados foram:

- Viscosidade, usando o viscosímetro de Redwood;
- Densidade a 25ºC, usando o viscosímetro de Redwood;
- Índice de acidez, com titulação ácido-base (método de NaOH).
- Aspecto visual, avaliação da cor, cheiro e impurezas visíveis.

2.3. Formulação da tinta

A formulação foi desenvolvida com base em proporções adaptadas de estudos prévios, utilizando o CNSL como resina. A composição utilizada foi:

- 50% CNSL;
- 0.5% Dysperbyk-2055;
- 8% white spirit;
- 30% carbonato de cálcio;
- 0.5% MEKO;
- 10% secantes;

Os componentes foram medidos com balança analítica e homogenizados por agitador mecânico por 20 minutos com aquecimento de até 50ºC. A tinta foi armazenada em recipientes de vidro fechados para repouso por 24 horas antes da aplicação.

2.4. Aplicação e ensaios da tinta

A tinta foi aplicada sobre as placas cerâmicas previamente limpas. Após a limpeza foram realizados os seguintes ensaios:

- Tempo de secagem;
- Densidade;
- Viscosidade;
- Aderência;

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do CNSL

O CNSL fornecido apresentou uma coloração casatnha escura e odor caractrerístico fenólico, sem presença de impurezas visíveis. Os valores obtidos nos ensaios estao apresentados na tabela 1.

Tabela 4. Resultados da caracterização do CNSL

Parâmetro	Valor obtido	Observações
Viscosidade cinemática	3,431cm^2/s	Boa fluidez, favorece o espalhamento da tinta
Densidade	999,367Kg/m^3	Valor dentro da faixa esperada
Gravidade específica	1,007	Próxima da água, adequada para formulações estáveis
Índice de acidez	71,0193mgNaOH/g amostra	Valor elevado, presença significativa de ácidos livres

Fonte: Dados experimentais obtidos pelos autores (2025).

Estes valores estão em conformidade com os dados encontrados na literatura para CNSL técnico, o que indica que o óleo possui propriedades adequadas para uso em formulação de tintas.

3.2. Avaliação da tinta formulada

Após a homogenização e repouso da tinta, esta apresentou boa fluidez e cobertura uniforme durante a aplicação. A película formada apresentou aspecto visual homogéneo, sem formação de bolhas ou falhas visíveis após a aplicação. A viscosidade e densidade adequadas da tinta contribuiu para uma distribuição unifirme sobre a superfície, sem escorrimentos.

O tempo total de secagem foi de aproximadamente 123,3 horas, o que é considerado elevado em comparação com tintas comerciais. Este resultado está possivelmente associado à ausência de aditivos aceleradores de secagem e ao elevado índice de acidez do CNSL, que pode retardar reações de polimerização da resina.

Apesar do longo tempo de secagem, o filme formado apresenta boa aderência a superfície, estabilidade e com brilho moderado, características importantes a ser consideradas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A investigação realizada permitiu verificar que o CNSL possui características promissoras para a produção de tintas de base natural. A tinta formulada demonstrou bom desempenho em parâmetros essenciais, mesmo com a limitação observada quanto ao tempo de secagem prolongado.

Estes resultados reforçam o potencial do CNSL como alternativa ecológica e economicamente viável aos derivados de petróleo que são amplamente usados nesta indústria.

Para Moçambique que é um país onde a castanha de caju é um recurso abundante, esta abordagem contribui para a valorização de resíduos agrícolas e para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis adaptadas a realidade local.

5. REFERÊNCIAS

- NASCIMENTO, R. F. et al. Utilização do líquido da casca da castanha de caju na formulação de tintas. *Revista Brasileira de Engenharia Química,* v. 34, n. 2, 2020
- ARAÚJO, P. R. et al. Aplicações industriais do CNSL: uma revisão. *Ciência e Tecnologia de Materiais,* v. 34, n. 2, 2020.

- ABNT NBR 12142: Tintas – Determinação do tempo de secagem.
- **INSTITUTO DE AMÊNDOAS DE MOÇAMBIQUE (IAM).** *Apoio à competitividade e à sustentabilidade do processamento do caju através da valorização energética dos subprodutos da casca de cajuem Moçambique: apresentação dos resultados do estudo.* Maputo, 21 de Novembro de 2023.
- Agyemang, M., Zhu, Q., & Tian, Y. (2016). Analysis of opportunities for greenhouse emission reduction in the global supply chains of cashew industry in West Africa. Journal of Cleaner Production 115 , 149 - 161.
- Antonio, L., & Griffith, G. (2017). The Cashew Value Chain in Mozambique: Analysis of Performance and Suggestions for Improvement. Int. J. Food System Dynamics 8 (1),, 208-221.



Figura 3. Imagem ilustrando óleo de castanha de cajú, misturada com outros componentes.



Figura 4. MEKO

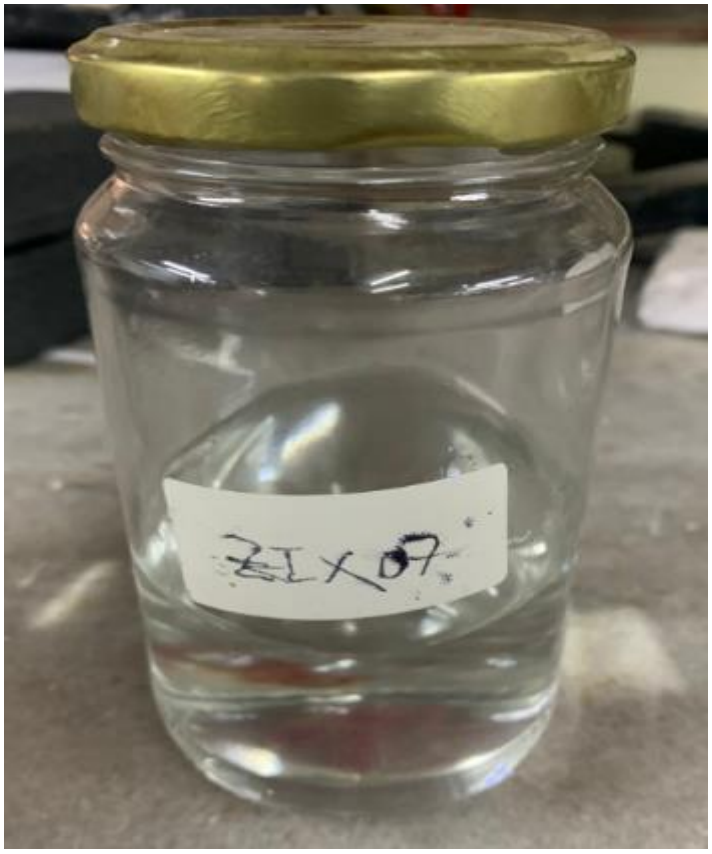


Figura 5. Secante

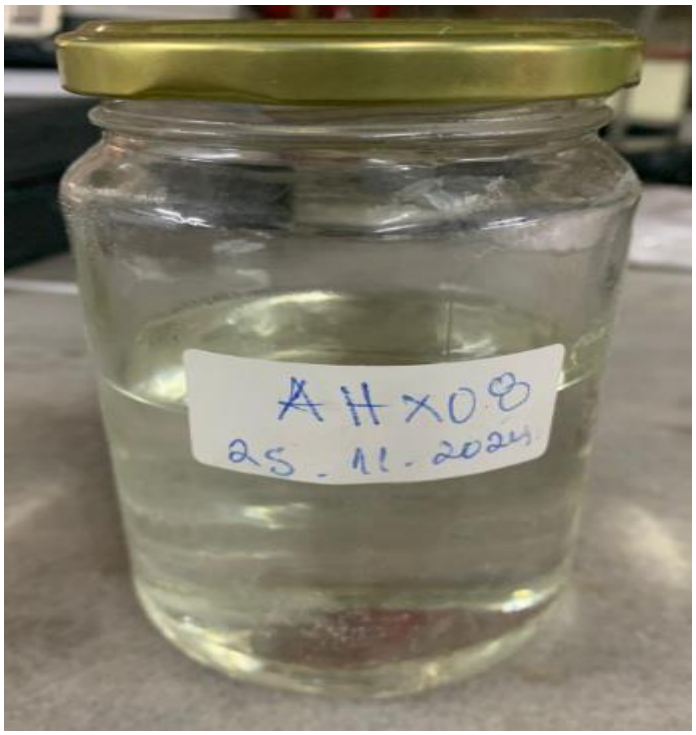


Figura 6. Amónia

ARTIGO Nº23537

APROVEITAMENTO DO ÓLEO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU PARA PRODUÇÃO DE RESINAS BIO-BASEADAS EM MOÇAMBIQUE

Ernesto Eusébio Matavele
Universidade Eduardo Mondlane
E-mail: ernestomatavel4@gmail.com

RESUMO

A crescente demanda por soluções sustentáveis e economicamente viáveis na indústria de polímeros motiva a investigação sobre fontes alternativas e renováveis de matérias-primas. A castanha de caju (Anacardium occidentale L.) é uma das principais culturas de rendimento de Moçambique, sendo cultivada amplamente nas províncias de Nampula, Cabo Delgado, Gaza e Inhambane. Segundo o Instituto Nacional do Caju (INCAJU), a produção nacional anual ultrapassa 140 mil toneladas (INCAJU, 2023), gerando grandes quantidades de resíduos agroindustriais, principalmente a casca, que contém o líquido da casca da castanha de caju (CNSL ou LCC). Este líquido é rico em compostos fenólicos, especialmente cardanol e cardol, altamente reativos e promissores na produção de materiais poliméricos. Este trabalho propõe o aproveitamento sustentável do óleo do CNLC, como matéria-prima para a síntese de resinas bio-baseadas, substituindo derivados petroquímicos usados em tintas, adesivos e vernizes. A valorização deste resíduo representa uma solução inovadora alinhada aos princípios de economia circular, mitigação de emissões de carbono e fortalecimento das cadeias produtivas locais. A proposta técnica envolve a extração térmica do CNSL em temperaturas entre 180 ºC e 210 ºC, seguida da purificação do cardanol. O processo subsequente prevê sua modificação química com epicloridrina, originando monómeros reativos usados na formulação de resinas epóxi. As formulações visam manter desempenho compatível com as resinas à base de bisfenol-A, com vantagens ambientais e toxicidade reduzida. Estudos anteriores apontam a viabilidade dessa via, com elevado teor cardanol e propriedades desejáveis para aplicação industrial.

***Palavras-chave*:** Resinas bio-baseadas; Líquido da casca da castanha de caju (LCC); Sustentabilidade, Economia circular; Moçambique; Cardanol; Polímeros naturais; Valorização de resíduos; Indústria de oleaginosas; Inovação ambiental.

1. INTRODUÇÃO

Moçambique é historicamente um dos maiores produtores de castanha de caju. Durante o período colonial, o país chegou a ser responsável por 90% da produção mundial. Esta imposição à monocultura teve impactos negativos, como a substituição de cultivos alimentares e a exploração da mão-de-obra. Contudo, a infraestrutura estabelecida e o conhecimento técnico acumulado constituem hoje uma vantagem estratégica para revitalizar o sector (Afonso, 2020).

Na era pós-colonial, com a independência e os conflitos subsequentes, a produção decaiu drasticamente. Nos anos 2000, o Instituto Nacional de Caju (INCAJU) implementou estratégias de revitalização, resultando em um crescimento sustentado da produção. Em 2020, Moçambique produziu cerca de 160 mil toneladas de castanha, tornando-se o quarto maior produtor africano, atrás de Nigéria, Costa do Marfim e Guiné-Bissau (FAO, 2021).

A produção está concentrada nas províncias de Nampula (43%), Cabo Delgado (14%), Zambézia (12%) e Gaza (9%), com quantidades menores em Sofala, Inhambane, Niassa,

Manica, Maputo, Tete e Maputo Cidade. Estima-se que a casca represente cerca de 25-30% da castanha, gerando mais de 40 mil toneladas anuais de resíduos agroindustriais ricos em LCC, composto essencialmente por cardanol, cardol e anacardol.

O óleo da casca da castanha de caju (CNSL - Cashew Nut Shell Liquid), extraído por métodos térmicos ou solventes, é reconhecido como uma fonte renovável de fenóis substitutos de compostos petroquímicos como o bisfenol-A (BPA), frequentemente associado a efeitos tóxicos. O cardanol, um dos principais constituintes do LCC, apresenta excelente reatividade química, estabilidade térmica e baixa toxicidade, sendo uma alternativa verde promissora para formulação de resinas epóxi e fenólicas (Sharmin et al., 2021).

Além do potencial químico, o projecto insere-se no contexto da transição energética, promovendo inovação sustentável, inclusão social e geração de renda em zonas rurais.

2. OBJECTIVOS

2.1. Objectivo Geral:

Desenvolver resinas bio-baseadas a partir do óleo da casca da castanha de caju como alternativa sustentável às resinas derivadas do petróleo.

2.2. Objectivos Específicos:

- Implementar a extração térmica do CNSL.
- Realizar reações de epoxidação e cura do cardanol.
- Comparar propriedades mecânicas e ambientais com resinas petroquímicas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Moçambique tem uma longa tradição na cultura da castanha de caju. Durante a era colonial, chegou a responder por até 90% da produção mundial (Afonso, 2020). Apoiado em plantações forçadas e políticas de exploração. Com a independência, a guerra civil provocou a decadência do sector. A partir dos anos 2000, o país iniciou sua recuperação, com políticas públicas lideradas pelo INCAJU (Figura 1 e Figura 2). Em 2020, Moçambique produziu aproximadamente 160 mil toneladas de castanha, tornando-se o 4.º maior produtor em África, atrás de Nigéria, Costa do Marfim e Guiné-Bissau (FAO, 2021).



Figure 1: Unidade de processamento da castanha de caju, Nampula

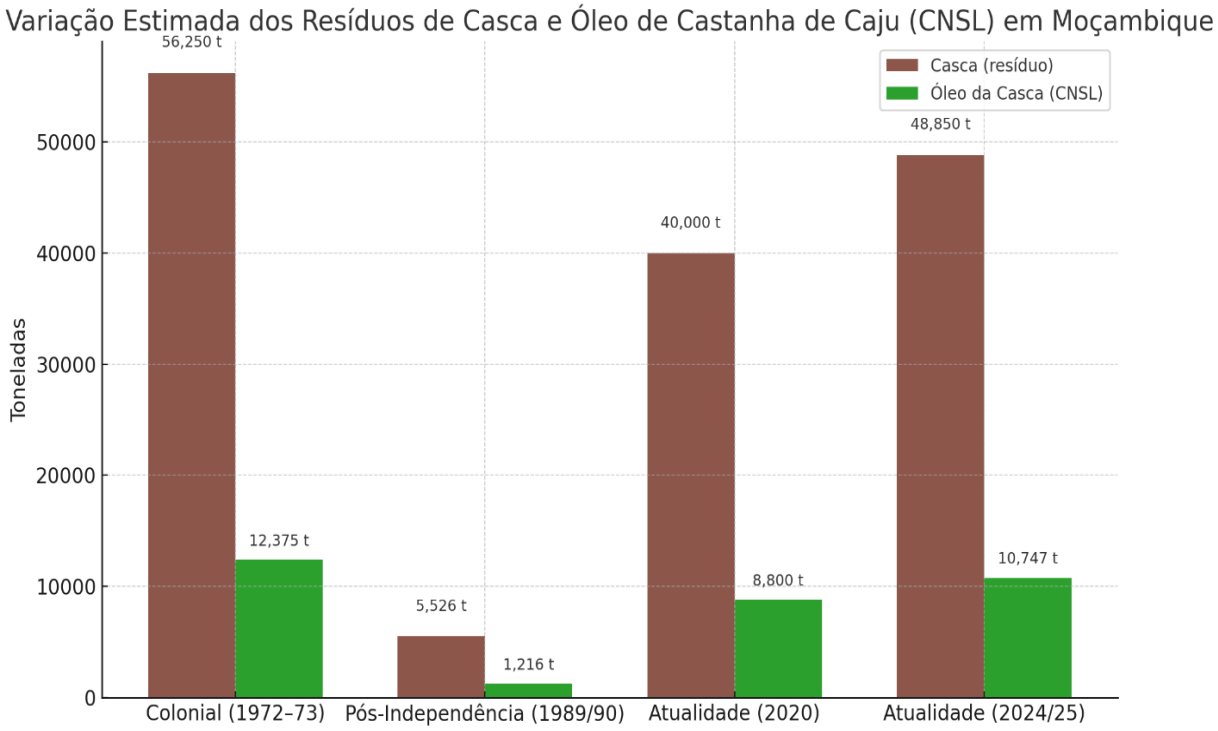


Figure 2: Variação estimada dos resíduos casca de castanha de caju e do CNSL

A produção concentra-se principalmente em Nampula (43%), Cabo Delgado (14%), Zambézia (12%) e Gaza (9%), seguidas por Inhambane, Sofala, Manica, Tete, Niassa e Maputo, (Figura 3 e Figura 4). A casca representa cerca de 25–30% da castanha, resultando em mais de 40 mil toneladas de resíduos por ano com elevado teor de CNSL (20–30%). Estima-se que Nampula e Cabo Delgado, por si só, gerem mais de 25 mil toneladas anuais de resíduos de casca.



Figura 3: Mapa de Moçambique,

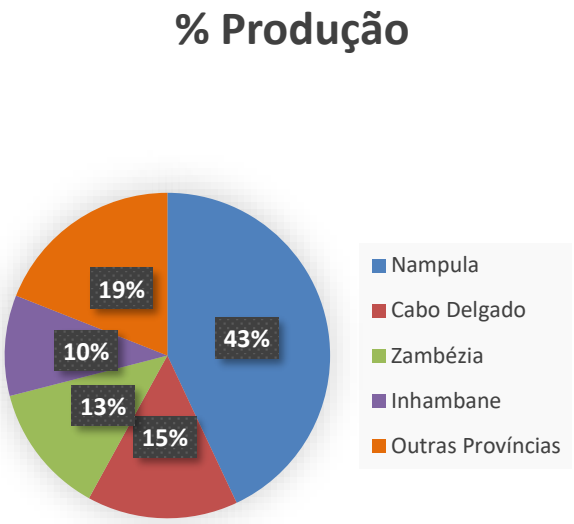


Figura 4: Maiores produtores de Castanha de caju

3.1. O cajueiro, Anacardium occidentale L

O cajueiro, Anacardium occidentale L. (Figura 5), é uma árvore frutífera da família Anacardiaceae, possui uma aparência exótica, com troncos tortuosos, folhas glabras e fruto reniforme. Seu pedúnculo superdesenvolvido é muito apreciado devido sua polpa e é frequentemente confundido com o fruto (castanha), quando na verdade se trata do pseudofruto, cientificamente denominado de pedúnculo floral, com coloração variante entre o amarelo e o vermelho (Mazzetto, 2009)



Figura 5: *Anacardium occidentale* L. (cajueiro) destacando alguns aspectos morfológicos das partes aéreas (adaptado de www.mast.br).

O fruto do cajueiro, popularmente conhecido como castanha de caju, é repleto de um líquido escuro, quase preto, cáustico e inflamável, que se encontra no mesocarpo alveolar (Figura 6), o qual recebe o nome de líquido da casca da castanha do caju (CNSL). Na parte mais interna da castanha está localizada a amêndoa, constituída de dois cotilédones carnosos e oleosos, que compõem a parte comestível do fruto, revestida por uma película em tons avermelhados (Mazzetto, 2009).

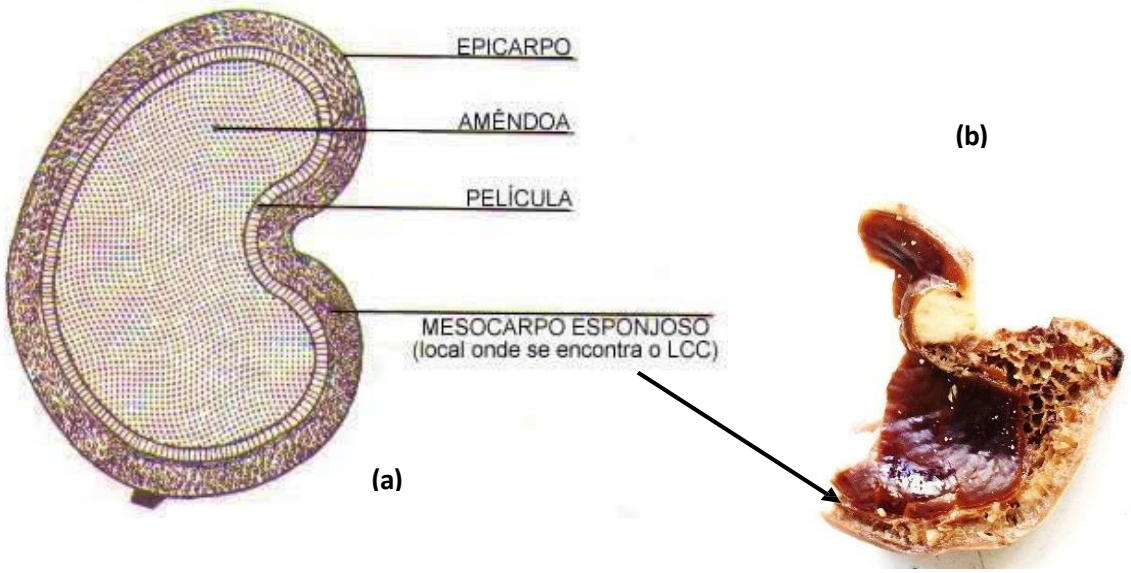


Figura 6: Representação da castanha de caju. (a) Divisão anatômica da castanha. (b) Expansão do mesocarpo esponjoso (adaptado de http://www.mecol.com.br/).

3.2. O líquido da casca da castanha do caju (CNSL)

O CNSL representa aproximadamente 25% do peso da castanha[6] e é considerado um subproduto de agronegócio do caju, com pouco valor agregado. Do ponto de vista químico, é uma fonte natural de compostos fenólicos de cadeia longa e insaturada, sendo considerado uma das fontes mais ricas de lipídeos fenólicos não-isoprenoides[5].

O CNSL é classificado em dois tipos, o CNSL natural e o CNSL técnico (Figura 7), esta classificação se deve ao modo de extração do líquido da castanha de caju.[5] O LCC técnico (produzido na indústria por descarboxilção térmica) contém principalmente cardanol (75-85%), cardol (15-20%) e traços de metilcardol. O extraído por solvente, o LCC natural, contém ácido anacárdico (60-65%), cardol (15-20%), cardanol (10%), e traços de metilcardol. [4]

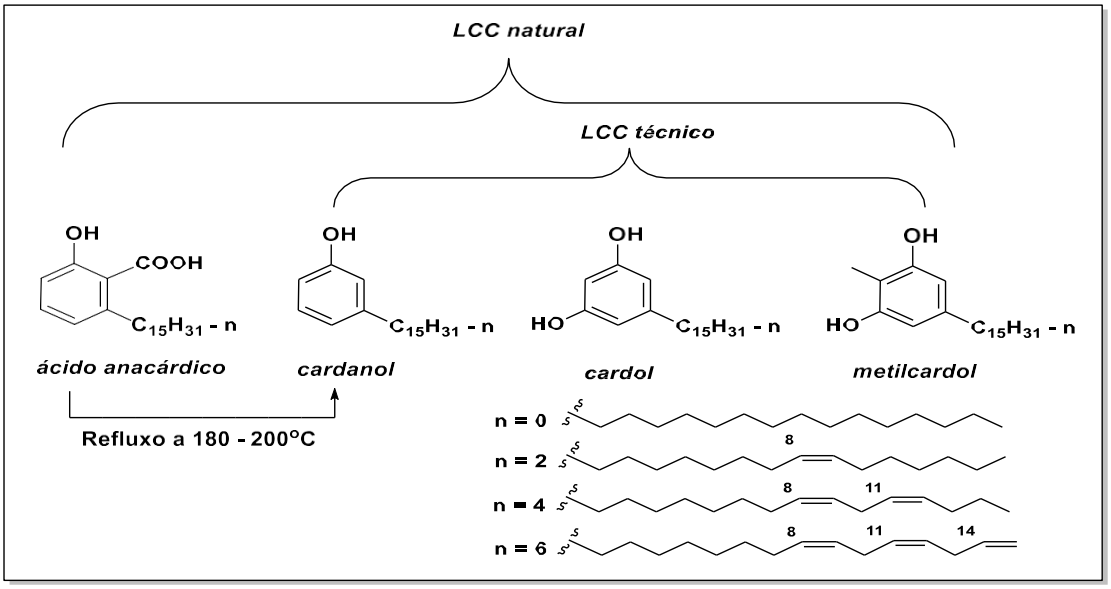


Figura 7: Lipídeos fenólicos constituintes do LCC natural e LCC técnico.

3.2.1. Composição do CNSL e potencial industrial

O CNSL é um óleo fenólico composto principalmente por:

- Cardanol (60–70%): monofenol com uma cadeia lateral insaturada;
- Cardol (15–20%): difenol com propriedades antioxidantes;
- Anacardol (5–10%): com propriedades bactericidas e antifúngicas;
- Traços de ácido anacárdico.

A produção de resinas bio-baseadas a partir do óleo da casca da castanha de caju (LCC – Líquido da Casca de Castanha de Caju, ou CNSL em inglês: Cashew Nut Shell Liquid) é uma estratégia sustentável e promissora no combate à dependência de derivados de petróleo na indústria química. Este projeto está inserido no escopo da economia circular, química verde e transição energética sustentável, convergindo com políticas climáticas e industriais modernas. Ao explorar esta matéria-prima renovável, Moçambique pode transformar um resíduo agrícola abundante em um recurso industrial de alto valor agregado.

O cardanol é considerado o componente mais importante do CNSL na formulação de resinas bio-baseadas., dado a sua aplicabilidade industrial. Estruturalmente é um composto monofenólico com longa cadeia alifática (saturada e insaturada). A fração insaturada é uma mistura de compostos com uma, duas ou três insaturações não conjugadas, de configu ração *Z*, que se localizam nos carbonos 8, 11 e 14. Quando submetido a uma reação de hidrogenação, tem-se o cardanol hidrogenado (3- PDP). Este e outros derivados (Figura 8) tem aplicabilidade em diversas situações, tais como: aditivos antioxidantes, lubrificantes, polímeros e borrachas, extrator de metais, aditivos de lubricidade, retardantes de c hama, além de apresentar acentuada atividade bactericida, fu ngicida e antitumoral.

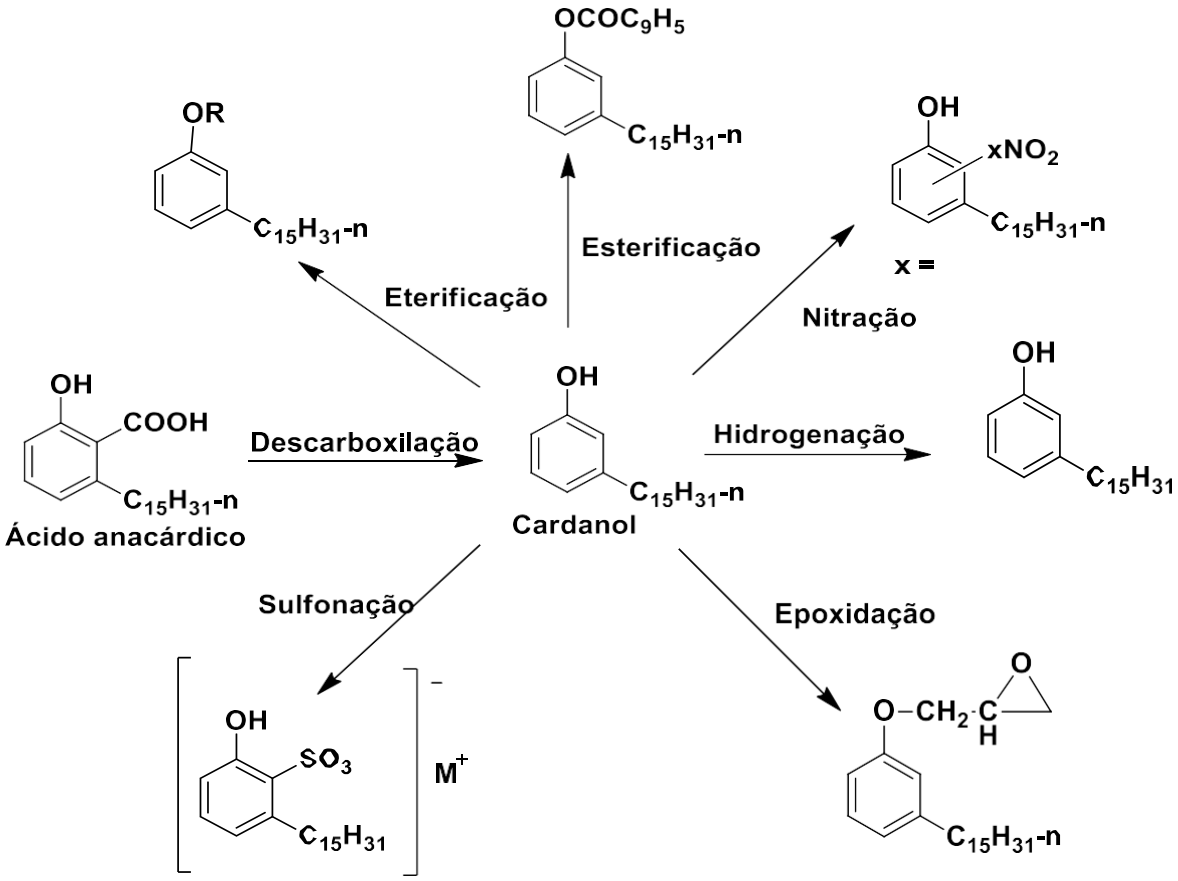


Figura 8: Transformações industriais do cardanol. (Adaptado de http://www.lcbuffalo.com/cardanol/).[7]

3.3. Substituição do BPA e contexto ambiental

As resinas epóxi convencionais derivadas do petróleo utilizam o Bisfenol A (BPA), uma substância com preocupações ambientais e toxicológicas. O BPA é classificado como desregulador endócrino, associado a riscos de câncer e infertilidade. A substituição do BPA por monômeros de origem natural como o cardanol vem sendo fortemente incentivada por agências ambientais (EPA, 2020).

3.4. Processos técnicos envolvidos na obtenção das resinas

O desenvolvimento de resinas bio-baseadas a partir de CNSL envolve (Figura 9):

- Extração térmica do CNSL: método tradicional e economicamente viável, com rendimento de até 35% em cardanol.

- Purificação do óleo: remoção de impurezas e separação do cardanol via destilação fracionada ou extração com solventes verdes.
- Epoxidação: reação com epicloridrina para formação de oligômeros epoxídicos.
- Cura: com agentes como trietilenotetramina, ácido cítrico ou anidridos, dependendo da aplicação final.

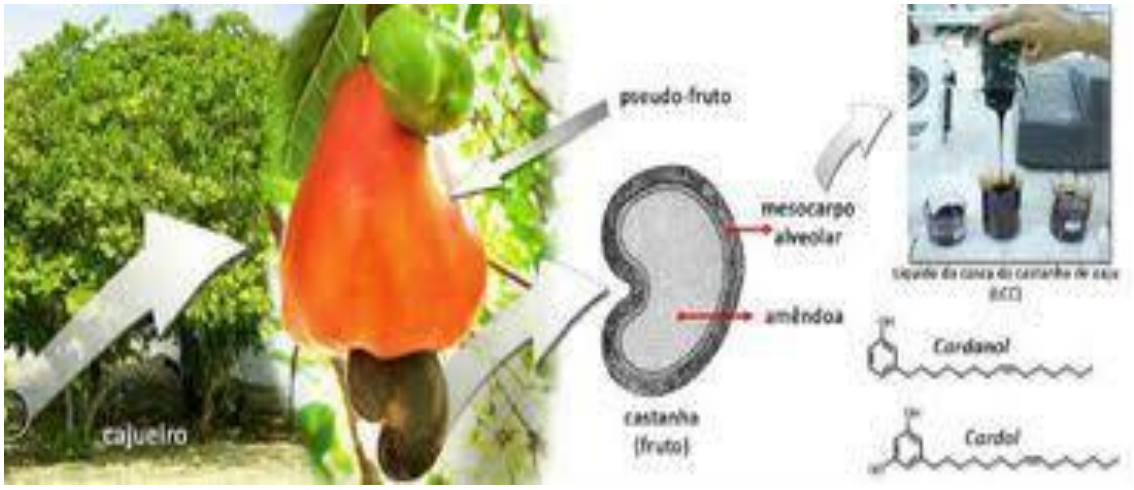


Figura 9: obtenção do CNSL

3.5. Propriedades das resinas de cardanol vs resinas BPA

Estudos demonstram que resinas epóxi baseadas em cardanol podem apresentar propriedades competitivas com as derivadas de BPA:

- Temperatura de transição vítrea (Tg): 90–130 °C;
- Resistência à tração: acima de 35 MPa;
- Resistência ao impacto e à abrasão: superior em formulações com reforço de fibras naturais;
- Pegada de carbono: até 60% inferior (Sharmin et al., 2021).

3.6.Aplicações industriais e exemplos internacionais

As resinas de cardanol têm sido utilizadas em diversos setores (Figura 10):

- Tinta e vernizes ecológicos;
- Adesivos para madeira;
- Matrizes para compósitos;
- Encapsulamento de eletrônicos.



Figura 10: Aplicação das resinas

Exemplo bem-sucedido: A empresa indiana Gresol lançou, em 2021, uma linha de vernizes industriais à base de cardanol, com desempenho semelhante aos produtos sintéticos e preço competitivo (Gresol Industries, 2022). No Brasil, estudos da Embrapa demonstraram a viabilidade de substituição parcial de BPA em revestimentos anticorrosivos, com bons resultados de durabilidade.

3.7. Contexto moçambicano e potencial replicação

Moçambique, além de ter matéria-prima em abundância, possui jovens profissionais em formação e uma agenda de inovação verde. A valorização do LCC pode gerar:

- Novos empregos em zonas rurais;
- Menor dependência de importações petroquímicas;
- Promoção de polos de biotecnologia e incubadoras industriais regionais;
- Inserção em cadeias de valor globais de materiais sustentáveis

4. METODOLOGIA

4.1. Matéria-Prima: Casca da Castanha de Caju (CCC)

A CCC será colectada em indústrias de processamento localizadas em Nampula e Cabo Delgado. Após a colecta, será seca ao sol e moída para facilitar a extração do CNSL. A caracterização físico-química será realizada para determinar o teor de umidade, teor de óleo e composição fenólica.

4.2. Procedimento Experimental

4.2.1. Extração térmica do óleo:

- Temperatura: 180–210 °C;
- Tempo: 2–3 horas;
- Produto: óleo escuro rico em cardanol.

4.2.2. Purificação do LCC:

- Decantação e filtração;
- Lavagem com etanol e acetona;
- Secagem a vácuo.

4.2.3. Síntese de resina epóxi:

- Reagente: epicloridrina (1:2 molar com cardanol);
- Condições: agitação magnética a 60–80 °C por 4h;
- Produto intermediário: resina epoxidada.

4.2.4. Cura da resina:

- Agente: poliamina ou ácido anídrido;
- Moldagem: placas de 10 x 10 cm;
- Cura térmica em estufa: 80–120 °C.

5. RESULTADOS ESPERADOS

5.1. Ensaios Técnicos de Caracterização

- FTIR (ASTM E1252): Confirma presença de grupos epóxi e fenólicos.
- DSC (ASTM D3418): Determina a temperatura de transição vítrea a Tg. Espera-se Tg entre 70–140 °C para resinas com boa aplicação térmica.
- TGA (ASTM D3850): Avalia a estabilidade térmica e a decomposição. Espera-se perda de massa <10% até 250 °C.
- Dureza Shore D (ASTM D2240): Resistência mecânica superficial. Valor esperado: 75–90 Shore D.
- Teste de impacto Charpy (ISO 179): Resistência ao choque. Energia de impacto comparável à de resinas comerciais (> 2.0 kJ/m²).
- Flexão e tração (ASTM D790 e D638): Propriedades mecânicas estruturais. Módulo de flexão: 2–3 GPa; resistência à tração: > 35 MPa.

6. VANTAGENS

- Menor toxicidade ambiental e ocupacional;
- Matéria-prima renovável e disponível localmente;
- Redução da pegada de carbono estimada em até 50% comparada a resinas derivadas de BPA (Mazzetto et al., 2009).
- Essa substituição reduz significativamente as emissões: resinas de cardanol têm pegada de carbono 2,8 kg CO2/kg vs. 6,1 kg CO2/kg para BPA (Sharmin et al., 2021).

7. CONCLUSÃO

A valorização do óleo da casca da castanha de caju (CNSL) para a produção de resinas bio-baseadas representa uma oportunidade estratégica para Moçambique alinhar desenvolvimento industrial com sustentabilidade ambiental. Com um histórico robusto na cultura do caju e uma produção atual em expansão, o país dispõe de uma vasta disponibilidade de resíduos agroindustriais que podem ser aproveitados com tecnologias acessíveis. O cardanol, principal componente do CNSL, tem demonstrado desempenho técnico comparável às resinas petroquímicas, com a vantagem adicional de menor toxicidade e menor pegada de carbono. A implementação deste projeto pode gerar emprego, promover inovação e reduzir a dependência de derivados fósseis, reforçando o papel de Moçambique como líder regional em soluções sustentáveis baseadas em biomassa local.

Além dos benefícios ambientais e industriais, este projecto possui uma forte componente social. A inclusão de comunidades rurais na cadeia produtiva, especialmente jovens e mulheres,

contribuirá para a dinamização econômica das zonas produtoras de caju, como Nampula e Cabo Delgado. O estímulo à economia circular e à biotecnologia local poderá ainda impulsionar parcerias público-privadas e atrair investimentos verdes, alinhando-se com as metas nacionais de transição energética e desenvolvimento sustentável. Portanto, a proposta aqui apresentada é não apenas tecnicamente viável, mas também socialmente transformadora e ambientalmente necessária.

BIBLIOGRAFIA

Referências Bibliográficas

1. Lomonaco, D., Mazzetto, S. E., (2009). Óleo da castanha de caju: oportunidades e desafios no contexto do desenvolvimento e sustentabilidade industrial; *Quim. Nova,* Vol. 32, No. 3, 732-741.
2. Nunes, G. A. (2014) Utilização do ácido anacárdico e do cardanol como substratos para a reação de metátese e preparação de xantonas e tioxantonas. Dissertação de Mestrado Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.
3. Sharmin, Osmari, M. P., Matos, L. F., Salab, B. L., Diaz, T. G., Giotto, F. M. (2021), Líquido da casca da castanha de caju: características e aplicabilidades na produção animal; *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*. Vol. 9, No 3, pp 143-149.
4. Gandhi, T. S., Dholakiya, B. Z, Patel, M. R., Extration protocol for isolation of CNSL by using protic and aprotic solvents from cashew nut and study of their physic-chemical parameter, *Pol. J. Chem. Tech.*, Vol. 15, No. 4, pp 24-27, 2013.
5. Paramashivappa, R., Phani Kumar, P., Vithayathil, P.J., Srinivasa Rao, A., Novel method for isolation of major phenolic constituents from cashew (*Anacardium occidentale L.)* nut shell liquid. *J. Agric. Food Chem.*, Vol 49, No 5, pp 2548 – 2551,
6. EPA – United States Environmental Protection Agency. (2020). *Toxicological review of Bisphenol A (BPA): Support of summary information on the Integrated Risk Information System (IRIS)*. U.S. Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/iris
7. FAO. (2021). Cashew Production in Africa.
8. INCAJU. (2022). Relatório Estatístico Anual. Maputo.

Sites Consultados

http://www.mast.br/multimidias/botanica/frontend_html/artigos/index-id=235.html (acesso em 04 de Julho de 2025).
http://www.mecol.com.br/portugues/informacajuebrasil.htm (acesso em 03 de Julho de 2025).
http://www.lcbuffalo.com/cardanol/ (acesso em 02 de Julho de 2025).
https://www.incaju.gov.mz (acesso em 02 de Julho de 2025).
https://www.fao.org (acesso em 02 de Julho de 2025)
https://www.researchgate.net (acesso em 18 de Junho de 2025).
https://www.mdpi.com (acesso em 18 de Junho de 2025).
https://www.sciencedirect.com (acesso em 15 de Julho de 2025).

ARTIGO Nº23541

FORMULAÇÃO DE UM LUBRIFICANTE AUTOMOTIVO À BASE DE LÍQUIDO DA CASCA DE CASTANHA DE CAJU

Wilson D. S. A. Raimundo[1]; António J. Cumbane[2]

[1]Faculdade de Engenharia (UEM) – Departamento de Engenharia Química – Maputo – Cidade de Maputo
[2]Faculdade de Engenharia (UEM) – Departamento de Engenharia Química – Maputo – Cidade de Maputo
E-mail: [1] wilsonaraimundo@gmail.com; [2] ajcumbane@yahoo.co.uk

RESUMO

A necessidade de lubrificação para a redução de atrito nas diferentes máquinas, com destaque os automóveis, é fundamental no dia-a-dia. Por muito tempo, óleos lubrificantes à base de produtos petrolíferos vêm a ser usados, mas devido às exigências ambientais torna-se crucial usar biolubrificantes, pois estes além de proporcionarem excelente lubrificação são menos nocivos ao ambiente. Neste estudo, propõe-se a aplicação do líquido da casca de castanha de caju como óleo base (CNSL) para a formulação de um lubrificante automotivo. Para efeito, determinou-se, para três lubrificantes (óleos de motor) e duas amostras de CNSL (natural e técnico), as principais propriedades dos óleos lubrificantes (densidade à 15ºC, viscosidade cinemática à 40 e 100ºC, índice de viscosidade, ponto de fluidez e ponto de inflamação) de acordo com padrões ASTM e fez-se a análise comparativa a fim de melhor inferir sobre as propriedades de lubrificação e a necessidade de aditivação. O CNSL natural apresentou densidade de 0,9615 g/cm^3, viscosidade cinemática de 71,7 cSt à 40ºC e 8,7 cSt à 100ºC, índice de viscosidade (VI) de 90,2 e ponto de fluidez de - 21ºC, o que permitiu concluir que possui boas propriedades, mas devido à baixa viscosidade cinemática quando comparada com a dos lubrificantes analisados não era adequado para uma formulação de um óleo de motor para automóveis. Contudo, com um estudo mais exaustivo é provável que se obtenha uma formulação à base de CNSL natural. Também se constatou que é possível obter formulações de óleo de motor para motorizadas e óleo de sistemas de transmissão para automóveis a partir de CNSL natural. Importa referir que devido a um inconveniente ocorrido durante o ensaio de ponto de inflamação, não foi possível determinar os pontos de inflamação de ambas amostras de CNSL. Quanto ao CNSL técnico, este apresentou densidade de 0,9786 g/cm^3, viscosidade cinemática de 141,7 cSt à 40ºC e 12,9 cSt à 100ºC, VI de 79,4 e ponto de fluidez de - 30ºC. Isto permitiu concluir que o CNSL técnico possui propriedades mais apropriadas para a formulação, chegando a ser muito próximas das propriedades dos lubrificantes analisados. Entretanto, o índice de viscosidade verificou-se intermédio, por isso propôs-se a incorporação de melhoradores de índice de viscosidade com vista a torná-lo alto para produzir-se um lubrificante de maior qualidade. Para completar a formulação propôs-se a incorporação de aditivos antidesgaste e antiespuma.

Palavras-chave: lubrificação, biolubrificante, ambiente, líquido da casca de castanha de caju.

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização, o transporte de materiais impôs desafios significativos, especialmente no que diz respeito à minimização do atrito entre superfícies em movimento. A invenção da roda representou um marco tecnológico fundamental, ao reduzir o atrito e permitir

o desenvolvimento de sistemas de transporte sobre superfícies sólidas, como os veículos automóveis. No entanto, o desempenho e a durabilidade desses sistemas sempre dependeram da mitigação do atrito e do desgaste entre os componentes móveis. Durante a Revolução Industrial, tornou-se evidente a necessidade da lubrificação eficiente das superfícies em contacto, consolidando os lubrificantes como elementos essenciais em sistemas mecânicos (GHOSH *et al*., 2013).

Lubrificantes são substâncias aplicadas entre superfícies móveis com o propósito de reduzir o atrito, limitar o desgaste, controlar a temperatura de operação e proteger componentes mecânicos (MEIRA, 2021). Entre os diversos tipos existentes — sólidos, líquidos e gasosos — os óleos lubrificantes líquidos são os mais amplamente utilizados. Estes são normalmente compostos por uma mistura de óleo base e aditivos, que conferem propriedades específicas ao produto final (PIRRO e WESSOL, 2001). Tradicionalmente, os óleos base utilizados são derivados do petróleo. No entanto, diante das crescentes exigências ambientais, a busca por alternativas renováveis e biodegradáveis tem impulsionado o uso de óleos vegetais como matéria-prima na formulação de lubrificantes.

Neste contexto, destaca-se o líquido da casca da castanha de caju (Cashew Nut Shell Liquid – CNSL), um subproduto agroindustrial obtido do mesocarpo da casca da castanha. O CNSL é uma mistura viscosa de lipídios fenólicos, com propriedades físico-químicas que o tornam potencialmente útil em diversas aplicações industriais. Além de ser um recurso renovável e de baixo custo, o CNSL apresenta características como biodegradabilidade, efeito anticorrosivo e boa capacidade de lubrificação (Ike et al., 2021).

Considerando o crescimento da produção de castanha de caju em países africanos, como Moçambique — um dos maiores produtores do continente — e a necessidade crescente de substituição de lubrificantes derivados do petróleo por alternativas sustentáveis, este trabalho propõe-se a desenvolver uma formulação de óleo lubrificante automotivo à base de CNSL. Para isso, serão avaliadas as propriedades físico-químicas do CNSL e comparadas com as de lubrificantes convencionais, de modo a identificar potenciais lacunas e propor melhorias por meio da aditivação apropriada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material usado neste estudo incluiu uma amostra de CNSLnatural (obtido por extracção a frio) proveniente da Indo Caju, uma amostra de CNSL técnico (obtido por extracção a quente) proveniente da CN Caju, e três lubrificantes localmente encontrados – Petromoc SAE 15W-40 e 20W-50 e Castrol SAE 40. Para estas amostras, determinou-se a densidade à 15°C, a viscosidade cinemática à 40 e 100°C, o índice de viscosidade (VI), o ponto de inflamação e o ponto de fluidez, segundo padrões ASTM.

2.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

2.1.1. Densidade

A determinação da densidade das amostras seguiu o padrão ASTM D1298, segundo o qual utiliza-se um hidrómetro para determinar a densidade à temperatura ambiente, e com auxílio de tabelas de conversão determina-se a densidade à 15 °C.



Figura 14: Determinação da densidade

2.1.2. Viscosidade cinemática

A viscosidade cinemática foi medida de acordo com o padrão ASTM D445. Mediu--se o tempo necessário para cada amostra fluir (à 40 e 100°C) através de um capilar de vidro, e então calculou-se a viscosidade pelo produto do tempo com a constante relativa ao capilar.



Figura 15: Determinação da viscosidade

2.3. Índice de viscosidade

O índice de viscosidade permite avaliar a variação da viscosidade com a temperatura. Sua determinação baseou-se no padrão ASTM D2270 que utiliza as equações (1), para VI < 100 e (2), para VI > 100:

$$\mathrm{VI} = \frac{\mathrm{L} - \mathrm{U}}{\mathrm{L} - \mathrm{H}} \cdot 100 \qquad (1)$$

$$\mathrm{VI} = \frac{\mathrm{antilog}\mathrm{N} - 1}{0{,}00715} + 100 \qquad (2)$$

Com:

$$\mathrm{N} = \frac{\log\mathrm{H} - \log\mathrm{U}}{\log\mathrm{Y}}$$

Onde:

VI é o índice de viscosidade;

U é viscosidade cinemática do óleo em estudo à 40ºC;

L é viscosidade cinemática do óleo de maior índice de viscosidade à 40ºC;

H é viscosidade cinemática do óleo de menor índice de viscosidade à 40ºC;

Y é a viscosidade cinemática do óleo em estudo à 100ºC.

2.4. Ponto de inflamação

Mediu-se o ponto de inflamação de cada amostra através do padrão ASTM D93. Um copo contendo a amostra foi colocado no equipamento, e conforme a temperatura aumentava, aproximava-se uma chama em intervalos regulares de 2°C para testar se o vapor produziria um lamparejo momentâneo. A temperatura a que se observou o lamparejo foi registada como ponto de inflamação.



Figura 16: Determinação do ponto de inflamação

2.5. Ponto de fluidez

Este ensaio fez-se com recurso ao medidor de ponto de fluidez, segundo o padrão de teste ASTM D97. Um copo contendo uma amostra foi colocado no equipamento, e conforme a temperatura decrescia, testava-se a fluidez da amostra. A temperatura em que a amostra não se escoava mais foi registada como ponto de fluidez.



Figura 17: Determinação do ponto de fluidez

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Densidade

Seguindo o procedimento ASTM D1298, obteve-se os dados da figura a seguir.

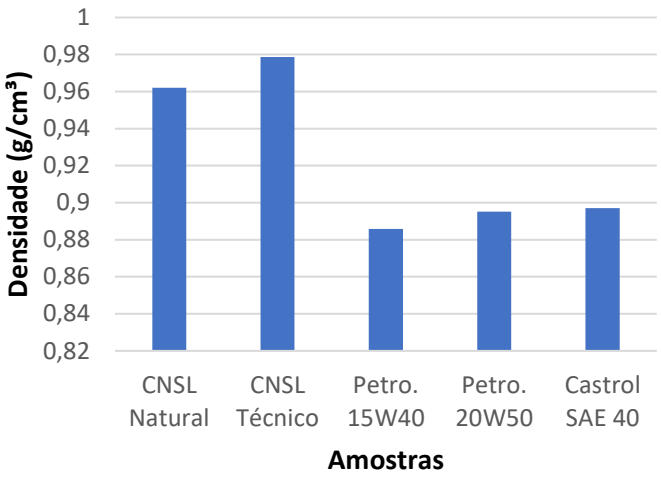


Figura 18: Densidades à 15°C

Como o gráfico na figura 5 ilustra, as amostras de CNSL apresentam massas específicas superiores às dos lubrificantes comerciais, facto que pode implicar num maior consumo de potência para fazer fluir o lubrificante pelo motor.

3.2. Viscosidade Cinemática

Pelo procedimento descrito em 2.2, obtiveram-se as viscosidades cinemáticas à 40 e 100°C, conforme ilustrado nas figuras 6 e 7.

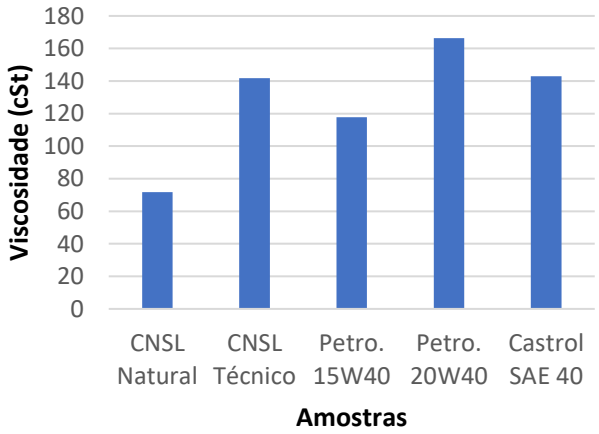


Figura 19: Viscosidades cinemáticas à 40°C

De acordo com a figura 6, o CNSL técnico apresenta viscosidade à 40°C na mesma faixa que a dos lubrificantes comerciais analisados, mas a do CNSL natural não; deste modo, o CNSL técnico é mais apropriado para o fim proposto, não precisando de aditivação.

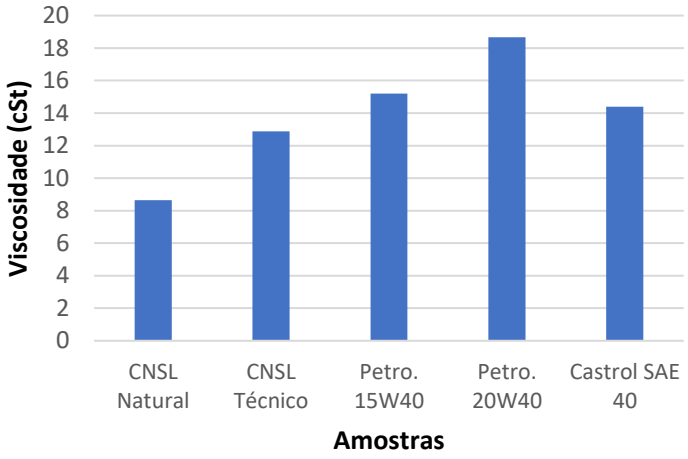


Figura 20: Viscosidades cinemáticas à 100°C

Quanto à viscosidade cinemática à 100°C, ambas amostram apresentam viscosidades inferiores às dos lubrificantes comerciais, mas a do CNSL técnico é mais próxima da viscosidade do lubrificante Castrol SAE 40, fazendo com que o CNSL técnico seja a melhor opção.
Assim sendo, em termos de viscosidade, o CNSL técnico possibilita melhores condições de lubrificação em relação ao natural e é promissor para a formulação.

3.3. Índice de Viscosidade

Seguindo os procedimentos de cálculo descritos anteriormente (2.3), obtiveram-se os valores de índice de viscosidade a seguir apresentados.

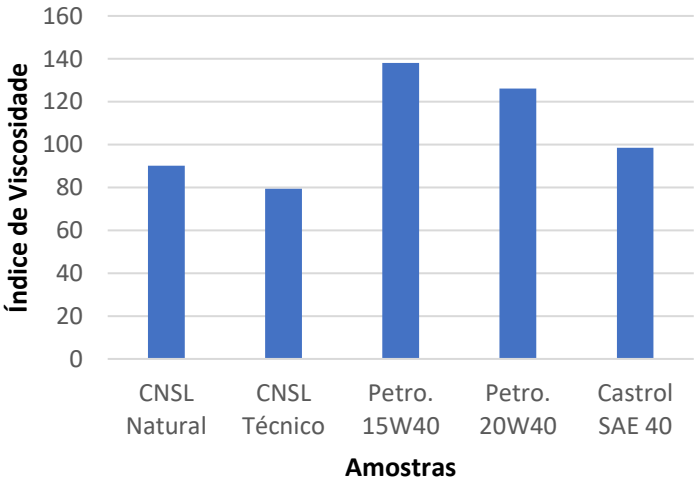


Figura 21: Viscosidade cinemática à 100°C

De acordo com a figura 7, o CNSL natural é um óleo de alto VI (VI > 80) e o técnico tem VI intermédio (30 < VI < 80). Apesar de ambos valores seres inferiores quando comparados com os índices de viscosidade dos lubrificantes comerciais estudados, o CNSL natural mostra não precisar de aditivação por possuir VI alto (ou seja, consegue manter a sua viscosidade), mas o CNSL técnico precisa de aditivos melhorados de índice de viscosidade.

3.4. Ponto de Inflamação

Seguindo o padrão ASTM D93, obtiveram--se os pontos de inflamação abaixo apresentados.

Tabela 5: Pontos de inflamação

Amostra	**Ponto de inflamação (ºC)**
CNSL Natural	-
CNSL Técnico	-
Petromoc SAE 15W40	200
Petromoc SAE 20W50	190
Castrol SAE 40	210

Devido a um incidente ocorrido durante o ensaio de ponto de inflamação do CNSL natural (o copo transbordou devido agitação) não se pôde prosseguir com a determinação do ponto de inflamação de ambas amostras de CNSL. Todavia, Bhaumik (2019), uma das referências consultadas, obteve para o CNSL um ponto de inflamação de 230ºC pelo padrão ASTM D92. Outros autores que obtiveram resultados satisfatórios para o ponto de inflamação do CNSL são Sekunowo e Uduh (2022), que obtiveram um valor de 286°C. Estes valores comparam-se aos obtidos nos testes com os lubrificantes comerciais, assim sendo, o mais provável é que o CNSL não necessite de aditivos para melhorar o ponto de inflamação.

3.5. Ponto de fluidez

Conforme o procedimento 2.5, mediram-se os pontos de fluidez das amostras.

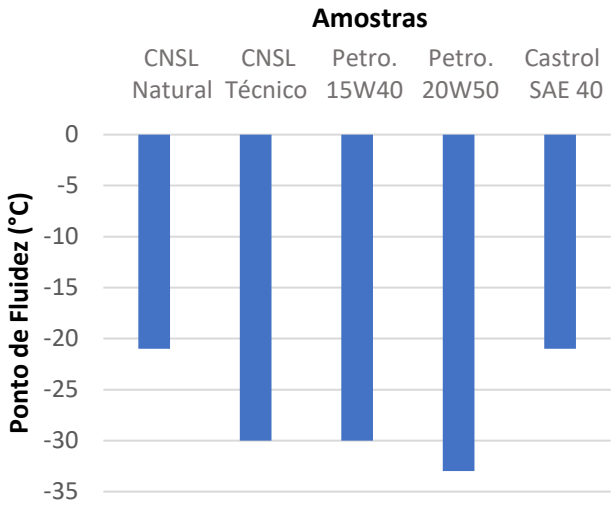


Figura 22: Pontos de fluidez

As amostras de CNSL apresentam pontos de fluidez baixos, os quais encontram-se próximos dos pontos de fluidez dos lubrificantes analisados, chegando a coincidir com os de algumas amostras – CNSL Natural e Castrol SAE 40; CNSL Técnico e Petromoc SAE 15W40. Esta proximidade mostra que sob ponto de vista de ponto de fluidez, as amostras de CNSL são adequadas para produzir um lubrificante e não necessitam de aditivos abaixadores de ponto de fluidez, salvo que se deseje um ponto de fluidez ainda menor.

3.6. Aditivação

Quando as propriedades do óleo base não são suficientes para o bom desempenho do lubrificante, incorporam-se aditivos. O CNSL natural possui viscosidade muito baixa, por isso precisa de aditivação. Igualmente, o CNSL técnico precisa ser aditivado, mas para melhorar o índice de viscosidade.

Embora ambas amostras precisem de aditivação, no geral, as propriedades do CNSL técnico mostram-se melhores que as do CNSL natural, por isso é mais adequado para formular um lubrificante automotivo.No entanto, não se produz um lubrificante simplesmente pelo aprimoramento das propriedades anteriormente descritas, é necessário adicionar substâncias redutoras de desgaste e espuma. Deste modo, propõe-se uma formulação à base de CNSL técnico que tenha como aditivos um melhorador de índice de viscosidade, um agente redutor de desgaste e um agente redutor de espuma.

4. CONCLUSÕES

A análise das principais propriedades dos lubrificantes automotivos (densidade, viscosidade, índice de viscosidade, ponto de fluidez e ponto de inflamação) permitiu concluir que o CNSL natural apresenta boas propriedades de lubrificação, podendo até ser usado em ambientes com temperaturas mais baixas devido ao seu baixo ponto de fluidez. No entanto, mesmo que se tenha observado que o CNSL natural apresenta índice de viscosidade alto, por possuir baixa viscosidade cinemática à 40ºC, seu uso como base para a produção de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor para automóvel não é adequado, salvo se se fizer um estudo mais exaustivo na tentativa de aprimorar a sua viscosidade. Em adição, pelas propriedades verificadas, conclui-se que seja possível obter formulações de óleo motor para motorizadas e óleo de sistemas de transmissão de automóveis a partir de CNSL natural.

O CNSL técnico apresenta propriedades de lubrificação adequadas para a formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor de automóvel e conta com a vantagem de apresentar viscosidade cinemática e ponto de fluidez que se assemelham aos dos lubrificantes estudados. Todavia, visto que o CNSL técnico possui índice de viscosidade intermédio, é necessário incorporar aditivos que corrijam o índice de viscosidade de modo a torná-lo um óleo de alto índice de viscosidade, possibilitando a produção de um lubrificante com maior qualidade.

Analisadas as principais propriedades e avaliados os aditivos necessários, propõe-se uma formulação de lubrificante automotivo que consista em CNSL técnico como óleo base e melhoradores de índice de viscosidade, agentes antidesgaste e agentes antiespuma como aditivos.

5. RECOMENDAÇÕES

Face as limitações e os inconvenientes enfrentados durante a pesquisa, apresentam-se a seguir algumas recomendações de futuros trabalhos:

- Estudar a possibilidade de formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de motor para motorizadas à base de CNSL natural;
- Estudar a possibilidade de formulação de um lubrificante automotivo do tipo óleo de sistemas de transmissão à base de CNSL natural;

- Avaliar a influência de diversos melhoradores de índice de viscosidade em diferentes fracções no índice de viscosidade do CNSL técnico e nas demais propriedades de modo a seleccionar o que melhor se adeque;
- Avaliar a influência de diversos agentes antidesgaste e antiespuma em diferentes proporções nas propriedades de lubrificação do CNSL técnico a fim de seleccionar os mais apropriados;
- Fazer ensaios de ponto de inflamação e estabilidade térmica com vista a melhor aferir sobre a segurança do uso de CNSL como óleo base e a influência da temperatura no mesmo;
- Realizar outros ensaios tribológicos para melhor inferir sobre o uso de CNSL como óleo base na formulação de lubrificantes.

6. REFERÊNCIAS

i. ALMEIDA, A. P. P. 2012. Caracterização de aditivos poliméricos melhoradores de índice de viscosidade e estudo reológico de lubrificantes automotivos. Universidade de Minas Gerais. Belo Horizonte.

ii. ANDERSON, K. J. 1991. A History of Lubricants. MRS Bulletin. 16(10):69-69. doi:10.1557/S0883769400055895

iii. ARAÚJO, G. S. 2022. Avaliação técnica de lubrificantes comerciais SAE 10W-30 para motocicletas. Rio de Janeiro. UFRJ.

iv. BANCO DE MOÇAMBIQUE. 2021. Desafios e oportunidades na comercialização e processamento da castanha de caju: o caso de Nampula. Nampula.

v. BART, J. C. J. *et al*. 2013. Biolubricants: science and technology. Woodhead Publishing.

vi. BHAUMIK, S. *et al.* 2019. Tribological investigation of r-GO additived biodegradable cashew nut shells liquid as an alternative industry lubricant. Tribology International, vol 135, p 500-509. ELSEVIER, https://doi.org/10.1016/j.triboint.2019.03.007.

vii. CARVALHO, C. P. 2022. Espectrometria de massas como ferramenta de verificação de qualidade em óleos lubrificantes automotivos. Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo.

viii. DE SOUSA, L. F. 2016. A química dos óleos lubrificantes para motores automotivos. Universidade do Sagrado Coração. Bauru. p. 27-30.

ix. DIÁRIO ECONÓMICO. 2023. Moçambique é o quarto maior produtor de caju em África; em < https://www.diarioeconomico.co.mz/2023/04/24/negocios/agronegocios/mocambique-e-o-quarto-maior-produtor-de-castanha-de-caju-em-africa/>, acesso em 15 de Abril de 2024

x. FARFAN-CABRERA, L. I. *et al.* 2022. Microalgae Biomass as a New Potential Source of Sustainable Green Lubricants. *Molecules*, vol 27.

xi. GHOSH, M. K. *et al*. 2013. Theory of lubrication. Tata McGraw Hill. New Delhi.

xii. CAINES, A. J. *et al.* 2004. Automotive lubricants reference book. 2nd ed. John Wiley & Sons. London.

xiii. IKE *et al.* 2021. Cashew nut shell liquid and its derivates in oil field applications: an update. Green Chemistry Letters and Reviews. vol 14. p. 1-2.

xiv. KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. 2017. Applied tribology: bearing design and lubrication. 3rd ed. John Wiley & Sons.

xv. LANSDOWN, A. R. Lubricants: a practical guide to lubricant selection. 1982.

xvi. MANG, T.; DRESEL, W. 2007. Lubricants and lubrication. 2nd ed. Wiley - VCH. Weinheim.

xvii. MEIRA, A. S. N. S. 2021. Os lubrificantes biodegradáveis e não biodegradáveis: o estado atual de desenvolvimento e estudo comparativo entre os dois tipos de lubrificantes. Instituto Superior Universidade do Porto. Porto.

xviii. MOBARAK, H. M. *et al.* 2014. The prospects of biolubricants as alternatives in automotive applications, Renew. Sustain. Energy Rev. 33: p. 34–43.

xix. NADKARNI, R. A. K. 2007. Guide to ASTM test methods for the analysis of petroleum products and lubricants. 2nd ed.

xx. OLIVEIRA, T. F. 2022. Aditivacão de nanopartículas a óleos lubrificantes em motores de combustão interna. Universidade Federal De Alagoas-UFAL. Rio Largo.

xxi. PIRRO, D. M.; WESSOL, A. A. 2001. Lubrication fundamentals, 2nd ed., Marcel Dekker Inc., New York.

xxii. RIZVI, SYED Q. A. 1996. History of Automotive Lubrication. SAE Transactions, vol. 105, p. 1420–1434. JSTOR, http://www.jstor.org/stable/44729150. Accessed 3 Sept. 2024.

xxiii. SALIH, N.; SALIMON, J. 2021. A review on eco-friendly green biolubricants from renewable and sustainable plant oil sources. Biointerface Reasearch in Applied Chemistry, vol. 11. p. 13303 – 13327.

xxiv. SEKUNOWO, O. I.; UDUH, G. U. 2022. Extraction and physicochemical characterization of cashew nut shell liquid in metal forming. Nigerian Journal of Technological Development, vol. 19, No 2. Lagos.

xxv. SILVA, E. F. M. S. 2023. Desenvolvimento de lubrificantes verdes: adição de nanopartículas a óleos vegetais e estudo dos desempenhos. Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho". Ilha Solteira.

xxvi. SRIVASTAVA, A. SAHAI, P. 2013. Vegetable oils as lube basestocks: A review. African Journal of Biotechnology, vol. 12(9), p. 880-891.

xxvii. SRIVYAS, P. D.; CHAROO, M. S. 2018. A Review on Tribological Characterization of Lubricants with Nano Additives for Automotive Applications. Tribology In Industry, vol 14. p. 594 – 623

ARTIGO Nº23545

PRODUÇÃO E APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CAJÚ, PERA E CASCA, EM MOÇAMBIQUE

Américo Uaciquete[1], Ilidio Bande[1], Chadreque Nhanengue[1], Neid Ali Ferreira[2], Charline de Rouvroy[3], Jean Baptiste Roelens[3], Julia Artigos Sancho[3]

[1] Instituto de Amêndoas de Moçambique, IAM, IP. Rua de Gávea, No. 33, 1º a 3º Andares, Maputo, Moçambique
[2] Instituto de Investigação Agraria de Moçambique, IIAM, Centro Zonal Nordeste, Km 7, Nampula, Moçambique
[3] ONG Nitidae, Av. Agostinho Neto no. 16, Maputo, Moçambique
E-mail: amuaciquete@gmail.com

RESUMO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) foi introduzido em Moçambique no século XVI. Entre as utilizações que galvanizaram o seu cultivo expansivo, a mais importante veio a ser a amêndoa da castanha de cajú pelo seu valor nutricional e por conseguinte atrativo essencial de captação de divisas provenientes da exportação. Adicionalmente, o cajueiro produz subproductos que podem acrescentar valor à amêndoa, nomeadamente a pera ou maçã, como fonte suplementar de nutrientes para animais e homem através do consumo directo, produção de sumo ou de bebidas alcoólicas, mas também a casca, directamente ou após transformação em seus diversos derivados tem merecido atenção mundial devido a multiplicidade de aplicações quer seja como biocombustivel sólido ou líquido, ou formas industriais afins. O objectivo deste artigo é apresentar uma revisão bibliográfica do esforço do governo, parceiros de cooperação para o desenvolvimento, sociedade civil e do sector privado no aumento da produção do cajú em Moçambique. Diversos estudos e registos institucionais apontam um aumento na produção do cajú e por conseguinte disponibilidade significativa de pera e da casca da castanha. A maioria da pera é desperdiçada. Mas parte desta, é usada para consumo *in natura*, preparação de sumo e aguardante. Pequenas quantidades ainda, são artesanalmente usadas para a preparação demonstrativa em feiras de melados e "bife" do cajú. A potencialidade de integração da pera em ração de galináceos é destacada. Quanto a casca, é de facto um resíduo do processamento da amêndoa e como tal ao valorizar-se a casca da castanha de cajú ela entra na economia circular e fecha o ciclo da cadeia de valor desta cultura. A ausência de valorização da casca, contribui para os níveis deploráveis de sustentabilidade ambiental das indústrias de processamento, por acúmulo e queima. Todavia, o seu uso adequado pode contribuir na redução de emissões e subsequente diminuição do consumo de lenha e do desmatamento e ao mesmo tempo proporcionar uma receita adicional que varia entre 6 e 13% dos custos de aquisição de castanha em bruto, com impacto direto na competitividade da indústria nacional de processamento. Portanto, para além do uso directo para retroalimentação calorífica na cozedura da castanha nas unidades de processamento, a casca pode ser decomposta para uso como fertilizante. A casca também fornece resultados interessantes na forma carbonizada, nomeadamente como "biochar" com propriedades promissoras de emenda do solo e armazenamento de carbono. O principal subproducto da casca com maior valor económico e o Cashew Nut Shell Liquid (ou CNSL), extraído por prensagem da casca e que é usado no tratamento de madeiras contra insectos, como biocombustível líquido. Após a extração do CNSL a torta (ou cake) da casca pode ser usada em substituição da lenha que seja em caldeiras industriais ou usado para alimentar fogões desenhados especificamente para este uso que até permite que até permite geração elétrica (luz, carga de telemóvel) para uso doméstico, via um sistema termoelétrico. Da discussão das diversas abordagens de aproveitamento de subprodutos do cajú em Moçambique destaca-se a

necessidade de investimento em indústrias de subprodutos de cajú a nível nacional para maximizar os ganhos em emprego e captação de divisas assente em produtos finais.

Palavras-chave: Cajú, subprodutos da pera, casca da castanha, CNSL, fertilizantes orgânicos

1. INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) tem a sua origem no Nordeste do Brasil (Oliveira et al., 2019) onde o endemismo já foi largamente explorado (Queironga et al., 2025). A nível global o cajueiro é cultivado pelo seu valor associado a amêndoas, líquido da casca, pera e outros subprodutos (WBG, 2022). As amêndoas possuem ácidos gordos, aminoácidos biologicamente activos, fitoesterois selénicos, tocoferóis, elevado conteúdo de amido, alquil-fenóis e outros. Recorrendo a diversos solventes tem sido a avaliação de diversos fitoquímicos tais como alcaloides, carboidratos, saponinas, fenóis, taninos, flavonoides, aminoácidos, terpenóides, proteínas, esteroides, glicosídeos e ácidos carboxílicos (Ojideran et al., 2024). Relativamente a pera há uma consciência maior quanto ao valor anti-inflamatório, antibacteriano, antioxidante, e feitos antidiabéticos enquanto extratos de amêndoas e pera entram no tratamento de bronquites, tosse, artrites, diabetes, febres, desconfortos de colon, úlceras oral e problemas genitais (Aslam et al., 2024). A sua expansão está associada determinantes históricos, ambientais e económicos: Foram navegadores portugueses que levaram o cajúeiro para a costa moçambicana ao longo do oceano indico, nos finais do século XVI, para prover sombra nas dunas de sol abrasador do continente africano e pera refrescante para matar a sede (Alexandre, 2013). Não tardou que o seu valor económico, principalmente o da amêndoa fosse descoberto devido aos nutrientes a ela associados (Nocias, 2015). Isso veio a galvanizar o processo de fomento com envolvimento da estrutura política e administrativa colonial. Os régulos tiveram um papel preponderante no estabelecimento de plantações familiares via semente. Paralelamente ao fomento, expedições da metrópole eram realizadas com a finalidade de mapear zonas de aptidão agroecologia (Ferrão, 1995). A importância do líquido da casca da castanha de cajú como biocombustível para aviação veio a ganhar ímpeto no decurso da II guerra mundial (Kanji et al., 2004; Costa e Delgado, 2019). A cada vez crescente valorização da cultura motivou o estabelecimento duma unidade de recolha e preservação do germoplasma do Instituto de Investigação Agraria de Moçambique, IIAM. Unidade experimental de Ricatla donde foi desenvolvida, pela primeira vez a nível mundial, a tecnologia de propagação vegetativa de cajueiro conhecida como enxertia. Foram igualmente aprimoradas as técnicas de sementeira, produção de mudas e adequação espacial das plantas no campo. Com os volumes de produção da castanha ascendentes, foi estabelecida a primeira unidade de processamento da castanha de cajú na década de 1940 (Penvenne,1997) e a exportação da castanha em bruto para a índia iniciou em 1955. De acordo com Ribeiro (2008) o cajú foi um dos primeiros produtos agrícolas em Moçambique a conectar-se com a economia do mundo capitalista. O que acontecia então com a pera do cajú que não representava interesse económico do Estado, pelo menos para fins de exportação? A resposta veio das próprias comunidades produtoras de cajú que foram incorporando produtos da pera do cajú na sua própria cultura e hábitos alimentares. O objectivo geral deste artigo é evidenciar as mudanças decorridas na produção e aproveitamento do cajú em Moçambique. Destacamos com maior ênfase a contribuição que tem sido dada por diversos actores da cadeia de valor no aproveitamento local de subprodutos para fins energéticos e alimentares quer para o homem quer para animais e finalmente geração de renda para familiar. Metodologicamente o artigo é revisão bibliográfica essencialmente baseada em documentos nacionais e relatórios de estudos sociais, experimentação empírica, inquéritos e outras formas de recolha de dados usadas por parceiros de cooperação, artigos de instituições académicas e de investigação publicados em

jornais científicos internacionais e outros instrumentos gerados por actores da cadeia de valor do cajú como folhetos e slides em PPT partilhados em eventos nacionais ou colocados à disposição publica na web.

2. EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DO CAJÚ

2.1. Determinantes da evolução da produção

A cajucultura tem sido de destaque na economia moçambicana de tal maneira que no início dos anos 70, o país era um dos principais produtores da castanha de cajú a nível mundial, com uma produção acima de 216 mil toneladas (Nocias, 2015). Todavia a produção é significativamente afectada por factores abióticos por exemplo a dinâmica sociopolítica associada a guerra civil e clima (Milheiro e Evaristo, 1994) e factores bióticos como a emergência de pragas e doenças (Uaciquete et al. 2013). As regiões produtoras de cajú, exigem para seu desenvolvimento regime de altas temperaturas, devido a alta sensibilidade ao frio e as geadas. A temperatura média ideal para seu desenvolvimento e frutificação normal é de 24-28oC (Brunini et al., 2010). Suporta, no entanto, temperaturas médias mais elevadas (33 a 35oC), sendo, porém, sensível a períodos prolongados sob temperaturas abaixo de 22oC, principalmente para plantas jovens. As adultas apesar de suportarem melhor as temperaturas baixas, por curto período, têm a produção afectada quando ocorrem no período de floração ou frutificação, (Barros et al., 1984). São estes os factores climáticos que determinam em grande medida a oscilação da produção uma vez estabelecida a plantação. Outros factores de natureza sociopolítica (Figura 1) circunscrevem-se na dinâmica da economia mundial e seus efeitos sobre o preço da castanha, a motivação dos produtores para estabelecimento de novas plantações, a pressão de pragas e doenças para além da ocorrência de fenómenos climáticos adversos como ciclones e cheias e ainda os sistemas de regulamentação de actores na cadeia de valor.



Figura 1: Processos socio-politicos que influenciaram de forma significativa a cadeia de valor do cajú em Moçambique ao longo da história. Fonte: Bande, 2024.

No domínio da regulamentação do subsector do cajú, a República de Moçambique aprovou em 2018, por meio do Decreto 78/2018, de 6 de Dezembro, o Regulamento para o Fomento, Produção, Comercialização, Processamento e Exportação do Cajú, que estabelece de forma explicita a necessidade de sustentabilidade da cadeia de valor do cajú como um dos cinco princípios que regem a aplicação das normas regulamentadas, a par da competitividade; rastreabilidade; transparência; e equidade, justiça e igualdade de género. Ademais, mantém a protecção à indústria nacional ao assegurar que a exportação da castanha de cajú em bruto deve corresponder ao excedente após o abastecimento às fábricas de processamento da castanha de cajú (Bande, 2024). Assim, para Frei e Peixinho, 2014, nos últimos anos, assiste-se a uma

reestruturação do setor cajuícola nacional, com destaque para a componente da produção que se traduz no uso de novas tecnologias. Para Bande, 2024, essa mudança da base técnica, enquanto vector de reestruturação da produção de cajú, está diretamente ligada às novas políticas públicas do Governo, que, aliás, se constituíram desde a época colonial em fator determinante do ordenamento do espaço produtivo. O impacto de todo o processo normativo foi colocado na balança de competitividade mediante um estudo realizado pela Nitidae (2020), em que foi vincado o sufoco relativo a impostos altos, sem subsídios no processamento, custos elevados no processamento, elevados custos financeiros, baixos rendimentos quantitativos e qualitativos no processamento e sem ganhos ligados a subprodutos biomassa da casca. Portanto ainda que indústria pudesse ser considerada o factor dinamizador da produção, a indústria moçambicana da castanha de cajú se mostra altamente volátil no que diz respeito a sua tecnologia fazendo com que a motivação da produção seja governada pelos preços da exportação da castanha em bruto principalmente para Vietname e Índia (Bande, 2024).

2.2. Tecnologia de produção

Até a década de 1980, a produção da castanha de cajú em Moçambique era essencialmente baseada na semente (Uaciquete et al., 2013). Ainda que a tecnologia de enxertia tenha sido desenvolvida em Moçambique, a sua adopção em grande escala foi bastante lenta. Só com os grandes projectos de cooperação internacional financiados pelo Banco Mundial na região sul e Banco Africano de desenvolvimento na Região Norte, é que foi possível a compra de material necessário, facas de enxertia, capuchos e fitas, que permitiram a produção e distribuição massiva de mudas enxertadas. Posteriormente, década de 1990, o INCAJÚ e outras organizações parceiras que suportavam o período de recuperação pós-guerra civil expandiu a propagação vegetativa melhorando vários aspectos relacionados com o substrato para produção de mudas, tecnologias de maneio integrado de pragas e doenças, sistemas de monitoria de distribuição e plantio de mudas e ainda sistema de monitoria do processo de comercialização da castanha de cajú conforme os planos directores I e II do extinto Instituto de Fomento do Cajú (Figura 1). Os resultados de todo esforço de intervenção directa do estado quer em termos de políticas estruturantes quer na geração e adaptação de tecnologias de produção reflectem-se de forma significativa no estabelecimento de novas plantações e aumento da produção nacional (Figura 2). Após o máximo histórico e o mínimo de 1983, a produção da castanha mostra uma tendência crescente com proximidade ao máximo histórico observado na última campanha.

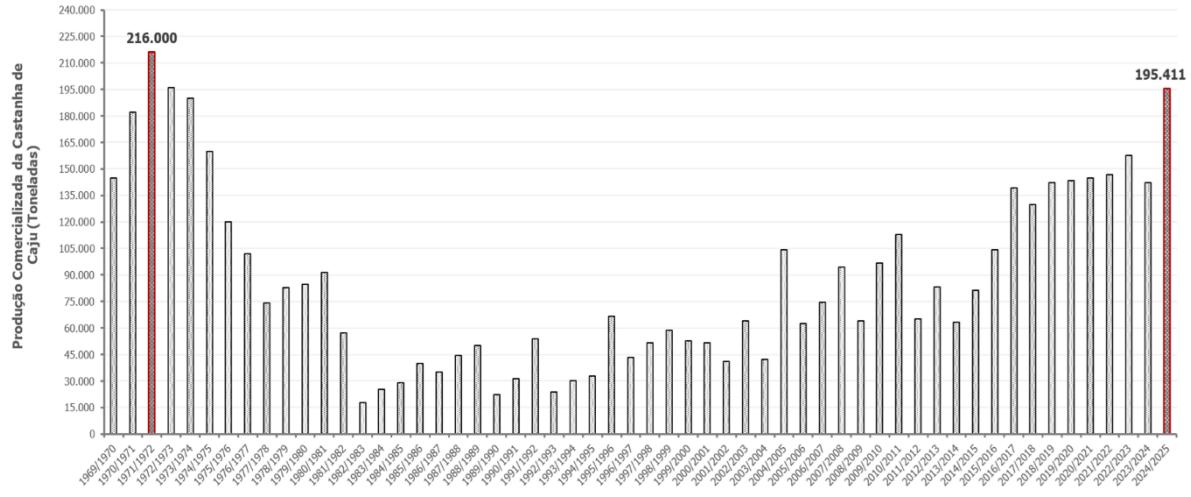


Figura 2: Produção comercializada da castanha de cajú em Moçambique, 1970-2025. Fonte: IAM-IP, 2025.

A evolução da produção do cajú em Moçambique mostra uma tendência crescente justificada pelo maneio integrado de pragas e doenças e estabelecimento de novos plantios pelas comunidades apesar de oscilações anuais provavelmente determinadas pelas condições climáticas cuja associação precisa ainda ser determinada.

3. APROVEITAMENTO DOS SUBPRODUTOS DO CAJÚ

3.1. A pera do cajú

Em Moçambique a pera do cajú vem sendo utilizada pelas comunidades para o consumo in natura (WBG, 2022). Além disso, a pera do cajú, fresca ou seca, tem sido utilizada para alimentação dos porcos e em alguns casos mesmo bovinos e galinhas (AgriQuality, 2023). Adicionalmente, o suco do cajú, fermentado ou doce constitui uma bebida apetecível e apreciado pelas comunidades em muitas regiões do país (Uaciquete et al., 2017). O suco do cajú tem sido comercialmente limitado devido adstringência associada a taninos (Nayak, 2019). Mas este problema está tecnologicamente ultrapassado com recurso à gelatina (Gastélum-Martinez et al., 2016) ou clarificação (Zitha et al., 1019), só que este conhecimento não está ainda amplamente difundido no país. Na unidade de processamento de cajú do Centro experimental do cajú de Nassuruma, Nampula, já se usa com sucesso na produção de sumo clarificado e cajuína desde o ano de 2014.
Do suco fermentado prepara-se uma bebida espirituosa comercialmente valiosa conhecida como aguardente de cajú (Uaciquete et al., 2017). Nos últimos anos aparece no mercado com modificações de sabor e cor mediante aditivos diversos que incluem corantes de origem vegetal diversificada, desde flores, café até o próprio cajú desidratado até misturado com melaço resultando em licores (Zitha et al., 2019). As alterações na aparência incluem por vezes um processo longo que inclui engarrafamento duma pera inteira juntamente com álcool etílico comercializado (Figura 3).



Figura 3: Licor de cajú com pera inteira na garrafa (esquerda) e bife do cajú pronto para o consumo (direita). Fonte (Zitha et al., 2019).

Outros produtos incluem fervura parcial ou integral da pera para a produção dos produtos chamados por bife do cajú, humbúguer do cajú, compota do cajú, melaço de cajú, doce do cajú, geleia ou jam de cajú (Zitha et al., 2019). Todas estas receitas constam dum manual processamento dos subprodutos de cajú que continuam sendo de natureza artesanal ou familiar sem nenhum despertar para industrialização dos processos envolvidos. Um estudo recentemente terminado (AgriQuality, 2023), mostra que a pera do cajú poderia ser desidratada e usada como

substituto da proteína da soja na produção de rações para frangos em proporções de até 20 a 25%. O que se pode constatar sobre as diversas formas de utilização da pera do cajú em Moçambique é que à excepção do etanol, todas as outras formas de valorização não alcançam o nível molecular como acontece noutras geografias (Preethi et al., 2019). Além disso, todas as formas de processamento são puramente artesanais. Sendo a pera do cajú altamente perecível (Nayak, 2019), a maior parte desta termina apodrecida no campo sem o devido aproveitamento. Se atendermos ao rácio (1:5), da castanha e pera respectivamente, significa que só na última campanha Moçambique produziu pouco mais de 500 mil toneladas de pera que poderia render muito mais se os seus subprodutos moleculares e mais atrativas fossem largamente exploradas. O maior desafio que se coloca é o desenvolvimento de tecnologias de extração e ou investimento para industrialização. Sabe-se por exemplo que o cajú possui três vezes mais vitamina C do que a laranja (Moraes et al., 2024, Niveditha et al., 2024). Purificar e comercializar a Vitamina C, proveniente do cajú, representa um potencial ainda adormecido para além de muitas outras moléculas bioactivas apontadas na secção 1 deste artigo. Para um salto significativo.

3.2. Aproveitamento da casca

Em Moçambique, durante a temporada de cajú de 2022-2023, entre os 16 membros da AICAJÚ, 12 fábricas declararam estar a funcionar. A capacidade média anual de processamento de castanha é entre 5.000 e 6.000 toneladas de RCN por fábrica, com as mais movimentadas a funcionar a 10.000 toneladas e as mais pequenas a processar apenas 70 toneladas/ano. No total, estima-se uma produção aproximada de 41.000 toneladas de casca por ano (Nitidae, 2023).
Ressalta-se que, na maioria dessas fábricas de processamento, a casca gerada não é comercializada, o que acarreta custos adicionais relacionados à sua gestão. A necessidade de evacuação do resíduo implica, geralmente, a queima nas proximidades das fábricas ou em áreas adjacentes, com um custo estimado entre 1 e 5 USD por tonelada de RCN processada. Entre os subprodutos potencialmente aproveitáveis da casca destacam-se o Líquido da Casca de Cajú (CNSL), a torta (cake) e o carvão, obtido tanto da casca quanto da torta. Apenas cerca de um terço das cascas de cajú e subprodutos são valorizados em Moçambique (Figura 3a).

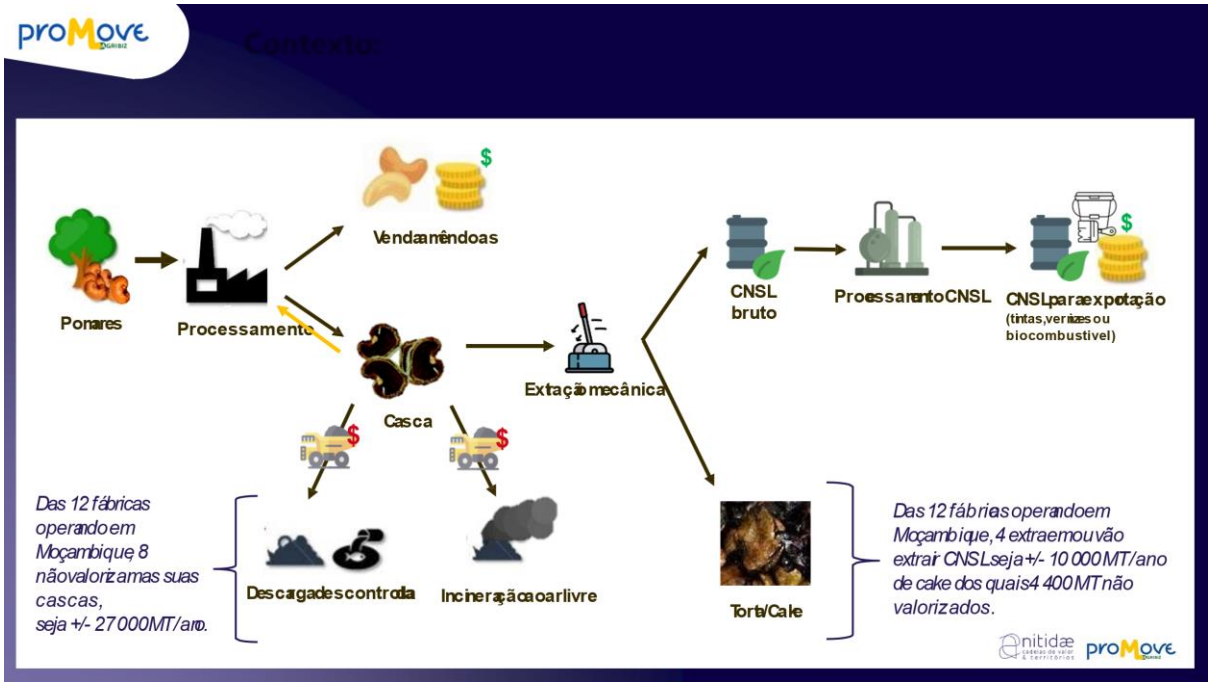


Figura 3a: Estado actual da valorização energética dos subprodutos da casca de cajú em Moçambique. Nitidae, 2023.

Os usos (energéticos ou não) da casca estão a ser desenvolvidos por meio de alguns actores inovadores. Uma primeira transformação da casca para a separação do CNSL facilita a valorização dos dois subprodutos derivados (CNSL e torta). Alternativamente, a casca pode ser transformada directamente, seja por pirólise (ou gasificação), seja compostagem. As vias experimentadas em Moçambique são apresentadas no esquema da Figura 4.

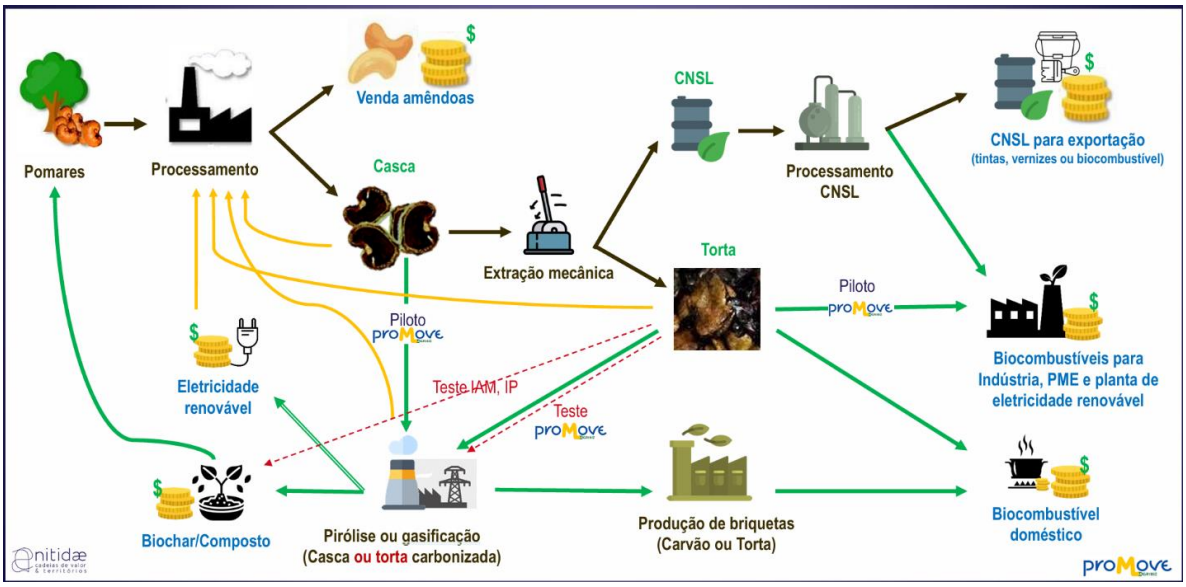


Figura 4: Cadeia completa de valorização energética dos subprodutos da casca de cajú em Moçambique.

3.2.1. Valorização térmica da casca e seus subprodutos

O calor da casca tem sido rotineiramente usado nas unidades de processamento da castanha para alimentar os processos que precisam calor (cozedura, secagem). De um modo geral, a quantidade usada para este propósito não ultrapassa os 15% do volume da casca gerada por cada fábrica. Apesar de ser uma biomassa com alto conteúdo calórico (Valor calorífico superior 20,3 MJ/kg, Mohod, (2011), a casca não é apreciada para combustível noutras indústrias devido ao conteúdo elevado em líquido corrosivo CNSL, o que dificulta a criação dum mercado para este produto. O resultado tem sido a acumulação de enormes quantidades de casca e queima geral no recinto fabril, levantando questões de maneio e gestão de resíduos como factor de insustentabilidade ambiental da maioria das fábricas de processamento de castanha em Moçambique (Bande, 2024).

Um estudo da Nitidae, (2023), sobre as oportunidades de melhoria da competitividade da indústria moçambicana do cajú mediante geração de renda adicional a partir da casca de castanha de cajú incluiu desenvolvimento e demonstrações com sistemas de produção de calor para uso industrial mediante a queima da casca em diversas indústrias onde a lenha florestal poderia ser substituída por casca de castanha (Figura 4, “Piloto Promove”). A queima da casca em forma de torta (após extração do líquido da casca) em dispositivos industriais foi experimentada em caldeiras classicamente alimentadas via manual como lenha e funcionaram com teores de torta que ultrapassaram 90% (Figura 5). A produção de calor para processo industrial foi julgada satisfatória, mesmo que a redução global no uso de combustível tenha sido de apenas 28%, aponta para uma melhoria da eficiência no uso da caldeira. Porém, a qualidade da torta foi identificada como um aspeito essencial a controlar, já que o conteúdo residual de CNSL gerou quantidades maiores de partículas nos gases da chaminé. A

alimentação automática também foi salientada como uma via de solução para adaptação do sistema ao novo combustível.



Figura 5. A torta desengordurada de casca de cajú (acima, esquerda) é hoje utilizável no âmbito doméstico (fogão Pamoja acima, direita) e também industrial (abaixo), substituindo a lenha.

A empresa Pamoja Moçambique LDA desenvolve e coloca no mercado, desde 2019, fogões especiais que visam o aproveitamento integral da casca da castanha de cajú sob forma de bagaço/torta, depois da extração do líquido da casca. O uso dos fogões combinado com a torta de casca são um substituto economicamente rentável do carvão florestal para as famílias e promoção de pequenos negócios. A combustão da torta é eficientemente controlada a nível do fogão e não produz cheiro incômodo. Estes dispositivos têm o potencial de uma vez em quantidade suficiente nas comunidades, poderão absorver quase toda a casca produzida nas unidades de processamento de castanha em Moçambique em forma de torta; especialmente porque somente o líquido casca é exportado em bruto. O esquema de distribuição tem progrediu depois 2023, em parceria com a Eni Natural Energies Mozambico (ENE) que está activamente a desenvolver projectos de valorização de carbono em Moçambique como estratégia de mitigação das suas actividades extrativas no país.

Quanto ao líquido da casca (CNSL), ele é atualmente exportado em bruto. Além dos usos tradicionais na indústria de polímeros, a demanda mais recente por o CNSL vem da indústria energética, pois o líquido integra os processos de produção de biocombustíveis líquidos, geralmente em mistura com outras fontes. O CNSL é de facto usado, marginalmente, por algumas indústrias pesadas em Moçambique (por exemplo, fundição). O estudo de Nitidæ (2023) identifica o mercado doméstico como uma oportunidade muito mais rentável que o mercado de exportação, salientando ao mesmo tempo a necessidade de maior divulgação das tecnologias e conhecimento adaptados ao seu maneio.

Algumas iniciativas de pirólise da casca para a produção de carvão a partir da casca de castanha de cajú já existem no país (Figura 6), mas funcionam ainda como demonstrativas e absorvem pequenas quantidades de casca, a nível de centros de processamento semi-industriais. Os gases da pirólise podem servir como combustível de caldeiras em unidades de processamento da castanha substituindo a combustão da casca por combustão do “subproduto gás”.



Figura 6. Dispositivo de pirólise semi-industrial instalado numa fábrica na província de Nampula (esquerda). Na direita, casca de caju carbonizada como resultado da pirólise.

3.2.2. Carvão-pó da pirólise da casca

A pirólise produz um subproduto sólido, conhecido como "char". As cascas ficam de facto carbonizadas por meio das reações de pirólise. O carvão de casca é posteriormente moído incorporado no solo ou usado para a produção de "briquetes", comercializáveis como carvão verde, ou seja, como substitutos de carvão florestal (Figura 7).

Noutras abordagens, o pó da pirolise da casca da castanha carbonizada é reintegrado como fonte de carbono no solo ("biochar"), tendo sido experimentado na alface, por um estudante da Universidade Mussa Bin bique em Nampula que demonstrou rápido crescimento dos pés ganhando cerca de 15 dias relativamente as parcelas sem carbono da casca para fase comercial da alface.



Figura 7. A estrutura naturalmente porosa da casca de caju permanece ainda após carbonização (esquerda). Quando moída (centro) pode ser usada como emenda agrícola (biochar) ou ulteriormente compactada em briquetes de biocombustível (direita).

A Nitidae, projecto Acamoz II, 2024 em parceria com uma empresa privada, embora de forma empírica está a experimentar o efeito de do biochar, carvão da casca de castanha de cajú, no desenvolvimento de mudas de cajúeiro e mandioca em campos experimentais na Zambézia. Do ponto de vista do produtor de carvão, a comercialização da casca carbonizada sob forma de biochar é potencialmente mais rentável que o mercado de carvão verde/florestal. De facto, o carvão florestal, que provém de matérias não comerciais, é vendido a preços difíceis de alcançar para um material composto. Nesse caso, a produção de briquetes precisaria de maquinaria e de insumos adicionais que são adquiridos a um preço de mercado. No entanto, o biochar apresenta um potencial promissor como insumo agrícola na luta contra a acidificação dos solos e a perca de fertilidade; e ao mesmo tempo pode ser valorizado, à grande escala, através dos mercados

de carbono, fornecendo créditos de tipo "Carbon Removal", mais cotados que os créditos de prevenção de emissões ou "Emissions avoidance".

3.2.3. Insumos orgânicos baseados na casca

A outra abordagem de reaproveitamento da casca testada pelo IAM (Instituto de Amêndoas) em colaboração com o IIAM (Instituto de Investigação Agraria de Moçambique) em Nampula consistiu em selecionar fungos decompositores os quais foram cultivados e inoculados em câmaras de compostagem com adição regular de agua e activadores de biodegradação. Estes elementos permitem a conversão integral da casca em estrume orgânico, com alto teor em carbono assimilável, e com significativas quantidades N, P, K, Ca, Mg e outros minerais.

As formas descritas em 3.2.1, 3.2.2 e 3.2.3 representam um ganho por um lado na redução da poluição por acumulação e queima da casca nas unidades de processamento e por outro lado um ganho por incorporação do carbono no solo, num contexto onde há urgência para achar soluções de mitigação climática que modifiquem práticas emissoras de gases de efeito estufa, ou que capturem o carbono atmosférico de maneira duradoura. Se a casca é transformada em composto, o carbono pode ser utilizado novamente pelas plantas. No estado atual em Moçambique, porém, qualquer das formas apresentadas não alcança ainda produtos moleculares de grande valor económico. Fica ainda claro que tecnologias e investimento apropriados são uma necessidade incontornável para uma cultura secular como o cajú em Moçambique. O sector privado tem desenvolvido soluções promissoras que hoje ainda não se traduzem num uso generalizado da casca residual.

Esta revisão bibliográfica permite evidenciar que apesar dum crescimento significativo da produção da castanha de cajú em Moçambique, o aproveitamento dos subprodutos derivados da pera ou da casca está na fase inicial. Existe uma grande oportunidade para melhorar a competitividade e a sustentabilidade do processamento em Moçambique através da valorização dos subprodutos da casca e a criação de uma economia circular. Segundo as conclusões do estudo de Nitidæ (2023), os benefícios da venda dos subprodutos apenas da casca, podem trazer benefícios entre 6 e 13% do custo da castanha. O cenário actual de valorização dos subprodutos da casca, hoje em Moçambique, consiste da extração e venda do CNSL e do uso directo da torta como combustível sólido. Assim, maximiza-se os ganhos económicos, os benefícios ambientais e o aproveitamento energético dos subprodutos. Existe mercado importante ao nível internacional e nacional devidamente identificado em termos de volumes de procura nacional de CNSL estimado em 26 000 toneladas métricas e de torta, 66 000 toneladas métricas para atores da cadeia com grande consumo unitário. Foi possível demonstrar um caso de negócio em estudo a nível industrial em experiências preliminares e num caso piloto de substituição da lenha por torta. Há um mercado emergente de insumos agrícolas com adição possível de biochar, como grande oportunidade e solução multissectorial. Portanto pode se recomendar que o IAM, IP e seus parceiros deverão se envolver em acções que motivam o investimento do sector privado não apenas para amêndoas como também para os subprodutos casca e da pera incluindo aqueles que exigem tecnologia avançada desde que representam ganhos financeiros para a economia familiar e do país.

REFERÊNCIAS

AgriQuality. 2023. Feasibility study of producing dehydrated cashew apple- GIZ. Relatorio final de actividades. IAM, IP. Maputo.

Alexandre, F. 2013. O cajueiro (Anacardium occidentale L.): de símbolo da cultura nordestina a arvore testemunha da mundialização da economia e dos modos de vida. Revista do Instituto Arqueológico, Histórico e Geográfico Pernambucano, 66, pp.13-42. hal-00993035.

Aslam, N., Hassan, S.A., Mehak, F., Zia, S., Bhat, Z.F., Yikmis, S., Aadil, R.M. 2024. Exploring the potential of cashew waste for food and health applications- A review. Future food 9(2024). https://doi.org/10.1016/j.fufo.2024.100319 .

Bande, I.A.J. 2024. Desafios e sustentabilidade da Indústria do cajú em Moçambique. Dissertação de mestrado em gestão de empresas. Instituto Superior de Altos Estudos e Negócios (ISAEN). Universidade Politécnica. Maputo.

Brunini, O., Brunini, A.P.C., de Carvalho, J.P., Junior, A.L.P. 2010. Micro-zoneamento agro-climatico como suporte à identificação de locais adequados para ensaios de campo e introdução de sistemas de produção. Relatório técnico final. IIAM, Maputo.

Costa, C., Delgado, C. 2019. The cashew value chain in Mozambique. Jobs Working Paper, 32. World Bank Jobs. 74 p.<www.worldbank.org>.

Delgado, C., Costa, C. e Federica, R. 2021. More and better jobs from crops and trees in Mozambique. Washington, DC: International Bank for Reconstruction and Development - The World Bank.

Ferrão, J. E. M. 1995. O cajueiro (Anacardium occidentale L.). Lisboa: Instituto de Investigação Científica Tropical. 299 p.

Frei, V.V.M., Peixinho, D.M. 2014. A produção do cajú e a dinâmica socioespacial no distrito de Angoche, Nampula, Moçambique. Campo-Territorio: revista de geografia agraria 9(17): 622-651.

Gastélum-Martinez, E., Ramírez-Sucre, M.O., Rodríguez-Buenfil, I.M., Morales-Landa, J.L. 2016. Astringency reduction of cashew apple (Anacardium occidentale L.) to be used as alternative for human consumption. Short communication. Mexican Journal of Biotechnology 2016,1(2):20-28.

Milheiro, A. V., Evaristo, F. N. 1994. Manual do Cajueiro. Associação de técnicas de culturas tropicais, 1ª edição, Porto-Portugal.

Mohod, A., Jain, S., Powar, A. 2011. Cashew Nut Shell Waste: Availability in Small-Scale Cashew Processing Industries and Its Fuel Properties for Gasification. International Scholarly Research Network, ISRN Renewable Energy Volume 2011, Article ID 346191, 4 pages. doi:10.5402/2011/34619

Moraes, F.P.d., Rodrigues de Sousa,P.L., Luís Fernando Polesi, F. L., Alexandrino, A.C., Souza, S. L. 2024. Phyicochemical, technological and bioactive composition of cashew peduncle: Review. CIAGRO. doi: https://doi.org/10.31692/VCIAGRO.0100

Moreira, R., Orsini, R.d.R., Vaz, J.M., Penteado, J.C., Spinacé, E.V. 2016. Production of biochar, bio-oil and synthesis of Gás from cashew nut shell by slow pyrolysis. Waste and Biomass Valorization 8(1). doi: https://10.1007/s12649-016-9569-2.

Nitidae. 2020. Competitividade da indústria do caju em Moçambique. Ntidae- Cadeias de Valor e Territórios-, em colaboração com: Agence Française de Developpement- AFD- e Instituto de Fomento de Caju, IP – INCAJU, IP. Maputo.

Nitidae. 2023. Estudo de mercado. Subprodutos da casca de cajú. Projecto ACAMOZ, Instituto de Amêndoas de Moçambique, Maputo.

Niveditha, C., Veena, B. M., Shweatha, H. E. 2024. Formulation of cashew apple-based products for nutrition-centric sustainability. International Journal of Science and Research Archive, 12(01): 2169–2178. https://doi.org/10.30574/ijsra.2024.12.1.0958

Nocias, F.C. 2015. Análise económica e econométrica da oferta da castanha de cajú no distrito de Manjacaze, no período (2003 a 2012), Província de Gaza. Tese de licenciatura em economia. Escola Superior de Desenvolvimento Rural. Universidade Eduardo Mondlane. Vilankulo.

Ojediran, T., Akande, O., Emiola, A. 2024. Cashew (Anacardium Occidentale L.) products and byproducts: Nutrient constituents and nutritional benefits in livestock diets, Journal of Animal Science and Products (JASP) 7 (1): 42-62. doi: 10.51970/jasp.1350311.

Preethi, P., Mangalassery, S., Dagadhair, R. 2019. Prospects of cashew apple- A compilation Report-Technical Report. doi: 10.13140/RG.2.2.34521.36967

Uaciquete, A., Karsten, L., Smith, J. 2013. Epidemiology of cashew anthracnose (Colletotrichum gloeosporioides Penz.) in Mozambique. Crop Protection 49:66–72. doi:10.1016/j.cropro.2013.02.016

Uaciquete, A., Manjate, C., Muidingui, L. 2017. Powdery Mildew and Nutritional Qualities of Cashew Apple and Kernels. Journal of Agriculture studies. 5(3): 116-131.

World Bank (WBG). 2022. O cajú em Moçambique. Desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável. The International Bank for reconstruction and development. The world Bank Group. USA.

Zitha, E. Z. M., António, L.S. & Abdurramane, H. 2019. Receitas de processamento dos sub.produtos do cajú. Instituto de fomento do cajú, INCAJÚ-IP. Maputo.

ARTIGO Nº23555

DESENVOLVIMENTO DE AGENTES DE CURA DERIVADOS DO LÍQUIDO DA CASTANHA DE CAJU (CNSL) PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS EPÓXI DE ISOLADORES ELÉCTRICOS

Chirico Júnior, A. S.[1], Cumbane, A.[2], Manhique, A.[1,3]

[1] Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Ciências, Departamento de Química
[2] Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia Química
Email: [1]aschiricojunior@gmail.com; [2]ajcumbane@yahoo.co.uk; [3]araomanhique@gmail.com

RESUMO

Este estudo propõe o desenvolvimento de agentes de cura bio-baseados a partir do líquido da castanha de caju (CNSL), visando a sua aplicação em sistemas epóxi destinados a isoladores eléctricos. A iniciativa surge da necessidade de substituir agentes petroquímicos, amplamente utilizados, por alternativas renováveis e ambientalmente sustentáveis. O CNSL, rico em cardanol, oferece uma estrutura química versátil para a síntese de agentes de cura eficientes, com potencial para conferir propriedades térmicas, mecânicas e dieléctricas adequadas às exigências da indústria eléctrica. A metodologia envolve a extracção e purificação do cardanol por destilação a vácuo, seguido da sua modificação com epicloridrina e aminólise com agentes nitrogenados para obtenção de aminas aromáticas. O produto será caracterizado por técnicas como FTIR, RMN e GPC. Em seguida, compósitos epóxis serão formulados com e sem cargas dieléctricas (como Al_2O_3 ou mica), curados termicamente e submetidos a ensaios térmicos (DSC, TGA), eléctricos (rigidez dieléctrica, constante dieléctrica, tangente de perdas) e mecânicos (dureza Shore D, tracção). Os resultados esperados incluem a obtenção de um agente de cura local, eficiente e sustentável, com desempenho comparável a sistemas comerciais. A proposta contribui para a valorização de subprodutos agrícolas, impulsionando a química verde e o desenvolvimento tecnológico nacional.

***Palavras-chave*:** CNSL, resina epóxi, cardanol, isoladores eléctricos, agentes de cura bio-baseados

ARTIGO Nº23560

TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA PROVENIENTE DOS POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS DA SASOL POR ELECTROCOAGULAÇÃO E FILTRAÇÃO

Jone, M.[1]; Cuamba, A.[2]; Pondja, E.[3]; Eduardo, M.[4]
Departamento de Pós-graduação, Faculdade de Engenharia, Universidade Eduardo Mondlane (UEM), Moçambique, Maputo
E-mail: moraisjone68@gmail.com[1]; arcanjocuamba9@gmail.com[2]

RESUMO

O presente estudo tem como objectivo avaliar a eficiência do tratamento de água produzida proveniente dos poços de petróleo e gás da SASOL, através da técnica de electrocoagulação associada à filtração. A metodologia experimental adoptada baseia-se na utilização exclusiva de eléctrodos de alumínio, operando sob condições optimizadas de corrente, tensão e espaçamento entre eléctrodos, seguida de uma etapa de filtração destinada à remoção dos flocos gerados durante o processo. Pretende-se efectuar uma análise comparativa da qualidade da água antes e após o tratamento, com enfoque na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, tais como óleos e gorduras, turbidez, sólidos dissolvidos e demanda bioquímica de oxigénio. Para garantir a fiabilidade dos resultados, foram realizadas análises físico-químicas às amostras brutas e tratadas. Os resultados obtidos evidenciam uma elevada eficácia da metodologia aplicada, demonstrando o potencial da electrocoagulação conjugada com filtração como alternativa viável para o tratamento de efluentes na indústria petrolífera.

Palavras-chave: Electrocoagulação, filtração, água produzida, petróleo e gás, SASOL.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the efficiency of treating produced water from oil and gas wells operated by SASOL using the electrocoagulation technique combined with filtration. The experimental methodology adopted is based on the exclusive use of aluminium electrodes, operating under optimised conditions of current, voltage, and inter-electrode spacing, followed by a filtration stage to remove the flocs generated during the process. A comparative analysis of water quality before and after treatment is proposed, with emphasis on the removal of organic and inorganic contaminants such as oils and greases, turbidity, dissolved solids, and biochemical oxygen demand. To ensure the reliability of the results, physicochemical analyses were conducted on both raw and treated samples. The findings indicate high effectiveness of the applied method, demonstrating the potential of electrocoagulation coupled with filtration as a viable alternative for the treatment of effluents in the petroleum industry.

***Keywords*:** Electrocoagulation, filtration, produced water, oil and gas, SASOL.

INTRODUÇÃO

A crescente preocupação ambiental e os requisitos legais cada vez mais exigentes têm impulsionado a procura por soluções tecnológicas eficazes para o tratamento de efluentes industriais, com especial destaque para a água produzida na indústria petrolífera. Esta água,

gerada como subproduto da extração de petróleo e gás natural, apresenta uma composição complexa, contendo hidrocarbonetos, óleos e graxas, metais pesados, sólidos suspensos, sais dissolvidos e aditivos químicos (Igunnu & Chen, 2012). A sua descarga sem tratamento adequado pode resultar em sérios impactos ambientais, incluindo a contaminação de águas subterrâneas, degradação de habitats aquáticos e riscos à saúde pública (Fakhru'l-Razi et al., 2009).

A SASOL, enquanto uma das principais operadoras da indústria de petróleo e gás em Moçambique, é responsável pela produção de volumes significativos de água contaminada, o que exige soluções tecnológicas eficazes, sustentáveis e economicamente viáveis. Embora métodos convencionais, como a coagulação química, a floculação, os sistemas de lodos activados e a osmose reversa, sejam amplamente utilizados, estes apresentam limitações, como a baixa eficiência face a elevadas cargas orgânicas e salinidade, elevados custos operacionais e a necessidade de reagentes químicos adicionais (Ahmadun et al., 2009; Silva et al., 2021).

A electrocoagulação (EC) surge como uma alternativa promissora ao combinar simplicidade operacional com elevada eficiência na remoção de poluentes. Neste processo, eléctrodos metálicos (geralmente de ferro ou alumínio) são submetidos a uma corrente eléctrica directa, provocando a libertação in situ de iões metálicos que actuam como coagulantes primários. Estes iões formam hidróxidos metálicos que desestabilizam coloides e adsorvem contaminantes, permitindo a sua remoção por sedimentação ou filtração (Mollah et al., 2004; Chen, 2004).

No caso da utilização de eléctrodos de alumínio, as reacções eletroquímicas fundamentais que ocorrem durante o processo de EC são as seguintes:

No ânodo:

- $Al(s) \rightarrow Al^{3+}(aq) + 3e^{-}$ (1)
- $2H_2O(l) \rightarrow O_2(g) + 4H^{+}(aq) + 4e^{-}$ (2)

No cátodo:

- $Al^{3+}(aq) + 3e^{-} \rightarrow Al(s)$ (3)
- $2H_2O(l) + 2e^{-} \rightarrow H_2(g) + 2OH^{-}(aq)$ (4)

A libertação de iões Al^{3+} no ânodo leva à formação de hidróxidos de alumínio [$Al(OH)_3$], que funcionam como floculantes naturais. Estes hidróxidos têm forte capacidade de adsorção de partículas coloidais, matéria orgânica e óleos, permitindo a agregação e posterior separação das impurezas (Kobya et al., 2003). Simultaneamente, a produção de microbolhas de oxigénio e hidrogénio contribui para a flotação dos flocos formados, facilitando ainda mais a separação das fases.

Adicionalmente, a incorporação de uma etapa de filtração após a electrocoagulação permite a remoção efectiva dos flocos metálicos e partículas suspensas remanescentes, resultando numa melhoria significativa na qualidade final da água tratada (Bazrafshan et al., 2012). Esta abordagem integrada – electrocoagulação seguida de filtração – tem vindo a ser estudada como uma solução eficaz e sustentável para o tratamento de águas produzidas e outros efluentes industriais (Zodi et al., 2010).

Deste modo, o presente trabalho tem como objectivo avaliar a eficácia do processo de electrocoagulação utilizando exclusivamente eléctrodos de alumínio, seguido de filtração, na remoção de contaminantes presentes na água produzida proveniente dos poços de petróleo e gás da SASOL. A proposta visa não apenas demonstrar a viabilidade técnica do processo, mas também contribuir para a adopção de práticas de gestão ambiental mais sustentáveis no sector petrolífero moçambicano.

PARTE EXPERIMENTAL

Recolha das amostras

As amostras de água produzida foram recolhidas no Laboratório de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane (UEM), situado na Av. de Moçambique, km 1.5, Caixa Postal 257, Cidade de Maputo, em 21 de Maio de 2025. O processo de amostragem seguiu as orientações das normas em vigor em Moçambique, com base em referências internacionais, nomeadamente a norma ISO 5667-10 (Directrizes para a amostragem de efluentes industriais) e a ISO 5667-3 (Preservação e manuseamento de amostras de água). Estas normas asseguram a representatividade, integridade e rastreabilidade das amostras recolhidas em corpos hídricos e efluentes líquidos, permitindo garantir a fiabilidade dos resultados experimentais.

Concepção e montagem do sistema de electrocoagulação

Para a realização dos ensaios, foi desenvolvido um reactor laboratorial em acrílico com dimensões de 33 cm de comprimento, 9 cm de altura e 9 cm de largura. No seu interior foram instaladas células electrolíticas compostas por 10 placas de alumínio com 1 mm de espessura, dispostas paralelamente e com espaçamento uniforme de 3 mm. A área de contacto submersa total foi de 225 cm^2, sendo que cada eléctrodo (ânodo ou cátodo) possuía uma área efectiva de 112,5 cm^2.

O sistema foi alimentado por dois coletores distribuidores de corrente elétrica, um com polaridade positiva (+) e outro com polaridade negativa (–), configurados de modo a criar um arranjo alternado entre ânodos e cátodos, formando assim um circuito em paralelo (ver Figura 1). Este arranjo optimiza a distribuição do campo eléctrico no meio reacional, promovendo uma dissolução eficiente dos eléctrodos e, consequentemente, a formação homogénea de coagulantes.

A aplicação do potencial eléctrico foi assegurada por uma fonte retificadora da marca HQ POWER, modelo PS5005. Este equipamento possui controlo de tensão ajustável manualmente através de um potenciómetro, operando na gama de 0 a 50 V, com leitura simultânea de tensão e corrente por meio de voltímetro e amperímetro digitais. Este controlo permitiu um acompanhamento contínuo dos parâmetros eléctricos ao longo dos ensaios, garantindo a segurança e estabilidade do processo.

Optimização das condições operatórias

A etapa inicial dos ensaios consistiu na definição da faixa de tensão a aplicar aos eléctrodos. Esta selecção baseou-se na observação do desprendimento de bolhas gasosas durante a electrólise, relacionando visualmente a sua intensidade com o aumento do potencial eléctrico. O objectivo era assegurar uma libertação adequada de coagulantes metálicos e microbolhas que favorecessem os mecanismos de floculação e flotação. Para garantir a integridade do sistema,

foram respeitados os limites operacionais da fonte de alimentação, evitando sobrecargas e falhas nos componentes electrónicos.

Com base em ensaios preliminares, estabeleceu-se um tempo de reacção de 30 minutos como suficiente para alcançar a clarificação efectiva da amostra. Este valor foi adoptado como padrão em todos os ensaios subsequentes, permitindo a comparação dos resultados obtidos em diferentes condições operacionais.

Procedimentos de tratamento e parâmetros operacionais

Os ensaios de electrocoagulação foram conduzidos em condições controladas de laboratório, tratando-se volumes de 1,5 L de amostra homogeneizada por ensaio. O potencial aplicado variou entre 1,0 e 2,0 volts, com incrementos de 0,5 V e um tempo de exposição fixo de 30 minutos.

Durante os ensaios, não foi utilizada agitação mecânica adicional. A circulação do líquido ocorreu por convecção natural, promovida pela formação de bolhas de gás (H_2 e O_2) geradas nas reacções eletroquímicas nos eléctrodos, o que contribuiu para a agitação do sistema e transporte das partículas coaguladas.

Após o tratamento da água no reactor de electrocoagulação, as amostras tratadas foram submetidas a um processo de filtração a vácuo, utilizando filtros de membrana com porosidade de 0,45 micrómetros. Para tal, recorreu-se a um sistema de filtração a vácuo composto por funil de vidro, suporte para filtro, recipiente de vácuo e bomba de vácuo, assegurando a remoção eficiente das partículas sólidas residuais presentes na água tratada. Os filtros foram previamente condicionados com água destilada para eliminar possíveis contaminantes.

A filtração foi efectuada até à completa passagem do volume da amostra, garantindo uma amostra clarificada e adequada para as análises subsequentes.

Para a avaliação da eficiência do tratamento, foram realizados ensaios de cor aparente e turbidez, utilizando um turbidímetro portátil WTW Turb 430T. Complementarmente, analisaram-se os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos (TDS), concentração de óleos e gorduras, e demanda bioquímica de oxigénio em cinco dias (DBO_5), recorrendo a um medidor multiparâmetro portátil Revio e aos procedimentos laboratoriais normalizados.

Caracterização físico-química das amostras

A caracterização físico-química das amostras de água produzida, antes e após o tratamento por electrocoagulação, foi realizada de acordo com os procedimentos descritos no manual Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22.ª edição (APHA, 2012). Estes métodos seguem protocolos internacionalmente reconhecidos para a análise de efluentes líquidos e garantem a comparabilidade dos resultados obtidos.

Tratamento estatístico dos dados

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente com recurso ao teste de Tukey, adoptando um nível de significância de 5% ($p < 0,05$) e um intervalo de confiança de 95%. Esta abordagem permitiu comparar as médias dos diferentes tratamentos e identificar as condições operacionais mais eficazes, com rigor científico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da água produzida

Análises físico-químicas

A avaliação da qualidade da água residual submetida ao tratamento por electrocoagulação (EC) foi efectuada mediante a medição de diversos parâmetros físico-químicos relevantes, nomeadamente: cor aparente, pH, turbidez, condutividade eléctrica, sólidos totais dissolvidos (TDS) e a procura bioquímica de oxigénio ao quinto dia (DBO_5). Estes parâmetros foram analisados em diferentes correntes amostrais, com o objectivo de identificar as alterações promovidas pelo processo de tratamento.

De forma a assegurar a precisão e a reprodutibilidade dos dados obtidos, todas as determinações foram realizadas em triplicado, permitindo uma validação estatística rigorosa dos resultados. Esta abordagem metodológica garante a fiabilidade dos dados e sustenta as conclusões relativas à eficiência do processo de electrocoagulação.

Tabela 1. Resultados obtidos para água produzida bruta e tratado utilizando diferentes correntes eletroquímicas.

	Amostra	pH	Turbidez (NTU)	Conductividade (µS/cm)	TDS (mg/L)	DBO (mg/L)
	Bruta	6.62	85.49	487.23	365.42	134
1.0 V	**0,09 A**	7.32	14.19	328.37	246.28	8.67
1.5 V	**0,86 A**	7.07	8.51	296.54	222.41	3.95
2.0 V	**2.29 A**	7.07	1.82	214.71	161.03	2.14

Os resultados obtidos demonstram a elevada eficiência do tratamento da água produzida proveniente de poços de petróleo por electrocoagulação (EC), utilizando elétrodos de alumínio, seguido de uma etapa de filtração a vácuo por membrana. A análise dos parâmetros físico-químicos revela melhorias significativas na qualidade da água, em função das diferentes condições eletroquímicas aplicadas, conforme apresentado na tabela acima.

Observou-se um aumento do pH de 6,62 para 7,32 nas amostras tratadas, mantendo-se dentro dos limites legais estabelecidos para o descarte de águas residuais, segundo o Decreto n.º 52/2023, de 30 de Agosto. Esta elevação do pH é uma consequência esperada do processo de EC com elétrodos de alumínio, resultado da hidrólise dos iões Al^{3+}, que consome protões (H^+) e promove a formação de hidróxidos metálicos, tal como descrito por Rodrigues et al. (2021) e Fakhru'l-Razi et al. (2009). Este comportamento é particularmente vantajoso para o tratamento de águas residuais com carácter levemente ácido, como é o caso da água produzida da indústria petrolífera.

A remoção de turbidez foi altamente eficiente: o valor inicial de 85,49 NTU foi reduzido para 14,19 NTU a 1.0 V, 8,51 NTU a 1.5 V e 1,82 NTU a 2.0 V, representando reduções superiores a 97%. Esta tendência confirma que o aumento da corrente favorece a geração de coagulantes metálicos e a formação de microbolhas de gás, fundamentais para a floculação e remoção de

partículas suspensas, como descrito em estudos sobre águas produzidas por Mollah et al. (2004) e Ahmadun et al. (2009).

A condutividade eléctrica e os sólidos totais dissolvidos (TDS) diminuíram progressivamente com o aumento da corrente. Esta diminuição indica a remoção eficaz de espécies iónicas e coloidais, reforçando a capacidade da electrocoagulação para remover compostos dissolvidos presentes na água produzida, conforme evidenciado por Silva et al. (2020).

A demanda bioquímica de oxigénio (DBO_5) sofreu uma redução expressiva, de 134 mg/L (bruto) para 2,14 mg/L na condição de 2.0 V – uma eficiência de remoção de cerca de 98%. Este resultado é notável, considerando que a DBO é um indicador chave da carga orgânica presente no efluente. Reduções semelhantes foram reportadas por Guedes et al. (2018) no tratamento de águas produzidas por EC em série com filtração.

Importa salientar que, após o tratamento electroquímico, a água tratada foi submetida a filtração por membrana de 0,45 µm, sob vácuo, o que contribuiu significativamente para o refinamento do efluente final. Esta etapa adicional permitiu a remoção de partículas coloidais e microflocos residuais que poderiam não ter sido totalmente eliminados apenas pela electrocoagulação. A combinação sequencial EC-filtração tem vindo a ser referida na literatura como uma estratégia eficaz para o tratamento de águas complexas, incluindo águas produzidas, como demonstrado por Al-Shamrani et al. (2002) e Zhou et al. (2020).

Portanto, os resultados obtidos neste estudo reforçam que a electrocoagulação com elétrodos de alumínio, aliada à filtração por membrana, constitui uma abordagem robusta, eficiente e tecnicamente viável para o tratamento de água produzida de poços petrolíferos. Esta combinação promoveu reduções superiores a 95% nos principais parâmetros físico-químicos avaliados, posicionando-se como uma alternativa promissora para o cumprimento dos padrões ambientais de descarte.

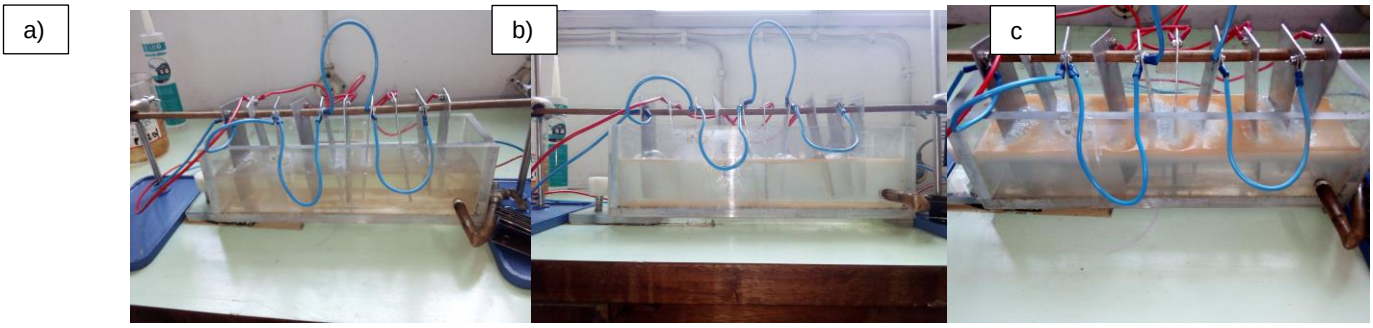


Figura 1. Tratamento por electrocoagulação: (a) tempo zero, (b) durante a electrocoagulação, (c) após 30 minutos com placas de alumínio.

De acordo com os resultados obtidos, os melhores desempenhos na remoção de poluentes foram verificados na condição operatória de 2,0 V e 2,29 A, utilizando elétrodos de alumínio com distância interelectródica de 3 mm, seguida de filtração por membrana (0,45 µm) a vácuo. Nesta configuração, alcançaram-se eficiências de remoção superiores a 97% para a turbidez, que passou de 85,49 para 1,82 NTU, e redução da DBO em mais de 98%. Estes resultados demonstram a elevada eficácia do sistema conjugado de electrocoagulação e filtração na depuração de águas produzidas provenientes de poços petrolíferos.

A intensidade da corrente eléctrica revelou-se determinante na eficácia do processo, ao influenciar directamente a quantidade e o diâmetro das microbolhas de gás (H_2 e O_2) formadas durante a electrólise. Estas bolhas promovem a ascensão dos flocos gerados, facilitando a sua

remoção por flotação. Tal como referem Emamjomeh e Sivakumar (2009) e Vasudevan et al. (2010), existe uma relação proporcional entre o aumento da corrente e a produção de coagulantes metálicos e bolhas, até se atingir um ponto óptimo, a partir do qual ganhos adicionais tornam-se pouco significativos ou energeticamente desvantajosos.

No presente estudo, condições de potencial mais baixo, como 1,0 V (0,09 A) e 1,5 V (0,86 A), apresentaram reduções consideráveis na turbidez e DBO, mas inferiores às obtidas em 2,0 V, sugerindo que, nestas condições, a formação de coagulantes e bolhas não foi suficiente para promover uma floculação e flotação eficazes. Por outro lado, o aumento da corrente para 2,29 A potenciou não só a remoção de contaminantes, como também assegurou uma operação estável, sem evidência de passivação dos eléctrodos ou consumo energético excessivo.

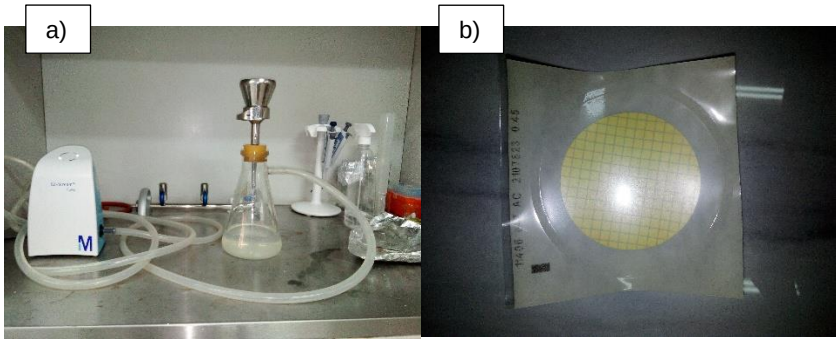


Figura 2. Filtração a vácuo. a) filtração da agua tratada por electrocoagulação. b) membrana de 0.45 μm.

A introdução de uma etapa complementar de filtração por membrana de 0,45 micrómetros a vácuo revelou-se crucial para refinar a clarificação da água tratada, promovendo a remoção de microflocos e partículas coloidais residuais que persistem após a electrocoagulação. A combinação EC-filtração é amplamente reconhecida na literatura como uma abordagem eficaz para o tratamento de águas produzidas complexas, nomeadamente por permitir a obtenção de efluentes compatíveis com padrões legais de descarga ou reutilização, conforme demonstrado por Al-Mutairi et al. (2004) e da Silva et al. (2022).

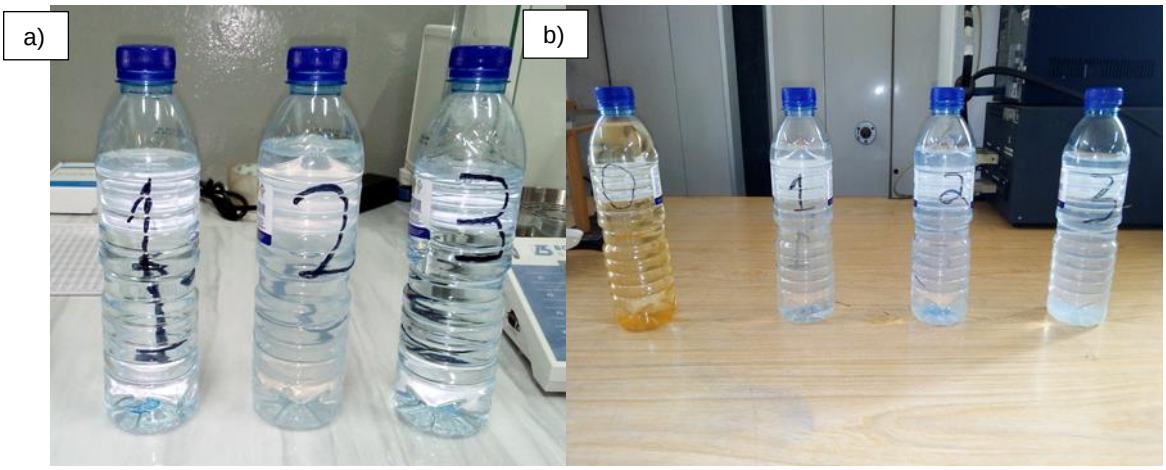


Figura 3. Água tratada. a) tratamento apenas por electrocoagulação. b) tratamento por electrocoagulacao seguida de filtração. Nota: 0, 1, 2 e 3 representam a amostra bruta seguido do primeiro ao último (3) tratamento com o potencial de 2 V, respectivamente.

Observa-se na Figura 3 uma melhoria progressiva na claridade da água ao longo dos tratamentos, evidenciando a eficiência da eletrocoagulação, especialmente quando combinada

com filtração. A redução visual da turbidez entre as amostras 0 a 3 indica um aumento na remoção de partículas suspensas à medida que o processo avança sob o potencial de 2 V.

A tabela a seguir mostra a eficiência do tratamento da água produzida para diferentes parâmetros.

Tabela 2. Comparação entre os parâmetros analisados para água residual bruta e tratada por electrocoagulação.

Parâmetros	Água Bruta	Água Tratada	Eficiência(%)	LEGISLAÇÃO*
pH	6.62	7.15	-	6 a 9
Turbidez (NTU)	85.49	8.17	90.44	-
Conductividade (μS/cm)	487.23 (0,5)	281,00 279.87	-	-
TDS (mg/L)	365.42	209.91	42.56	-
DBO (mg/L)	134	4.92	96.33	30
Óleos e gorduras (%)	2.17	0,09	95.85	10

*Decreto n.o 52/2023 de 30 de Agosto

Conforme se pode observar na Tabela 2, entre os parâmetros avaliados, destacam-se as reduções obtidas na demanda bioquímica de oxigénio (DBO) e nos teores de óleos e gorduras, que apresentaram eficiências de remoção de 96,33% e 95,85%, respectivamente. Estes resultados evidenciam uma significativa depuração da matéria orgânica biodegradável e dos compostos oleosos, assegurando o cumprimento dos limites legalmente estabelecidos para descarga (30 mg/L para DBO_5 e 10% para óleos e gorduras).

O tratamento permitiu ainda uma redução expressiva da turbidez, que passou de 85,49 para 8,17 NTU (eficiência de 90,44%), e uma atenuação moderada nos sólidos totais dissolvidos (TDS), com diminuição de 365,42 para 209,91 mg/L (redução de 42,56%). Embora a remoção de TDS não tenha sido tão elevada quanto a dos demais parâmetros, a diminuição observada contribui de forma relevante para a melhoria da qualidade global do efluente.

Importa salientar também a correcção natural do pH, que evoluiu de 6,62 para 7,15, situando-se dentro do intervalo legal permitido, o que demonstra a capacidade do processo de neutralizar ligeiramente a acidez sem necessidade de correcção química externa. Esta característica representa uma vantagem operacional relevante, sobretudo em contextos de tratamento descentralizado ou em locais com limitações de insumos.

De um modo geral, os dados obtidos confirmam a eficiência e a versatilidade do sistema de electrocoagulação com alumínio como solução tecnológica viável para o tratamento de águas produzidas, assegurando uma substancial melhoria na qualidade do efluente tratado. As percentagens de remoção obtidas para os diferentes parâmetros encontram-se sintetizadas na Figura 4.

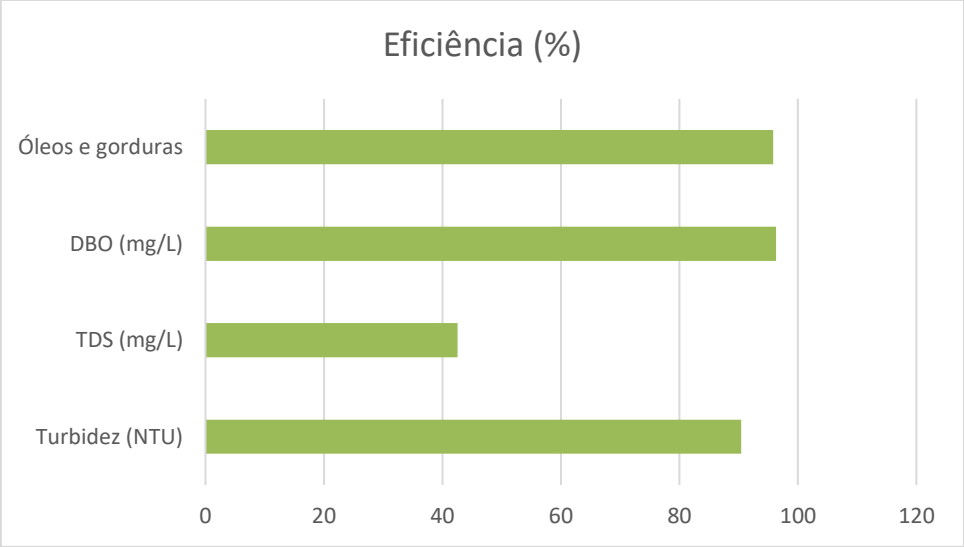


Figura 4. Eficiência de remoção dos contaminantes por EC com eléctrodos de alumínio.

Resultados consistentes têm vindo a ser reportados na literatura relativamente à eficiência da electrocoagulação (EC) no tratamento de efluentes complexos, incluindo águas residuais oleosas provenientes de indústrias diversas. Estudos recentes, como os de Al-Mutairi et al. (2004) e Silva et al. (2020), demonstram a elevada capacidade desta técnica na remoção de compostos orgânicos e óleos em emulsão, com eficiências superiores a 90%, em linha com os resultados aqui obtidos.

No presente estudo, o processo de EC com elétrodos de alumínio, complementado por filtração membranar, atingiu uma eficiência de remoção de 95,85% para óleos e gorduras, resultado que confirma a afinidade entre os hidrocarbonetos presentes na água produzida e os hidróxidos de alumínio formados in situ durante a electrólise. Estes hidróxidos actuam como coagulantes metálicos que promovem a aglomeração de partículas hidrofóbicas, formando flocos leves e volumosos, com baixa densidade. Além da coagulação, destaca-se a contribuição da flotação electroquímica: a libertação de microbolhas de hidrogénio e oxigénio nas superfícies dos eléctrodos facilita a ascensão dos flocos para a superfície, acelerando a separação sólido-líquido. Este mecanismo sinérgico de coagulação-flotação é particularmente eficaz na separação de óleos, graxas e matéria orgânica em suspensão, como demonstrado por Vasudevan et al. (2011). Tais evidências reforçam o potencial da electrocoagulação como uma solução robusta para o tratamento de águas produzidas com elevada carga de compostos orgânicos e hidrocarbonetos. A excelente performance observada neste trabalho, especialmente no que respeita à remoção de óleos, confirma a adequação técnica da EC para a depuração de efluentes da indústria petrolífera, contribuindo para o cumprimento das normas ambientais e para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos.

CONCLUSÃO

O presente estudo confirmou que a electrocoagulação, quando associada a uma etapa subsequente de filtração por membrana, constitui uma abordagem eficiente, prática e ambientalmente favorável para o tratamento de água produzida na indústria petrolífera. A utilização de eléctrodos de alumínio, sob condições operacionais cuidadosamente ajustadas, permitiu a remoção significativa de poluentes orgânicos e inorgânicos, traduzindo-se em melhorias evidentes na qualidade do efluente tratado. As melhores performances foram registadas com uma corrente de 2,29 A e uma tensão de 2,0 V, tendo-se alcançado reduções superiores a 97% na turbidez e mais de 98% na DBO, bem como uma eliminação eficaz de

óleos e gorduras. A formação controlada de hidróxidos de alumínio favoreceu uma floculação eficiente, enquanto as microbolhas geradas durante o processo facilitaram a separação físico-química dos contaminantes.

Os resultados obtidos demonstram que o sistema EC-filtração é tecnicamente robusto e compatível com as exigências da indústria petrolífera em Moçambique, oferecendo uma solução promissora para o tratamento de efluentes complexos. A elevada eficiência do processo e o cumprimento dos parâmetros legais de descarga reforçam o seu potencial como alternativa viável para uma gestão hídrica mais sustentável no sector do petróleo e gás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmadun, F.-R., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., & Abidin, Z. Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 530–551. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044
- Al-Mutairi, N.Z., Hamoda, M.F., & Al-Ghusain, I. (2004). Coagulant selection and sludge characteristics in a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Bioresource Technology*, 95(2), 115–119.
- Al-Shamrani, A.A., James, A., & Xiao, H. (2002). Separation of oil from water by dissolved air flotation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 209(1), 15–26.
- Bazrafshan, E., Mostafapour, F. K., & Farzadkia, M. (2012). Oil removal from oily wastewater using electrocoagulation process. *International Journal of Environmental Research*, 6(2), 385–394.
- Chen, G. (2004). Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification Technology*, 38(1), 11–20. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2003.10.006
- da Silva, J.L., Rodrigues, L.R., & Lima, D.R.S. (2022). Electrocoagulation–ultrafiltration hybrid process for produced water treatment: Performance and membrane fouling analysis. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 102982.
- Emamjomeh, M.M., & Sivakumar, M. (2009). Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes. *Journal of Environmental Management*, 90(5), 1663–1679.
- Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L.C., Biak, D.R.A., Madaeni, S.S., & Abidin, Z.Z. (2009). Review of technologies for oil and gas produced water treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 530–551.
- Guedes, F., Silva, A.M.T., & Tavares, T. (2018). Electrochemical technologies for produced water treatment: State-of-the-art. *Chemosphere*, 209, 411–421.
- Igunnu, E. T., & Chen, G. Z. (2012). Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 9(3), 157–177. https://doi.org/10.1093/ijlct/cts049
- Kobya, M., Demirbas, E., Senturk, E., & Ince, M. (2003). Electrocoagulation of cadmium from aqueous solutions using aluminium electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, 100(1–3), 163–178.
- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., & Cocke, D. L. (2004). Electrocoagulation (EC)—science and applications. *Journal of Hazardous Materials*, 114(1–3), 199–210. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.08.009

- Rodrigues, L.R., Lima, D.R.S., & Andrade, L.H. (2021). Electrocoagulation for the treatment of petroleum industry effluents: A review. *Environmental Technology Reviews*, 10(1), 1–23.
- Silva, C. R. R. (2021). *Tratamento de efluentes da indústria petrolífera: Tecnologias e desafios*. Editora Engenharia Sustentável.
- Silva, F.C., Nascimento, M.A., Lima, R.P., et al. (2020). Treatment of real oilfield produced water by electrocoagulation process: Optimization, characterization and toxicity assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 104103.
- Vasudevan, S., Lakshmi, J., & Sozhan, G. (2010). Studies on the removal of iron from drinking water by electrocoagulation – A clean process. *Clean – Soil, Air, Water*, 38(3), 225–232.
- Zhou, X., Zhang, Y., Wei, Y., et al. (2020). Hybrid treatment of produced water by electrocoagulation and membrane filtration. *Separation and Purification Technology*, 248, 117005.

Simpósio Nº8: Poluição do Ar

22385 ELEMENTOS LIGADOS AO PM10 NA ATMOSFERA URBANA DE LUANDA: CONCENTRAÇÕES, FONTES E IMPACTOS. Célia A. Alves; Ana Sanchez de la Campa; Yago Cipoli; Leonardo Furst; Anabela Leitão; Manuel Feliciano. 1163

22386 QUALIDADE DO AR EM ESCOLAS DE LUANDA. Célia Alves; Yago Cipoli; Leonardo Furst; Estela Vicente; Joaquim Ituamba; Anabela Leitão. 1165

22410 DESEMPENHO DE UMA MICROESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR: RESULTADOS DE UM ESTUDO COLABORATIVO PORTUGAL-ANGOLA. Manuel Feliciano; Alan Victor da Silva; Leonardo Furst; Yago A. Cipoli; Marlene J. S. Soares; Anabela G. A. Leitão; Célia A. Alves. 1167

22654 TRATAMENTO DE EFLUENTES NA CIDADE DA BEIRA. Baptista Maparage; Albano Sâlzon Maparagem. 1187

ARTIGO Nº22385

ELEMENTOS LIGADOS AO PM_{10} NA ATMOSFERA URBANA DE LUANDA: CONCENTRAÇÕES, FONTES E IMPACTOS

Célia A. Alves[1(*)], Ana Sanchez de la Campa[2,3], Yago Cipoli[1], Leonardo Furst[1], Anabela Leitão[4], Manuel Feliciano[5]

[1]Departamento de Ambiente e Ordenamento, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal
[2]Associate Unit CSIC-University of Huelva "Atmospheric Pollution", Centre for Research in Sustainable Chemistry - CIQSO, University of Huelva, E21071 Huelva, Spain
[3]Department of Mining, Mechanic, Energetic and Construction Engineering, ETSI, University of Huelva, 21071 Huelva, Spain
[4]LESRA – Laboratório de Engenharia da Separação, Reação e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Av. Ho Chi Minh nº 201, Luanda, Angola
[5]CIMO, LA SusTEC, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, 5300-253 Bragança, Portugal
(*)*Email:* celia.alves@ua.pt

RESUMO

De acordo com estimativas recentes do Health Effects Institute, a poluição atmosférica é responsável por 8,1 milhões de mortes prematuras por ano em todo o mundo, 90% das quais são causadas pelo material particulado. Os resultados da primeira campanha intensiva de monitorização de material particulado inalável (PM_{10}) realizada em Luanda mostraram que os níveis diários excedem consistentemente o valor guia da Organização Mundial de Saúde. Embora as concentrações de PM_{10} na capital angolana sejam inferiores aos encontrados nos principais centros urbanos do sul da Ásia, situam-se acima dos valores reportados para muitas cidades europeias, brasileiras e norte-americanas. A análise elementar do PM_{10} indicou que as fontes dominantes incluem: i) poeiras minerais, provenientes sobretudo de estradas não pavimentadas e solos locais, ii) emissões do tráfego, com rácios entre elementos (e.g., Fe/Cu, Cu/Sb, Zn/Sb) a destacar as contribuições do desgaste de travões e pneus, e iii) refinação de petróleo e outras atividades industriais. Os "índices de perigo" excederam o limiar considerado seguro tanto para crianças como para adultos, assinalando potenciais efeitos adversos na saúde devido à exposição a elementos como o Fe, Mn, Be, Pb, Ni, Co e Sb. Os elementos ligados ao PM_{10} revelaram também que os "riscos carcinogénicos" associados à inalação deste poluente são inaceitáveis, exigindo atenção imediata e medidas de mitigação. Foram observados "riscos ecológicos" extremamente elevados, para os quais contribuem níveis elevados de vários elementos tóxicos, como o Cd e o Sb. Foi também obtido um "índice de risco de Nemerow" muito elevado que evidencia níveis críticos de contaminação e reforça a necessidade urgente de monitorização e controlo da poluição.

***Palavras-chave**:* Luanda, PM_{10}, elementos, índices de contaminação, riscos para a saúde.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FCT pelas bolsas SRFH/BD/08461/2020 e SFRH/BD/04992/2021 e pelo financiamento ao CESAM (UIDP/50017/2020 + UIDB/50017/2020 + LA/P/0094/2020). Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto "Poluição do ar numa megacidade africana: fontes e implicações na saúde – APAM" (DOI: 10.54499/2022.04240.PTDC), financiado por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES.

ARTIGO Nº22386

QUALIDADE DO AR EM ESCOLAS DE LUANDA

Célia Alves[1(*)], Yago Cipoli[1], Leonardo Furst[1], Estela Vicente[1], Joaquim Ituamba[2], Anabela Leitão[2]

[1]Departamento de Ambiente e Ordenamento, Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal
[2] Laboratório de Engenharia da Separação, Reação e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Avenida Ho Chi Minh n° 201, Luanda, Angola
(*) *Email:* celia.alves@ua.pt

RESUMO

Apesar dos muitos estudos sobre níveis de material particulado e de poluentes gasosos em ambientes escolares em países desenvolvidos, a qualidade do ar em estabelecimento de ensino africanos tem sido negligenciada. Neste estudo, as concentrações atmosféricas de material particulado com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (PM_{10}) foram avaliadas em várias salas de aula e nos pátios exteriores de quatro escolas primárias de Luanda, Angola, em setembro e outubro de 2023, usando monitores fotométricos e amostradores gravimétricos. Paralelamente, foi efetuada a monitorização por métodos passivos de vários poluentes gasosos: benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), ozono (O_3), dióxido de azoto (NO_2) e compostos de carbonilo. As concentrações médias de PM_{10} variaram de 34,4 ± 27,5 a 118 ± 88,5 µg m^{-3} nas salas de aula e de 60,2 ± 19,1 a 125 ± 26,7 µg m^{-3} nos pátios exteriores das escolas. Em geral, os rácios interior/exterior para PM_{10} foram inferiores a 1. Verificou-se que as concentrações de PM_{10} nas escolas de Luanda são mais elevadas do que as reportados para estabelecimentos de ensino de países europeus, excedendo os valores guia recomendados pela Organização Mundial da Saúde. Contudo, os níveis de poluentes gasosos não excederam os limites de exposição e padrões de qualidade do ar estabelecidos por organismos internacionais. Os valores de NO_2 observados nas salas foram muito próximos dos obtidos no exterior, enquanto os de BTEX no interior excederam ligeiramente os registados nos pátios. Estes compostos tiveram origem maioritariamente nas emissões do tráfego rodoviário. Os níveis de O_3 nas salas de aula foram, em média, 2,3 vezes inferiores aos do exterior. Para a generalidade dos compostos de carbonilo, as concentrações nas salas de aula foram 1,8 a 3,8 mais elevadas do que as medidas nos pátios, sugerindo a presença de fontes de emissão ativas no interior. O butiraldeído, formaldeído e hexaldeído foram os compostos de carbonilo mais abundantes. Enquanto os níveis de BTEX, O_3 e NO_2 em Luanda se situaram nos intervalos reportados para escolas de países europeus, as concentrações de formaldeído nos estabelecimentos de ensino da capital angolana foram mais baixas, refletindo as melhores condições de ventilação natural, com aberturas frequentes de portas e janelas, propiciadas por um clima mais ameno.

***Palavras-chave**:* escolas, Luanda, PM_{10}, poluentes gasosos.

AGRADECIMENTOS

Agradece-se à FCT pelo contrato 10.54499/2022.00399.CEECIND/CP1720/CT0012, bolsa SFRH/BD/04992/2021 e financiamento ao CESAM (UIDP/50017/2020, UIDB/50017/2020 e LAP/0094/2020). Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto APAM (DOI: 10.54499/2022.04240.PTDC), financiado por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES.

ARTIGO Nº22410

DESEMPENHO DE UMA MICROESTAÇÃO DE BAIXO CUSTO DE MONITORIZAÇÃO DA QUALIDADE DO AR: RESULTADOS DE UM ESTUDO COLABORATIVO PORTUGAL-ANGOLA

Manuel Feliciano[1(*)], Alan Victor da Silva[1,2], Leonardo Furst[1,2], Yago A. Cipoli[1,2], Marlene J. S. Soares[2], Anabela G. A. Leitão[3], Célia A. Alves[2]

[1] CIMO — Centro de Investigação de Montanha, LA SusTEC — Laboratório Associado para a Sustentabilidade e Tecnologia em Regiões do Interior, Instituto Politécnico de Bragança, Portugal

[2] Departamento de Ambiente e Ordenamento, CESAM — Centro de Estudos do Ambiente e do Mar, Universidade de Aveiro, Portugal

[3] LESRA – Laboratório de Engenharia de Separação, Reação Química e Ambiente, Universidade Agostinho Neto, Luanda, Angola

(*) *Email:* msabenca@ipb.pt

RESUMO

A poluição atmosférica constitui um risco significativo para a saúde, sobretudo em regiões urbanizadas com monitorização limitada e gestão deficiente ou quase inexistente, devido à influência de contaminantes como o monóxido de carbono (CO), os óxidos de azoto (NOx = $NO+NO_2$), ozono (O_3) e material particulado (PM) no aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias. A utilização de microestações de baixo custo (MEBC) para monitorizar a qualidade do ar surge como uma solução promissora e económica, desde que a sua fiabilidade seja melhorada e validada. Entre junho e novembro de 2023, em Luanda (Angola), foi avaliada uma microestação Bettair®, comparando os seus dados com os de equipamentos de referência, abrangendo parâmetros meteorológicos, contaminantes gasosos (CO, NOx, O_3) e material particulado (PM_{10} e $PM_{2,5}$). Os resultados indicaram boa concordância para variáveis meteorológicas, CO e PM, embora para as partículas em suspensão, os declives das regressões lineares se tenham distanciado do valor unitário e apresentem elevados erros médios quadráticos (RMSE). Apesar dessas limitações, o sistema Bettair® demonstrou potencialidades relevantes para a monitorização em tempo real, permitindo a identificação de situações críticas, a análise de padrões de poluição e garantir suporte à gestão da qualidade do ar. No contexto geográfico de Luanda, onde os limites da OMS e da UE para $PM_{2,5}$ e NO_2 são frequentemente excedidos, os dados reforçam a urgência de implementar regulamentação e medidas rigorosas de proteção da saúde pública e do ambiente.

Palavras-chave: Gestão da qualidade do ar, sensores de baixo custo; métodos óticos; método gravimétrico, Luanda

INTRODUÇÃO

O aumento da esperança de vida e os avanços na medicina têm levado a que a morbilidade e mortalidade por doenças crónicas ultrapassem as agudas (Rosenthal, 2015), o que realça a importância da investigação interdisciplinar sobre a ligação entre qualidade ambiental e saúde humana. Vários estudos demonstram que a qualidade do ar impacta diretamente a saúde, com poluentes como óxidos de azoto (NOx), monóxido de carbono (CO), ozono (O_3) e material particulado (PM) a contribuírem para o aumento de doenças cardiovasculares e respiratórias

(Alvarez et al., 2020). Tais preocupações motivaram a criação de diretrizes e diretivas, tais como a Diretiva Europeia da Qualidade do Ar 2024/2881, as Diretrizes da OMS (OMS, 2021) e os Padrões da USEPA (USEPA, 2014).

Em África, apesar de muitos países não possuírem diretrizes específicas para a qualidade do ar, o continente enfrenta transições ambientais e epidemiológicas profundas (Fisher et al., 2021). As fontes de poluição atmosférica existentes estão associadas sobretudo aos transportes, indústrias, queima a céu aberto, incluindo queima de biomassa, e ressuspensão de poeiras de estradas pavimentadas e não pavimentadas, que contribuem significativamente para os níveis de PM_{10}, $PM_{2,5}$ e poluentes gasosos, especialmente em áreas urbanas (Lelieveld et al., 2015; Simwela et al., 2018). Estas fontes afetam a qualidade do ar local, regional e podem contribuir para a poluição transfronteiriça, com impactos em áreas urbanas e rurais (Cassiani et al., 2013).

Segundo o relatório State of Global Air 2020, da Health Effects Institute (HEI, 2020), o rápido crescimento populacional e a urbanização levaram a um aumento de 60% nas mortes relacionadas com a poluição do ar exterior em África entre 1990 e 2017. Em 2019, estimou-se que 1,1 milhão de mortes em África foram atribuídas à poluição do ar, sendo a poluição doméstica e o $PM_{2,5}$ ambiente os principais contribuintes (697.000 e 383.000 mortes, respetivamente). As mortes prematuras por poluição do ar são o dobro em África em relação à Europa (Kebede et al., 2021; Shikwambana e Tsoeleng, 2020). No continente africano, o pó mineral é o principal fator de mortalidade, seguido por emissões industriais/domésticas e queima de biomassa (Bauer et al., 2019).

Segundo a UNEP (2021), em Angola, a exposição a partículas finas foi 5,6 vezes superior às diretrizes da OMS, resultando em 18 mortes por 100.000 habitantes e contribuindo para 6% dos distúrbios neonatais. Apenas 6% das crianças africanas vivem perto de estações fiáveis de monitorização da qualidade do ar, em contraste com 72% na Europa e América do Norte (UNICEF, 2019). A falta de monitorização robusta ao nível do solo em África é compensada parcialmente por dados de satélite e modelos, embora com limitações de fiabilidade (Makoni, 2020). Dispositivos de monitorização precisos e fiáveis são fundamentais para avaliar a exposição e formular políticas eficazes (Bauer et al., 2019; Simwela et al., 2018).

Os equipamentos tradicionais de referência são precisos, mas apresentam custos elevados e pouca mobilidade. Sensores de baixo custo, baseados em semicondutores de óxidos metálicos, células eletroquímicas e contadores óticos de partículas, oferecem soluções acessíveis para monitorização em tempo real, permitindo redes extensas mesmo em regiões com recursos limitados. No entanto, o seu desempenho pode ser afetado por fatores ambientais como temperatura, humidade e presença de outros químicos (Clements et al., 2019; Giordano et al., 2021; Kelly et al., 2017), exigindo calibração face a métodos de referência como métodos gravimétricos para partículas ou métodos equivalentes como a atenuação beta, entre outros (di Meane et al., 2009; Kiss et al., 2017; Kovacs et al., 2021; Triantafyllou et al., 2016).

Embora os sensores de baixo custo representem uma alternativa promissora para a monitorização da qualidade do ar, é fundamental avaliar a sua fiabilidade sob diferentes condições ambientais. O presente estudo visou não apenas colmatar lacunas no conhecimento sobre a qualidade do ar em Luanda, mas também analisar, de forma sistemática e aprofundada, a viabilidade, validade e confiança dos sensores de baixo custo antes da sua integração em redes de monitorização. Este objetivo reveste-se de particular importância para garantir que os resultados obtidos sejam robustos e suportem decisões eficazes na gestão da qualidade do ar, tanto em regiões com significativas lacunas de dados e recursos financeiros, como em contextos onde essas limitações sejam menos acentuadas (Lebrusán & Toutouh, 2020).

DESCRIÇÃO METODOLÓGICA

Local e Período de Monitorização

A monitorização na cidade de Luanda, Angola, foi conduzida junto à Avenida 21 de Janeiro, entre 27 de junho de 2023 e 5 de novembro de 2023. Os equipamentos de monitorização foram instalados na área da Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto (-8°50'49.77" S, 13°13'51.11" W). Segundo dados de 2022, a área metropolitana de Luanda alberga mais de 9 milhões de habitantes, representando cerca de um terço da população do país. O clima é tropical húmido, com temperaturas médias diárias superiores a 29°C no verão e ligeiramente inferiores a 27°C no inverno. A cidade apresenta duas estações distintas: a estação chuvosa (de agosto a maio) e a estação seca (cacimbo, de maio a agosto) (Campos et al., 2021).

Luanda enfrenta desafios significativos em termos de poluição atmosférica, resultantes da rápida urbanização e do crescimento industrial. As emissões rodoviárias constituem uma das principais fontes de poluição do ar, devido ao aumento do número de veículos, muitos dos quais não possuem qualquer sistema de controlo de emissões, levando à libertação de poluentes como NOx, CO e PM. As atividades industriais, incluindo a refinação de petróleo e a manufatura, também contribuem para a má qualidade do ar, emitindo compostos orgânicos voláteis (COV), SO_2 e outras substâncias nocivas.

Instrumentação

Na Tabela 1 estão identificados os principais equipamentos utilizados, bem como os parâmetros medidos e os princípios de operação associados a cada um. De um modo geral, recorreu-se a vários de sistemas, adaptados a diferentes necessidades e recursos financeiros. As microestações de baixo custo, como os Bettair® Static Nodes MK2.5, são soluções económicas e simples, capazes de medir gases poluentes (NOx, CO, O_3, SO_2) e material particulado (PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1) com sensores eletroquímicos e óticos, além de parâmetros meteorológicos básicos. Destacam-se pela facilidade de instalação e transmissão de dados para uma nuvem, podendo ser apresentados em tempo real numa plataforma específica, sendo ideais para redes densas ou estudos iniciais, embora apresentem menor precisão. Importa referir que Estação Bettair® usada neste estudo já se encontrava numa fase final do prazo de validade dos seus sensores (aproximadamente 2 anos).

Já os métodos de referência, como os analisadores HORIBA® AP-370, que utilizam tecnologias avançadas (absorção UV, infravermelho, quimiluminescência) para gases, e os amostradores TECORA® Echo PM e Amostrador Gravimétrico de Elevado Caudal (AMS®) que utilizam a gravimetria para material particulado, garantem a máxima fiabilidade e conformidade com as atuais normas. Estes são utilizados em estações oficiais onde a exatidão é crucial. Entre estes extremos, há sistemas equivalentes e outros instrumentos de monitorização contínua. O analisador Beta, como F-701-20 da DURAG®, utiliza a atenuação de radiação beta para medir material particulado e é reconhecido como método equivalente, adequado para monitorização contínua em ambientes exigentes. O DustTrak baseia-se na dispersão da luz (método ótico) e não é considerado equivalente, mas sim um instrumento prático para monitorização operacional e investigação, sendo menos preciso do que os métodos de referência ou equivalentes, mas de qualidade superior aos sistemas de baixo custo.

Por fim, a estação meteorológica complementou a análise, fornecendo dados ambientais essenciais para avaliar o desempenho dos equipamentos, assim como interpretar a dispersão e acumulação de poluentes. A escolha do sistema depende do objetivo, da precisão/exatidão pretendida e do orçamento disponível.

Tabela 1: Equipamentos utilizados no estudo de monitorização da qualidade do ar: marcas e modelos, poluentes/parâmetros medidos e respetivos princípios de operação.

Equipamento (Marca/Modelo)	Poluentes/Parâmetros Medidos	Princípio de Operação
Microestação de Baixo Custo (Bettair® Static Node MK2.5)	NOx, CO, O_3, SO_2, PM_{10}, $PM_{2,5}$, PM_1, temperatura, humidade relativa, pressão atmosférica	Sensores eletroquímicos (gases), contador ótico de partículas (material particulado), sensores meteorológicos
Analisador de Ozono (HORIBA® APOA-360/APOA-370)	O_3 (ozono)	Absorção ultravioleta não dispersiva
Analisador de Monóxido de Carbono (HORIBA® APMA-370)	CO (monóxido de carbono)	Infravermelho não dispersivo (NDIR)
Analisador de Óxidos de Azoto (HORIBA® APNA-370)	NO, NO_2, NOx (óxidos de azoto)	Quimiluminescência de pressão reduzida
Amostrador Gravimétrico de PM (TECORA® Echo PM)	PM_{10} (material particulado)	Método gravimétrico: pesagem dos filtros antes e após amostragem
Amostrador Gravimétrico de Elevado Caudal (AMS®)	PM_{10} (material particulado)	Método gravimétrico: pesagem dos filtros antes e após amostragem
Analisador de Atenuação Beta para PM (DURAG® Beta F-701-20)	PM_{10} (material particulado)	Atenuação de radiação Beta
Monitor Ótico de PM (TSI® DustTrak)	PM (partículas com diâmetros óticos entre 0,3 e 10 µm)	Método ótico (MO) – Dipersão de luz
Estação Meteorológica (CS215, PYR-S, ARG100, anemómetro, catavento)	Temperatura, humidade relativa, radiação solar, precipitação, velocidade e direção do vento	Sensores meteorológicos (sensor capacitivo e termístor, termopar ou célula fotovoltaica coberta por um domo de vidro. pluviómetro de balança basculante, copos rotativos, palheta assimétrica montada sobre um eixo vertical)

Configuração da Estação de Qualidade do Ar

A montagem final do sistema está ilustrada na Figura 1, assim como uma imagem de satélite do local onde foi instalada. Além dos instrumentos de monitorização contínua, identificados na tabela anterior como analisadores, a estação meteorológica e a microestação de baixo custo, foram utilizados dois amostradores gravimétricos com cabeças de amostragem PM_{10}: um de elevado caudal, com filtros de quartzo de 15 cm, e outro de médio caudal, com filtros de Teflon de 47 mm. Os filtros de quartzo foram previamente calcinados a 500 °C para eliminar contaminantes orgânicos. Adicionalmente, foram ainda utilizados mais dois instrumentos de partículas: um analisador de atenuação de partículas β com medição contínua de $PM_{2,5}$ e um DustTrak, para medição contínua de PM_{10}, $PM_{2,5}$ e PM_1, operado apenas durante 23 dias.

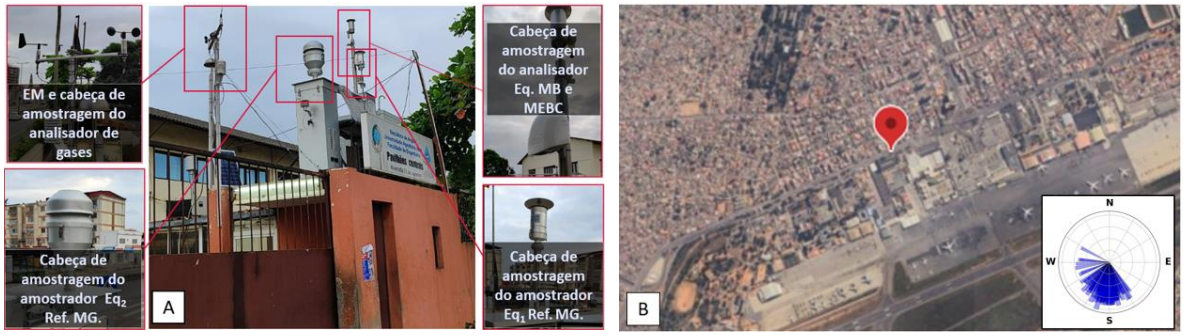


Figura 1. Sistema de monitorização em Luanda (A), e imagem de satélite e diagramas de rosa dos ventos (referente ao período de medição) (B). MEBC – microestação de baixo custo; EM – estação meteorológica; Eq. Ref. Gases – analisadores de gases Horiba, série AP-370; MB Eq. – monitor Beta; MG Ref. Eq_1. – Amostrador de médio caudal; Eq_2. Ref. MG – Amostrador de elevado caudal.

Processamento de Dados e Análise Estatística

Os dados foram adquiridos na hora local (LT) e, para alinhar com o período de recolha de material particulado (PM) pelos amostradores gravimétricos, todas as médias diárias representam o intervalo entre as 06:00 de um dia e as 06:00 do dia seguinte, conforme as disposições da Diretiva 2011/850/UE (CE, 2011). O conjunto de dados foi organizado numa folha de cálculo Excel para facilitar o acesso e foi processado em linguagem de programação Python, utilizando bibliotecas como NumPy, MatPlotLib, Sklearn e Pandas para análise gráfica e avaliação estatística. Isto incluiu a criação de perfis médios intradiários, a partir de medições horárias e análises de correlação linear entre equipamentos que medem os mesmos parâmetros.

Adicionalmente, foi utilizado um gráfico híbrido que combina elementos da abordagem de Bland-Altman e da regressão linear. Este gráfico apresenta a linha de regressão juntamente com os limites de concordância, definidos como a média das diferenças entre medições ± 1,96 desvios padrão (DP). A área sombreada representa as medições concordantes, com a linha média a indicar a correlação esperada entre os métodos. Subsequentemente, foram calculados indicadores paramétricos importantes, como o coeficiente de determinação (R^2) e o Erro Quadrático Médio (RMSE e RMSE percentual).

Para cada medição horária, foi adicionada ao conjunto de dados uma coluna adicional denominada "Diferença de Medição", representando a diferença absoluta entre as leituras do MEBC e do equipamento de referência. Para investigar o impacto das variáveis ambientais nestas discrepâncias, foi utilizado o coeficiente de correlação por postos de Spearman (ρ), assumindo uma relação não paramétrica entre a diferença de medição (MEBC vs. Equip. Ref.) e o parâmetro ambiental. Esta análise revelou o grau em que os fatores ambientais influenciam as discrepâncias nas medições. Foi considerado um valor de $p<0,05$ como critério de significância estatística para os testes realizados.

Através deste tipo análise abrangente, foi possível observar e investigar potenciais erros sistemáticos de viés do MEBC em comparação com o equipamento de referência, bem como as suas possíveis causas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Séries Temporais e Perfis Médios Intradiários

Condições Meteorológicas

A figura 2 apresenta a variação temporal horária da temperatura, humidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação registada em Luanda, entre junho e novembro de 2023. Algumas das variáveis foram obtidas pela MEBC e pelos sensores da EM.

Ao analisar os gráficos das principais variáveis meteorológicas em Luanda, entre junho e novembro, observa-se um padrão coerente com o esperado para a região e a época do ano. A temperatura apresenta uma evolução gradualmente ascendente, partindo de valores médios diários em torno 22,5°C em junho e atingindo máximas diárias próximas de 27,7°C em novembro, acompanhando a transição para a estação quente. A humidade relativa mantém-se elevada ao longo do período, influenciada pela proximidade do oceano, com pouca variação, refletindo o caráter tropical e húmido do clima local. Ainda assim, na estação chuvosa atinge valores mais elevados. A radiação solar também apresenta uma tendência crescente da estação seca para a estação húmida. Apesar da nebulosidade convectiva prevalecente no período chuvoso, a radiação global tende a exibir picos mais elevados do que na estação seca, durante intervalos de céu claro entre eventos de chuva, tendo atingido valores próximos dos 850 W/m²

nos finais de outubro/início de novembro. O vento variou entre velocidades fracas a moderadas (~0,5–3 m/s), com maior amplitude de variação durante o período chuvoso, mas sem registo de picos superiores a 3,5 m/s ou quedas abruptas. Este padrão está de acordo com a influência das brisas marítimas e a estabilidade atmosférica típica da região, conforme evidenciado pela análise dos dados horários. A pressão atmosférica apresenta-se relativamente estável ao longo do período, mas tende a apresentar um decréscimo da estação seca para a estação húmida, devido à influência do sistema de altas pressões, que prevalece na estação seca, associado à corrente fria de Benguela, e à dinâmica atmosférica regional. A pressão atmosférica variou ligeiramente com média de $1008 \pm 2{,}37$ mbar. Finalmente, quanto à precipitação, verificamos quase uma total ausência de chuva entre junho e setembro, seguida de um aumento ligeiro e esporádico em outubro e novembro, quando começam a surgir os primeiros episódios de precipitação, ainda assim pouco frequentes e de baixa intensidade.

Em termos de variação temporal ao longo do dia (ver figura 3), constatamos que a temperatura do ar, ao longo do período de medição, seguiu o padrão diurno esperado, com mínimos registados nas horas antes do nascer do sol e máximos durante a tarde, refletindo a influência direta da radiação solar. A amplitude térmica intradiária foi de aproximadamente 5 °C, evidenciando as condições de aquecimento e arrefecimento típicas de regiões com forte influência marítima.

A humidade relativa apresentou, como expectável, um comportamento inverso ao da temperatura, com valores mais elevados durante a madrugada e uma diminuição visível durante as horas mais quentes do dia. Em geral, a humidade relativa manteve-se elevada e estável, com média de $80{,}7 \pm 8{,}33\%$, característica típica do clima tropical costeiro de Luanda, onde a proximidade ao oceano favorece elevados níveis de humidade mesmo em períodos com precipitação reduzida. Esta oscilação está fortemente correlacionada com a temperatura e indica a importância da evapotranspiração e da radiação solar nos balanços hídricos locais.

A velocidade do vento variou entre fraca a moderada, sendo mais baixa durante a noite e início da manhã, aumentando gradualmente das horas solares e voltando a decrescer após o por do sol. A velocidade média do vento foi de $1{,}51 \pm 0{,}47\ \mathrm{m\,s^{-1}}$, com picos entre as 14:00h e as 17:00h, predominando ventos de sul, sudoeste e sudeste. A direção predominante do vento em Luanda é maioritariamente determinada por fatores sinóticos, especialmente o anticiclone do Atlântico Sul, sendo reforçada e ligeiramente modificada por fatores de mesoescala como a brisa marítima e as características locais.

O perfil intradiário típico da radiação solar em Luanda durante o período de medição apresentou valores diurnos geralmente baixos, com um aumento gradual ao longo da manhã até um pico modesto ao meio-dia, sem atingir os valores elevados esperados para clima tropical, devido à persistente nebulosidade e aos aerossóis atmosféricos. A radiação difusa prevalece sobre a direta, resultando numa curva assimétrica e sem picos acentuados, e a intensidade solar mantém-se reduzida ao longo de todo o dia, refletindo condições climáticas locais que limitam a incidência solar direta.

A pressão atmosférica apresentou uma amplitude média diária inferior a 4 mbar, o que está de acordo com a variação diária natural da pressão atmosférica, que raramente excede 3–4 mbar em condições normais, mesmo em regiões tropicais.

Em relação a eventos de precipitação, o período foi maioritariamente seco em termos de queda de água, mas registaram-se episódios de chuva significativa nos dias 24-10-2023 e 01-11-2023, ambos com valores superiores a $6\ \mathrm{mm\,h^{-1}}$.



Figura 2. Séries temporais de variáveis meteorológicas - temperatura, humidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, pressão atmosférica e precipitação. MEBC microestação de baixo custo; EM Estação meteorológica.

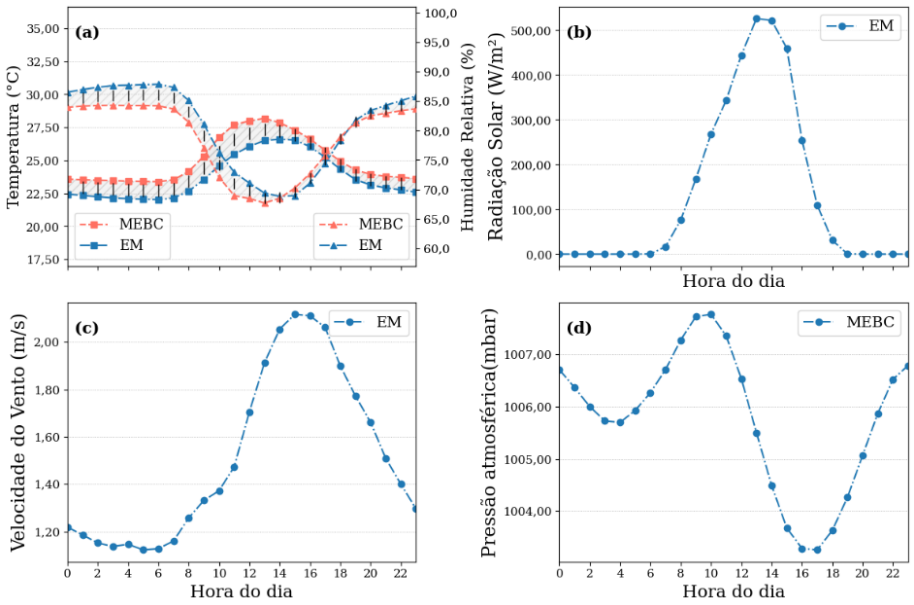


Figura 3. Perfil diário dos parâmetros meteorológicos em Luanda. Comparação entre a microestação de baixo custo (MEBC) e a estação meteorológica (EM) para médias horárias de temperatura e humidade relativa (a), radiação solar (b), velocidade do vento (c) e Pressão atmosférica (c).

Contaminantes Atmosféricos

A Figura 4 apresenta a evolução temporal das concentrações horárias dos principais poluentes gasosos monitorizados durante a campanha em Luanda: monóxido de carbono (CO), monóxido de azoto (NO), dióxido de azoto (NO_2) e ozono troposférico (O_3), assim como das três principais frações de material particulado (PM_{10}, $PM_{2,5}$ e PM_1), obtidas por diferentes equipamentos de medição.

Durante a estação seca (cacimbo), verifica-se uma maior acumulação de material particulado devido à ausência de precipitação, que limita a remoção dos poluentes da atmosfera. As concentrações de CO, NO e NO_2 mantêm-se moderadas, com possíveis picos em situações de maior tráfego ou inversão térmica, mas em geral são controladas pelos ventos moderados que promovem a dispersão. O O_3 tende a apresentar níveis superiores nesta estação, beneficiando de uma radiação solar que permanece em níveis superiores por períodos mais longos, e das condições atmosféricas estáveis, que favorecem a sua formação a partir dos precursores. Com a chegada da estação chuvosa, a precipitação e a maior nebulosidade levam a uma redução das concentrações de material particulado, que são removidos pela deposição húmida. Os gases como o CO, NO e NO_2 apresentam concentrações mais baixas, exceto em episódios pontuais de estagnação atmosférica. O ozono também diminui, devido à menor radiação solar e à presença de chuva, que inibem a sua formação.

A Figura 5 permite identificar os perfis diários comparativos das medições de poluentes atmosféricos entre a microestação de baixo custo e os outros equipamentos. O perfil intradiário dos poluentes em Luanda sugere uma acumulação durante o dia, possivelmente devido a condições meteorológicas que limitam a dispersão, como baixa velocidade do vento ou estabilidade atmosférica, associada a emissões contínuas de fontes veiculares e industriais. A ausência de um vale pronunciado ao meio do dia e a manutenção de níveis elevados até ao final da tarde são características singulares, refletindo padrões locais de mobilidade, funcionamento de fontes industriais ou efeitos meteorológicos específicos da cidade.

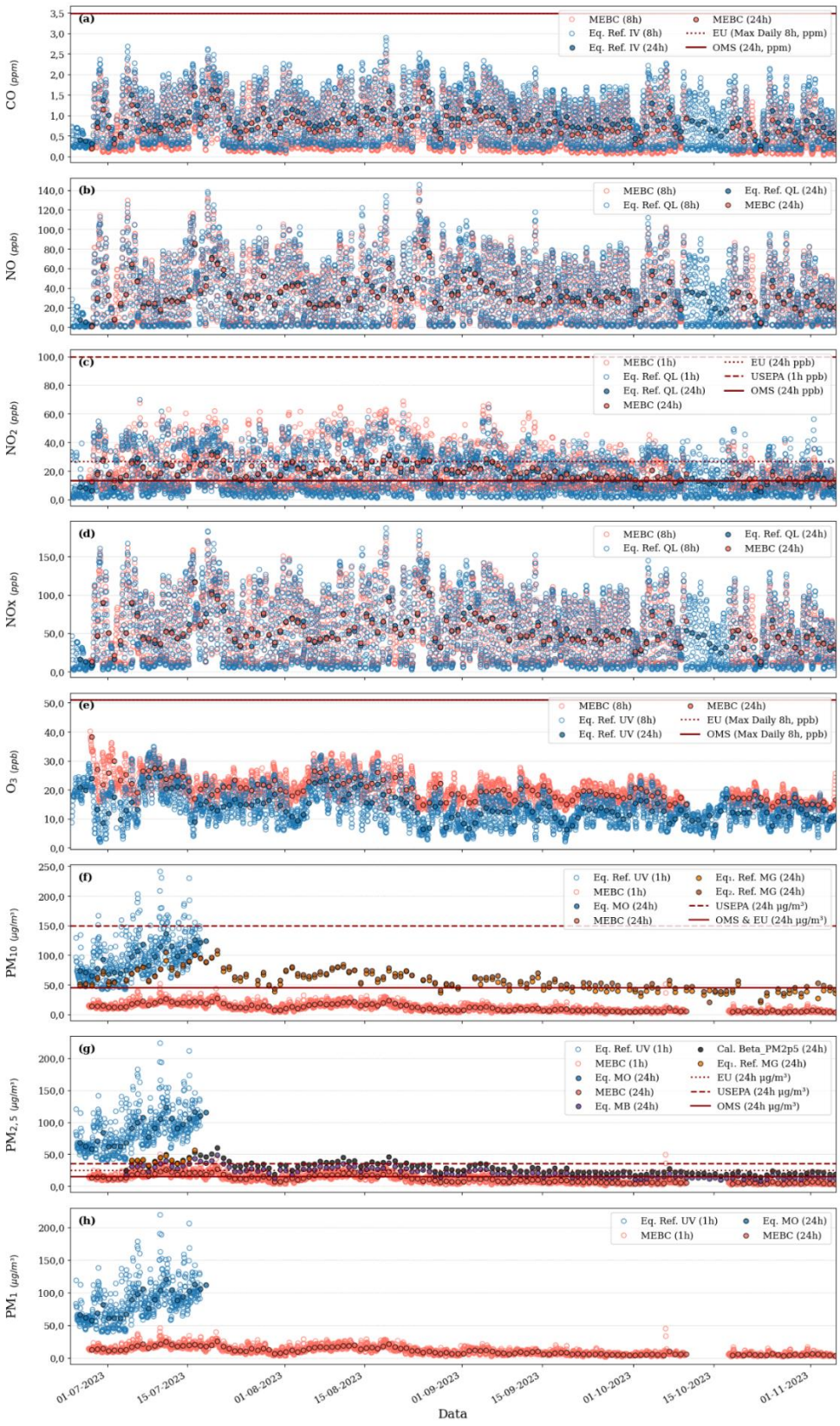


Figura 4. Variação temporal das concentrações de poluentes em Luanda, medidas por uma microestação de baixo custo (MEBC) e por equipamento de referência (Eq.Ref.), e os padrões ou diretrizes internacionais de qualidade do ar. IV – monitor de infravermelho não dispersivo, QL – monitor de quimiluminescência, UV – monitor de ultravioleta não dispersivo, MO – monitor ótico (Eq_1. – DustTrak), MB – monitor de atenuação beta, MG – método gravimétrico (Eq_1. – Amostrador de médio caudal, Eq_2. – Amostrador de elevado caudal).

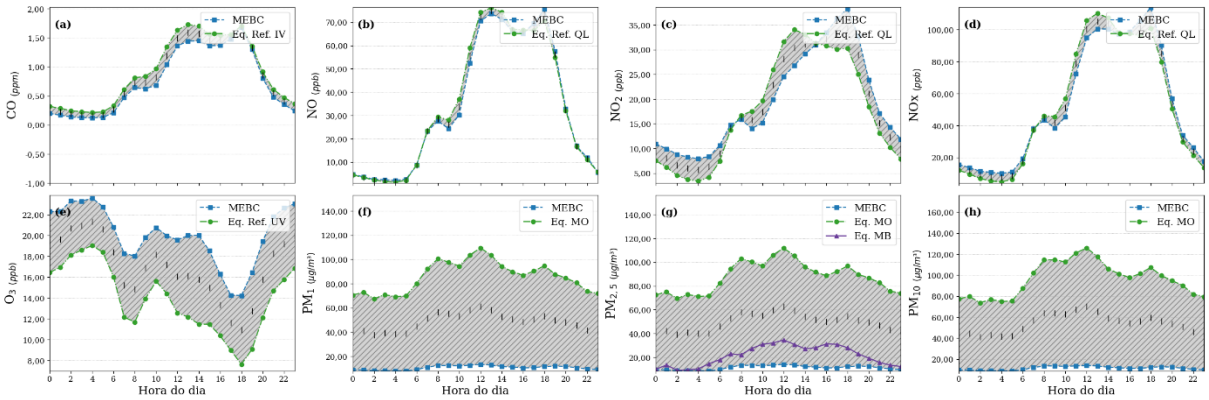


Figura 5. Perfis diários comparativos das medições de poluentes atmosféricos entre a microestação de baixo custo (MEBC) e o equipamento de referência (Eq.Ref.) em Luanda. Legenda das siglas: IV – monitor de infravermelho não dispersivo, QL – monitor de quimiluminescência, UV – monitor de ultravioleta não dispersivo, OM – monitor ótico (Eq_1. – DustTrak), MB – monitor de atenuação Beta.

O CO e os óxidos de azoto apresentam um aumento acentuado das concentrações nas primeiras horas da manhã, a partir das 6–7h, atingindo um primeiro patamar elevado por volta das 9–10h. Após esse período, verifica-se uma estabilização ou ligeira redução, mas, contrariamente ao padrão clássico de dois picos (manhã e final da tarde), as concentrações mantêm-se persistentemente elevadas até cerca das 17h. Só a partir do final da tarde/início da noite é que se regista um decréscimo abrupto, com valores a aproximarem-se de zero a partir da meia-noite e durante toda a madrugada.

Para o monóxido de carbono (CO), tanto a MEBC como o Eq.Ref. IV registaram variações temporais semelhantes, com médias próximas entre si: 0,74 ± 0,74 ppm e 0,90 ± 0,76 ppm, respetivamente. Estes valores são comparáveis aos observados em São Paulo, Brasil, durante os meses de inverno de 2018 a 2021 (0,80 ± 0,45 ppm) (Moreira et al., 2023). Contudo, em comparação com o estudo realizado em São Paulo entre abril e maio de 2017-2019 (contexto pré-pandémico), Luanda apresentou um comportamento distinto, com concentrações diurnas de CO substancialmente mais elevadas (Alvim et al., 2023).

Quanto aos óxidos de azoto (NOx), as concentrações médias horárias variaramm entre valores próximos de zero, observados no período noturnos, e valores superiores a 100 ppb, no período da tarde (entre as 12h00 e as 18h00), reflexo da intensa atividade rodoviária e industrial (Mei et al., 2021; Nogueira et al., 2021; Xie et al., 2016). Luanda apresentou níveis de NO_2 superiores aos registados em São Paulo entre 2018-2021, com comportamentos diários semelhantes e picos geralmente a ocorrer durante as horas de ponta do tráfego (12,60 ± 6,96 ppb) (Alvim et al., 2023; Moreira et al., 2023).

No caso do ozono troposférico (O_3), o perfil intradiário observado revela uma evolução inversa à dos poluentes primários como o CO e o NO_x. Os valores de O_3 mantêm-se baixos durante as primeiras horas da manhã, começando a aumentar gradualmente a partir do final da manhã, à medida que a radiação solar se intensifica e se inicia a formação fotoquímica de ozono a partir dos precursores emitidos nas horas anteriores. O pico de concentração de O_3 ocorre tipicamente durante o início da tarde, por volta das 13–15h, coincidindo com o máximo de radiação solar e temperaturas mais elevadas. Após este pico, os valores de O_3 tendem a decrescer progressivamente ao final da tarde e início da noite, atingindo mínimos durante a madrugada.

O ozono registou concentrações médias horárias muito baixas, inferiores a 20 ppb, tendo em consideração os registos do equipamento de referência. Estes valores são muito inferiores aos registados nas zonas urbanas de Portugal Continental (Furst et al., 2022) e também às megacidades da China, como Beijing-Tianjin-Hebei, Yangtzé ou Rio das Pérolas, onde os máximos de 8 horas chegam a 200 ppb (Wang et al., 2017; Yang et al., 2021). A formação de O_3 é condicionada pela radiação solar, e os baixos níveis registados em Luanda refletem a influência de elevados níveis de NO, que destroem o O_3 por reação química (Coates et al., 2016).

No que diz respeito ao material particulado, as frações PM_{10}, $PM_{2,5}$ e PM_1 apresentam perfis diários semelhantes, mas com algumas nuances. As concentrações começam a subir nas primeiras horas da manhã, em paralelo com o início das atividades humanas e do tráfego, atingindo valores elevados que se mantêm relativamente estáveis ao longo do dia. O pico de concentração tende a ocorrer entre o final da manhã e o início da tarde, sendo mais pronunciado para o PM_{10}, o que sugere uma influência adicional de fontes naturais, como a ressuspensão de poeiras. Após as 17h, observa-se uma diminuição gradual das concentrações, com valores mínimos registados durante a madrugada. Resulta ainda da análise da figura 5 (gráficos f, g e h) que as partículas finas têm uma enorme contribuição para a massa total de material particulado.

Em relação aos níveis de PM_{10}, estes apresentaram uma média de 58,4 ± 16,5 μg m^{-3}, sendo que variaram entre um mínimo de aproximadamente 20 μg m^{-3}, registado em outubro, e valores que excederam as 100 μg m^{-3}, em vários dias, especificamente entre julho e agosto. Em média, as concentrações de PM_{10} em Luanda foram duas vezes superiores às médias anuais registadas em São Paulo, mas muito semelhantes às reportadas para Hong Kong, Seul (Coreia do Sul), Joanesburgo (África do Sul) e fundo urbano de Pequim (Alvim et al., 2023; Choi e Choi, 2022; Gao et al., 2019; Moreira et al., 2023). Contudo, muitas cidades, como Pequim, Deli (Índia), Chengdu e Guangzhou, registaram médias anuais acima de 100 μg m^{-3} (Feng et al., 2021; Jahn et al., 2011; Liu et al., 2019). Adicionalmente, cidades não megacidades como Faisalabad (Paquistão), Kashi (Índia) e Hetian (China) documentaram médias anuais superiores a 250 μg m^{-3} (Aslam et al., 2020; Liu et al., 2019).

A concentração média de $PM_{2.5}$ (fornecidas pela analisador β) para toda a campanha de monitorização foi de 29,0 ± 9,4 μg m^{-3}. A concentração diária média mais elevada foi registada em julho (59,8 μg m^{-3}), enquanto a mais baixa (13,9 μg m^{-3}) foi observada em outubro. A concentração média de $PM_{2,5}$ registada durante a campanha de monitorização em Luanda está em linha com os valores reportados para outras megacidades, como São Paulo (Brasil, 2018), Osaka (Japão, 2015), Kinshasa (RD Congo, 2019–2020), Hong Kong (China, 2010) e megaregiões chinesas como Pequim-Tianjin-Hebei (2018), para as quais foram reportados valores entre 23,7 e 51,3 μg m^{-3} (Alvim et al., 2023; Jahn et al., 2011; McFarlane et al., 2021; Moreira et al., 2023; Nakata et al., 2015; Yang et al., 2021). No entanto, algumas megacidades, como Lagos (Nigéria, 2022), Deli (Índia, 2022), Zhengzhou e Guangzhou (China), registaram valores superiores a 80 μg m^{-3} (Gahungu et al., 2022; Guttikunda et al., 2023; Jahn et al., 2011). Em Luanda, os elevados níveis de $PM_{2,5}$ registados durante a época de "cacimbo" devem ser motivo de grande preocupação e alerta, apontando para a necessidade urgente de tomar medidas para proteger a saúde da população. Em relação às PM_1, os valores médios diários mais elevados foram observados em julho, agosto e setembro, com uma diminuição nos meses seguintes.

A avaliação da qualidade do ar em Luanda permitiu identificar o grau de conformidade com os padrões internacionais estabelecidos por diversas entidades reguladoras. A análise focou-se nos principais poluentes atmosféricos, comparando os valores medidos com os limites e orientações definidos pela USEPA, União Europeia (UE) e Organização Mundial da Saúde (OMS).

Os resultados revelam diferentes níveis de cumprimento consoante o poluente em causa. Para o ozono não foram registadas excedências aos limites da USEPA, da UE nem à recomendação da OMS. Para o NO_2, embora não tenha sido ultrapassado o limite horário de 100 ppb (EPA), 78% das médias diárias de NO_2 excederam a recomendação de 24 h da OMS (13,3 ppb) e 8,3% excederam o limite da UE (26,5 ppb), ainda dentro das 18 excedências anuais permitidas pelo regulamento no momento da análise.

Durante a campanha, e tendo por base os dados do analisador β, 99,2% dos dias excederam o valor guia da OMS para $PM_{2,5}$ (15 µg/m³), 53% ultrapassaram o valor diário da UE (25 µg/m³) e 25% o da USEPA (35 µg/m³). Para PM_{10}, Luanda ultrapassou o limite diário da UE e a orientação da OMS em 91 dias num total de 121 dias.

Comparação entre Sistemas de Medição: MEBC vs. Outros Equipamentos

A presente seção analisa a comparabilidade entre os dados obtidos pela Microestação de Baixo Custo (MEBC) e os equipamentos de referência/equivalentes/outros utilizados na campanha. A comparação tem por base, numa primeira fase, a análise das séries temporais e dos perfis intradiários previamente apresentados, permitindo avaliar a coerência e sensibilidade das respostas dos diferentes sistemas face às variações reais da qualidade do ar. Esta abordagem é posteriormente complementada por uma análise quantitativa mais aprofundada, recorrendo a gráficos híbridos de regressão linear e Bland–Altman (Figuras 6 a 7), que oferecem uma perspetiva estatística sobre os desvios sistemáticos, dispersão e eventuais tendências associadas aos dados recolhidos por ambos os tipos de equipamentos.

Relativamente às variáveis meteorológicas – Temperatura e Humidade Relativa do Ar – as figuras 2 e 3 revelam consistência e convergência entre os sistemas MEBC e EM, os quais fornecem um padrão de variação semelhante e coerente ao longo do período analisado. Do mesmo modo, a figura 6 que mostra os gráficos híbridos de regressão linear e Bland–Altman evidenciam também uma excelente comparabilidade, quer para os valores horários quer para os diários fornecidos pela EM e pela MEBC (fortes correlações lineares ($R^2 = 0,94$ para a temperatura e $R^2 = 0,92$ para a humidade relativa), bem como baixos valores de RMSE (1,48°C para temperatura e 3,14% para a humidade relativa). Esta concordância melhorou ainda mais quando a comparação foi realizada para as médias diárias de ambas as variáveis.

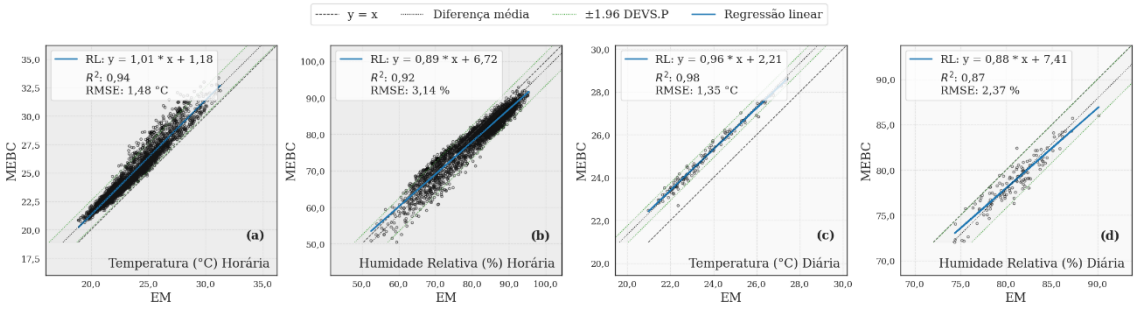


Figura 6. Gráfico híbrido de regressão linear e análise de Bland–Altman entre a microestação de baixo custo (MEBC) e a estação meteorológica (EM) para medições horárias (a e b) e diárias (c e d), em Luanda.

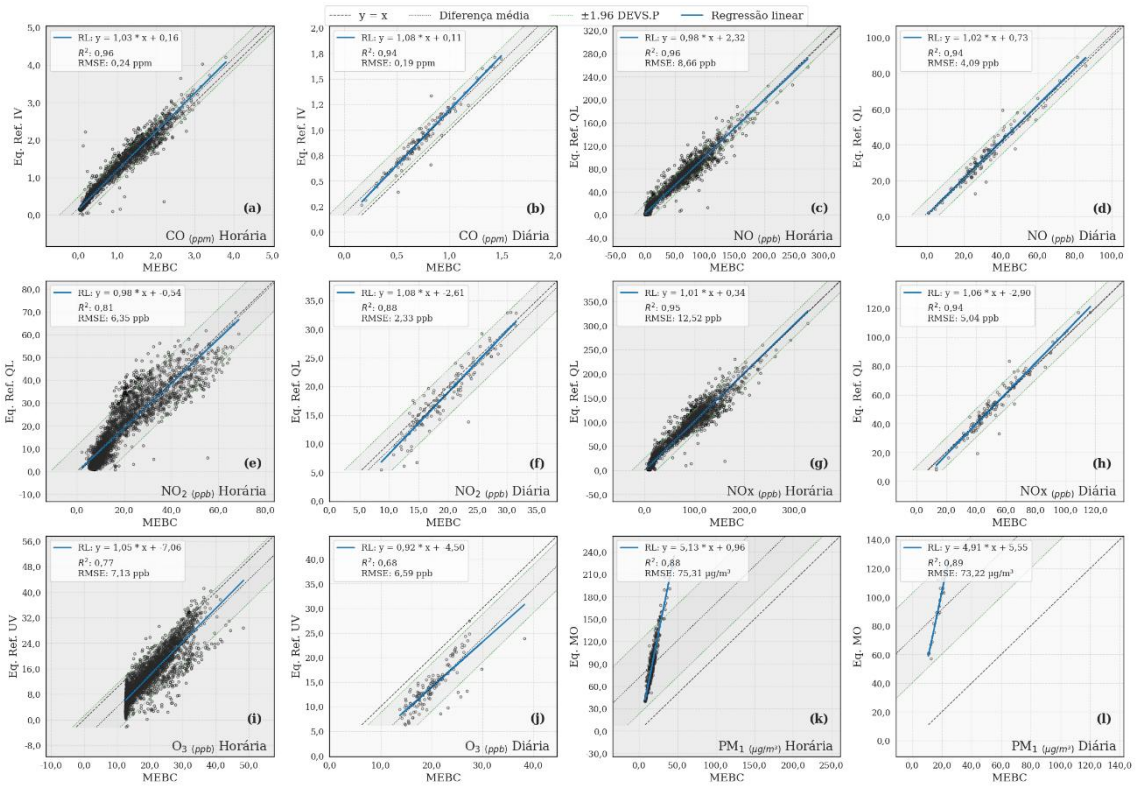


Figura 7. Gráfico híbrido de regressão linear (RL) e análise de Bland–Altman entre as medições da microestação de baixo custo (MEBC) e do equipamento de referência (Eq.Ref.) para medições horárias e diárias de poluentes atmosféricos em Luanda. Legenda das siglas: IV – monitor de infravermelhos não dispersivo, QL – monitor de quimioluminescência, UV – monitor de ultravioleta não dispersivo, MO – método ótico (Eq_1. – DustTrak).

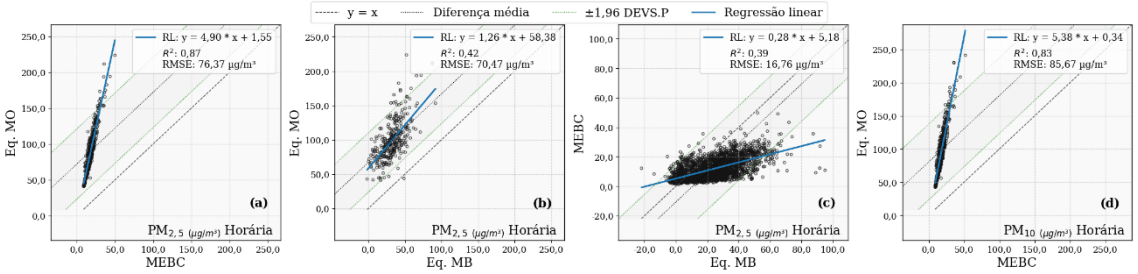


Figura 8. Gráfico híbrido com análise de regressão linear (RL) e de Bland–Altman entre a microestação de baixo custo (MEBC) e o equipamento de referência (Eq.Ref.) para medições horárias de $PM_{2,5}$ e PM_{10} em Luanda. MO – método ótico (Eq_1. – DustTrak), MB – monitor de atenuação por beta. O gráfico (c) é a única representação que abrange toda a campanha, enquanto os restantes gráficos representam apenas uma comparação de duas semanas.

Em relação aos poluentes gasosos e particulados, a microestação de baixo custo (MEBC) conseguiu também captar de forma satisfatória as tendências gerais e os padrões diários das diferentes variáveis poluentes, embora apresente algumas limitações quando comparada com os equipamentos de referência e ou os teoricamente mais sofisticados.

As concentrações de CO fornecidas pelo MEBC e pelo Eq.Ref. IV em Luanda revelaram consistência nas medições contínuas horárias (Figura 4) e nos perfis intradiários (Figura 5). A figura 6 reforça essa comparação satisfatória entre os equipamentos, conforme é demosntrado

pelos valor de $R^2 = 0,96$ e RMSE = 0,24 ppm. A intercomparação entre dispositivos demonstrou ugualmente uma concordância aceitável para as medições de NOx ($R^2 = 0,95$; RMSE = 12,5 ppb), NO_2 ($R^2 = 0,95$; RMSE = 8,66 ppb) e NO ($R^2 = 0,81$; RMSE = 6,35 ppb). Não foi observado viés sistemático significativo nas medições de NO. Contudo, para medições horárias de NO_2 próximas de 30 ppb, a MEBC tendeu a sobreestimar os valores, com tendência crescente, à medida que a concentração se afasta desse valor. Também foi identificada uma tendência de ligeira sobreestimação nas médias diárias, à medida que os níveis aumentam. Os desvios foram de cerca de 5 ppb, parecendo estar associado a um *offset* do sensor de NOx da MEBC.

No caso do ozono, o Eq.Ref. UV apresenta maior precisão ($R^2 = 0,77$; RMSE = 7,13 ppb), com menos dispersão. Todavia, a MEBC reproduziu o padrão intradiário registado pelo equipamento de referência, mas sobrestimou sistematicamente as concentrações numa média de 5 a 7 ppb, sobretudo em concentrações mais baixas. Esta sobrestimação pode ser justificada em parte por um offset do sensor, mas também poderá indiciar uma interferência cruzada causada pelo NO_2. Samad et al. (2020) reportaram que, embora sensores eletroquímicos de baixo custo tenham mostrado melhorias na deteção de CO e NOx após calibração. Ajustes semelhantes para o O_3 revelaram-se desafiantes, mesmo em laboratório, onde os sensores foram comparados sob condições estáveis de temperatura e humidade relativa (Castell et al., 2017). Essa dificuldade é atribuída principalmente à forte interferência cruzada entre NO_2 e O_3 nesses sensores (Castell et al., 2017).

Para o material particulado, a MEBC mostrou-se eficaz na identificação das tendências e variações diárias das diferentes frações de PM, mas evidencia viés sistemático, sobretudo para concentrações mais elevadas. Os equipamentos mais robustos como o monitor de atenuação beta (MB) e o DustTrak oferecem maior precisão. A MEBC apresentou fortes correlações com o DustTrak (PM_1: $R^2 = 0,88$; $PM_{2,5}$: $R^2 = 0,88$), embora com viés crescente. A comparação dos valores diários com os fornecidos pelo amostrador gravimétrico de médio caudal, a MEBC subestimou ($R^2 = 0,41$; RMSE = 21,6 µg/m³; declive = 0,27), enquanto o DustTrak sobrestimou ($R^2 = 0,70$; RMSE = 59,5 µg/m³; declive = 1,71) em relação aos obtidos pelo método gravimétrico. O MB teve excelente concordância com o gravimétrico ($R^2 = 0,92$; RMSE = 9,2 µg/m³).

As discrepâncias entre dispositivos óticos devem-se, em grande parte, à utilização de fatores de correção de densidade plana na conversão de densidades numéricas de partículas em massa, reforçando a importância do pós-processamento dos dados de instrumentos óticos com base em métodos de referência, como os gravimétricos ou de atenuação por beta (Castell et al., 2017; Jiang et al., 2021; Njalsson e Novosselov, 2018).

Apesar das discrepâncias, a MEBC demonstrou estabilidade a longo prazo e utilidade para identificar "hotspots" de PM, especialmente em contextos de elevada concentração de poluentes (Badura et al., 2018; Castell et al., 2017). As correlações melhoram com as médias diárias. Tem sido defendido que, embora a regressão linear seja promissora como método de calibração, métodos de aprendizagem automática e redes neuronais artificiais podem ser aplicados para corrigir os dados brutos dos sensores (Chojer et al., 2020; Han et al., 2021).

Finalmente, com o intuito de avaliar a força e a direção das associações monotónicas entre variáveis, independentemente da sua distribuição, foi calculada a matriz de correlação de Spearman (Figura 9).

No que respeita às variáveis meteorológicas, a análise revelou que a discrepância nas leituras horárias de temperatura entre a MEBC e o equipamento de referência apresentava uma correlação negativa moderada com a velocidade do vento ($\rho = -0,49$), sugerindo que condições de maior turbulência atmosférica poderão afetar a precisão das medições da microestação. A humidade relativa mostrou-se mais precisa na MEBC quando os valores absolutos eram mais elevados. Ainda assim, identificou-se uma correlação moderada entre as discrepâncias nas medições da humidade e a velocidade do vento ($\rho = -0,60$), bem como com a temperatura ($\rho = -0,41$).

As maiores discrepâncias detetadas nas medições de CO que ocorreram entre as 08:00 e as 16:00, assim como os menores desvios que se verificaram entre as 18:00 e as 19:00 (média de 0,045 ppm). Essas discrepâncias apresentaram correlação moderada com a radiação solar ($\rho = 0,50$), com o material particulado de todas as frações analisadas (PM_1, $PM_{2.5}$ e PM_{10}; $\rho \approx 0,46$~$0,48$), e de forma notável, com as concentrações de NO ($\rho = 0,55$). Por outro lado, observou-se uma correlação negativa com a humidade relativa ($\rho = -0,45$), indicando maior precisão da medição sob condições atmosféricas mais húmidas. Esses resultados sugerem que esses fatores podem ter contribuído para desvios sistemáticos na medição de CO pelo MEBC. Ainda assim, a análise do gráfico de Bland-Altman indicou que não houve enviesamento sistemático significativo entre os instrumentos.

As discrepâncias associadas às medições de NOx também mostraram correlação positiva com as concentrações de CO ($\rho = 0,35$) e, de forma mais fraca, com os níveis de material particulado ($\rho < 0,23$). Em contraste, os parâmetros meteorológicos apresentaram correlações ainda menores, com destaque para a fraca correlação negativa com a humidade relativa ($\rho = -0,26$). Tal como no caso do CO, os resultados apontam para uma maior discrepância em ambientes com elevada concentração de poluentes primários, geralmente associados ao tráfego urbano.

A discrepância entre as medições de O_3 e o poluentes gasosos (CO e NOx) apresentou correlação moderada ($\rho \approx 0,40$), especialmente com NO ($\rho = 0,42$), o que pode refletir interferências associadas à química atmosférica local. Em contraste, os parâmetros meteorológicos exibiram correlação fraca com os desvios da medição ($\rho < 0,10$), sugerindo influência limitada desses fatores no desempenho do sensor para o O_3.

As discrepâncias observadas entre o MEBC e o equipamento de referência nas medições de $PM_{2.5}$ apresentaram correlações moderadas com as concentrações de poluentes gasosos como CO ($\rho = 0,53$) e NO_x ($\rho = 0,52$), sugerindo uma possível influência indireta desses compostos na performance do sensor óptico. Como era de se esperar, também se verificou correlação positiva com os níveis de material particulado das diferentes frações (PM_1 e PM_{10}; $\rho \approx 0,32$~$0,34$). Adicionalmente, registou-se correlação moderada com a radiação solar ($\rho = 0,43$), indicando que condições de elevada intensidade luminosa podem comprometer a precisão das medições. Em contrapartida, a humidade relativa demonstrou correlação negativa moderada ($\rho = -0,37$), apontando para um desempenho ligeiramente superior do equipamento em ambientes mais húmidos, possivelmente devido à maior eficiência de dispersão da luz por partículas higroscópicas nessas condições.

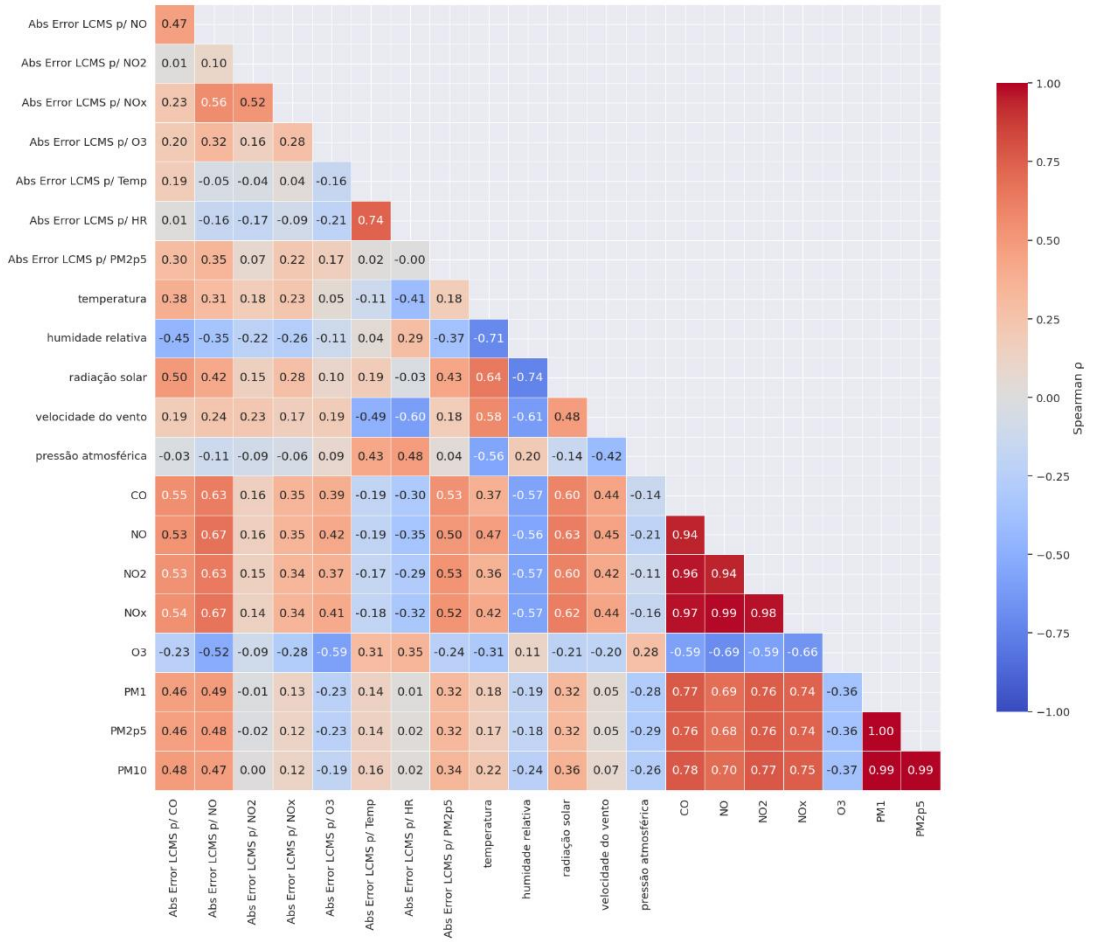


Figura 9. Mapa de calor da matriz de correlação de Spearman (ρ) entre as variáveis ambientais monitorizadas em Luanda. O gradiente de cor varia de −1 (azul escuro, correlação negativa forte) a +1 (vermelho escuro, correlação positiva forte). Os números em cada célula representam o valor de ρ, arredondado a duas casas decimais.

CONCLUSÕES

Este estudo realizado em Luanda com o envolvimento de uma equipa de Portugal e Angola permitiu avaliar o desempenho de microestações de baixo custo (MEBC) para monitorização da qualidade do ar em Luanda (Angola). Os resultados validam o potencial dos MEBC como ferramenta económica para monitorizar poluentes como NOx, CO, O_3 e material particulado (PM), evidenciando simultaneamente as suas limitações em ambientes climaticamente complexos.

Em Luanda, os MEBC apresentaram fortes correlações com os equipamentos de referência para CO e $PM_{2,5}$, embora o RMSE significativo no caso do $PM_{2,5}$ tenha demonstrado desafios associados à calibração dos monitores óticos. As células eletroquímicas, provavelmente devido à proximidade do fim da sua vida útil recomendada pelo fabricante e à ausência de calibração, exibiram precisão variável na medição de poluentes gasosos, sobretudo para o O_3, que sofreu interferência cruzada com NO_2 e apresentou precisão reduzida próximo do limite de deteção. Sem calibração e validação adequadas, especialmente para uso prolongado, estas limitações podem comprometer a interpretação dos níveis reais de poluentes.

A campanha de monitorização em Luanda abrangeu transições sazonais relevantes, mas um período de estudo mais extenso permitiria uma avaliação mais robusta da precisão dos MEBC e das tendências de concentração de poluentes. A capacidade destes sensores de identificar pontos críticos de poluição e fornecer dados em tempo real é particularmente valiosa em regiões com infraestruturas de monitorização limitadas.

O estudo detetou excedências frequentes dos limites da OMS e da UE em Luanda, especialmente para PM_{10}, $PM_{2,5}$ e NO_2, sublinhando a necessidade de regulamentações mais rigorosas e de medidas urgentes para mitigar riscos à saúde pública. Os resultados reforçam a importância de ações governamentais para controlar fontes de poluição e implementar estratégias robustas de gestão da qualidade do ar.

Em conclusão, a MEBC apresentou elevadas potencialidades para ser integrada na monitorização em tempo real da qualidade do ar, em contextos urbanos tropicais como o de Luanda. No entanto, a calibração e validação regular com equipamentos de referência são essenciais para garantir a fiabilidade dos dados, especialmente quando se pretende utilizar os resultados para avaliação de risco para a saúde humana ou apoio a uma gestão mais informada e rigorosa da qualidade do ar.

Agradecimentos:
Este trabalho foi apoiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) através das bolsas de doutoramento 2023.02059.BD, 2023.04826.BD, SFRH/BD/04992/2021 e SRFH/BD/08461/2020. A investigação foi realizada no âmbito do projeto APAM, financiado por fundos nacionais (OE), através da FCT/MCTES (DOI: 10.54499/2022.04240.PTDC). Agradece-se também o apoio financeiro ao CESAM pela FCT/MCTES (UIDP/50017/2020 + UIDB/50017/2020 + LA/P/0094/2020), através de fundos nacionais. Este trabalho foi também apoiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC): CIMO, UIDB/00690/2020 (DOI: 10.54499/UIDB/00690/2020) e UIDP/00690/2020 (DOI: 10.54499/UIDP/00690/2020); e SusTEC, LA/P/0007/2020 (DOI: 10.54499/LA/P/0007/2020). Agradecemos ainda à d·nota® e à bettair® pela cedência dos equipamentos utilizados nos testes. Agradecemos também à Faculdade de Engenharia da Universidade Agostinho Neto pelas condições logísticas disponibilizadas para a realização da campanha de monitorização em Luanda.

REFERÊNCIAS

Alvarez, C.M., Hourcade, R., Lefebvre, B., Pilot, E., 2020. A scoping review on air quality monitoring, policy and health in west African cities. Int. J. Environ. Res. Public Health 17, 1–28. https://doi.org/10.3390/ijerph17239151

Alvim, D.S., Herdies, D.L., Corrêa, S.M., Basso, L.S., Khalid, B., Silva, G.F.P., Oyerinde, G., de Carvalho, N.A., Coelho, S.M.S. da C., Figueroa, S.N., 2023. COVID-19 pandemic: Impacts on air quality during partial lockdown in the Metropolitan Area of São Paulo. Remote Sens. 15, 1262. https://doi.org/10.3390/rs15051262

Aslam, A., Ibrahim, M., Shahid, I., Mahmood, A., Irshad, M.K., Yamin, M., Ghazala, Tariq, M., Shamshiri, R.R., 2020. Pollution characteristics of particulate matter ($PM_{2.5}$ and PM_{10}) and constituent carbonaceous aerosols in a south Asian future megacity. Appl. Sci. 10, 1–17. https://doi.org/10.3390/app10248864

Badura, M., Batog, P., Drzeniecka-Osiadacz, A., Modzel, P., 2018. Optical particulate matter sensors in $PM_{2.5}$ measurements in atmospheric air, in: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 44, 0006. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184400006

Bauer, S.E., Im, U., Mezuman, K., Gao, C.Y., 2019. Desert dust, industrialization, and agricultural fires: Health impacts of outdoor air pollution in Africa. J. Geophys. Res. Atmos. 124, 4104–4120. https://doi.org/10.1029/2018JD029336

Brattich, E., Bracci, A., Zappi, A., Morozzi, P., Sabatino, S. Di, Porcù, F., Nicola, F. Di, Tositti, L., 2020. How to get the best from low-cost particulate matter sensors: Guidelines and practical recommendations. Sensors 20, 1–33. https://doi.org/10.3390/s20113073

Campos, P.M.D., Esteves, A.F., Leitão, A.A., Pires, J.C.M., 2021. Design of air quality monitoring network of Luanda, Angola: Urban air pollution assessment. Atmos. Pollut. Res. 12, 101128. https://doi.org/10.1016/j.apr.2021.101128

Cassiani, M., Stohl, A., Eckhardt, S., 2013. The dispersion characteristics of air pollution from the world's megacities. Atmos. Chem. Phys. 13, 9975–9996. https://doi.org/10.5194/acp-13-9975-2013

Castell, N., Dauge, F.R., Schneider, P., Vogt, M., Lerner, U., Fishbain, B., Broday, D., Bartonova, A., 2017. Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates? Environ. Int. 99, 293–302. https://doi.org/10.1016/j.envint.2016.12.007

Chen, R., Hu, B., Liu, Y., Xu, J., Yang, G., Xu, D., Chen, C., 2016. Beyond $PM_{2.5}$: The role of ultrafine particles on adverse health effects of air pollution. Biochim. Biophys. Acta. Gen. Subj. 1860, 2844–2855. https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2016.03.019

Choi, S.M., Choi, H., 2022. Artificial neural network modelling on PM_{10}, $PM_{2.5}$, and NO_2 concentrations between two megacities without a lockdown in Korea, for the COVID-19 pandemic period of 2020. Int. J. Environ. Res. Public Health 19, 16338. https://doi.org/10.3390/ijerph192316338

Chojer, H., Branco, P.T.B.S., Martins, F.G., Alvim-Ferraz, M.C.M., Sousa, S.I.V., 2020. Development of low-cost indoor air quality monitoring devices: Recent advancements. Sci. Total Environ. 727, 138385. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138385

Clements, A.L., Reece, S., Conner, T., Williams, R., 2019. Observed data quality concerns involving low-cost air sensors. Atmos. Environ. X 3, 100034. https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2019.100034

Coates, J., Mar, K.A., Ojha, N., Butler, T.M., 2016. The influence of temperature on ozone production under varying NOx conditions - A modelling study. Atmos. Chem. Phys. 16, 11601–11615. https://doi.org/10.5194/acp-16-11601-2016

di Meane, E.A., Plassa, M., Rolle, F., Sega, M., 2009. Metrological traceability in gas analysis at I.N.Ri.M: Gravimetric primary gas mixtures. Accredit. Qual. Assur. 14, 607–611. https://doi.org/10.1007/s00769-009-0577-9

Feng, X., Tian, Y., Xue, Q., Song, D., Huang, F., Feng, Y., 2021. Measurement report: Spatiotemporal and policy-related variations of $PM_{2.5}$ composition and sources during 2015-2019 at multiple sites in a Chinese megacity. Atmos. Chem. Phys. 21, 16219–16235. https://doi.org/10.5194/acp-21-16219-2021

Fisher, S., Bellinger, D.C., Cropper, M.L., Kumar, P., Binagwaho, A., Biao Koudenoukpo, J., Park, Y., Taghian, G., Landrigan, P.J., 2021. Air pollution and development in Africa: Impacts on health, the economy and human capital. Lancet Planet. Health 5, 681–688. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00201-1

Furst, L. C., Feliciano, M., Gonçalves, A., & Romero, F. (2022). Assessment of noise and ozone levels in a small industrial urban area. Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia, (102), 76–86. https://doi.org/10.17533/udea.redin.20210871

Gao, S., Cong, Z., Yu, H., Sun, Y., Mao, J., Zhang, H., Ma, Z., Azzi, M., Yang, W., Jiang, Y., Chen, L., Bai, Z., 2019. Estimation of background concentration of PM in Beijing using a statistical integrated approach. Atmos. Pollut. Res. 10, 858–867. https://doi.org/10.1016/j.apr.2018.12.014

Giordano, M.R., Malings, C., Pandis, S.N., Presto, A.A., McNeill, V.F., Westervelt, D.M., Beekmann, M., Subramanian, R., 2021. From low-cost sensors to high-quality data: A summary of challenges and best practices for effectively calibrating low-cost particulate matter mass sensors. J. Aerosol. Sci. 158, 105833. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2021.105833

Han, P., Mei, H., Liu, D., Zeng, N., Tang, X., Wang, Y., Pan, Y., 2021. Calibrations of low-cost air pollution monitoring sensors for CO, NO_2, O_3, and SO_2. Sensors (Switzerland) 21, 1–18. https://doi.org/10.3390/s21010256

HEI, 2020. State of Global Air 2020. Special Report. Boston, MA: Health Effects Institute.

https://www.stateofglobalair.org/Hua, J., Zhang, Yuanxun, de Foy, B., Mei, X., Shang, J., Zhang, Yang, Sulaymon, I.D., Zhou, D., 2021. Improved $PM_{2.5}$ concentration estimates from low-cost sensors using calibration models categorized by relative humidity. Aerosol Sci. Technol. 55, 600–613. https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1873911

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (AR6), Climate Change 2021 - The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S.L., Péan, C., Berger, S., Caud, N., Chen, Y., Goldfarb, L., Gomis, M.I., Huang, M., Leitzell, K., Lonnoy, E., Matthews, J.B.R., Maycock, T.K., Waterfield, T., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 3949 pp. https://doi.org/10.1017/9781009157896.

Jahn, H.J., Schneider, A., Breitner, S., Eißner, R., Wendisch, M., Krämer, A., 2011. Particulate matter pollution in the megacities of the Pearl River Delta, China - A systematic literature review and health risk assessment. Int. J. Hyg. Environ. Health 214, 281-295. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.05.008

Jiang, Y., Zhu, X., Chen, C., Ge, Y., Wang, W., Zhao, Z., Cai, J., Kan, H., 2021. On-field test and data calibration of a low-cost sensor for fine particles exposure assessment. Ecotoxicol. Environ. Saf. 211, 111958. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.111958

Kebede, A.A., Friberg, J., Isaxon, C., Jerrett, M., Abera, A., Malmqvist, E., Sjöström, C., Taj, T., Vargas, A.M., 2021. Air quality in Africa: Public health implications article in annual review of public health. Annu. Rev. Public. Health 42, 193–210. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth100119-113802

Kelly, K.E., Whitaker, J., Petty, A., Widmer, C., Dybwad, A., Sleeth, D., Martin, R., Butterfield, A., 2017. Ambient and laboratory evaluation of a low-cost particulate matter sensor. Environ. Pollut. 221, 491–500. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.039

Kiss, G., Imre, K., Molnar, A., Gelencser, A., 2017. Bias caused by water adsorption in hourly PM measurements. Atmos. Meas. Tech. 10, 2477–2484. https://doi.org/10.5194/amt-10-2477-2017

Kovacs, M., Călămar, A.-N., Toth, L., Simion, S., Simion, A., 2021. Comparative measurements between the results achieved with reference method and the optical method for determination of PM_{10} dusts in ambient air. MATEC Web of Conferences 342, 03002. https://doi.org/10.1051/matecconf/202134203002

Lebrusán, I., Toutouh, J., 2020. Using smart city tools to evaluate the effectiveness of a low emissions zone in Spain: Madrid central. Smart Cities 3, 456-478. https://doi.org/10.3390/smartcities3020025

Lelieveld, J., Evans, J.S., Fnais, M., Giannadaki, D., Pozzer, A., 2015. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. Nature 525, 367–371. https://doi.org/10.1038/nature15371

Liu, C., Chen, R., Sera, F., Vicedo-Cabrera, A.M., Guo, Y., Tong, S., Coelho, M.S.Z.S., Saldiva, P.H.N., Lavigne, E., Matus, P., Valdes Ortega, N., Osorio Garcia, S., Pascal, M., Stafoggia, M., Scortichini, M., Hashizume, M., Honda, Y., Hurtado-Díaz, M., Cruz, J., Nunes, B., Teixeira, J.P., Kim, H., Tobias, A., Íñiguez, C., Forsberg, B., Åström, C., Ragettli, M.S., Guo, Y.-L., Chen, B.-Y., Bell, M.L., Wright, C.Y., Scovronick, N., Garland, R.M., Milojevic, A., Kyselý, J., Urban, A., Orru, H., Indermitte, E., Jaakkola, J.J.K., Ryti, N.R.I., Katsouyanni, K., Analitis, A., Zanobetti, A., Schwartz, J., Chen, J., Wu, T., Cohen, A., Gasparrini, A., Kan, H., 2019. Ambient particulate air pollution and daily mortality in 652 cities. N. Engl. J. Med. 381, 705–715. https://doi.org/10.1056/nejmoa1817364

McFarlane, C., Isevulambire, P.K., Lumbuenamo, R.S., Ndinga, A.M.E., Dhammapala, R., Jin, X., McNeill, V.F., Malings, C., Subramanian, R., Westervelt, D.M., 2021. First measurements of ambient $PM_{2.5}$ in Kinshasa, Democratic Republic of Congo and Brazzaville, Republic of Congo using

field-calibrated low-cost sensors. Aerosol Air Qual. Res. 21, 200619. https://doi.org/10.4209/aaqr.200619

Moreira, G. de A., Cacheffo, A., Andrade, I. da S., Lopes, F.J. da S., Gomes, A.A., Landulfo, E., 2023. Analyzing the influence of vehicular traffic on the concentration of pollutants in the city of São Paulo: An approach based on pandemic SARS-CoV-2 data and deep learning. Atmosphere 14, 1578. https://doi.org/10.3390/atmos14101578

Makoni, M. 2020. Air pollution in Africa. Lancet Respir. Med. 8, 60–61. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30275-7

Nakata, M., Sano, I., Mukai, S., 2015. Air pollutants in Osaka (Japan). Front. Environ. Sci. 3, 18. https://doi.org/10.3389/fenvs.2015.00018

Nguyen, G.T.H., La, L.T., Hoang-Cong, H., Le, A.H., 2024. An exploration of meteorological effects on $PM_{2.5}$ air quality in several provinces and cities in Vietnam. J. Environ. Sci. 145, 139–151. https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.07.020

Njalsson, T., Novosselov, I., 2018. Design and optimization of a compact low-cost optical particle sizer. J. Aerosol. Sci. 119, 1–12. https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2018.01.003

OMS. Organização Mundial da Saúde. 2021. Diretrizes globais de qualidade do ar da OMS. Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS).

https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/54963/9789275724613_por.pdf

Rosenthal, N.A., 2015. Infections, chronic disease, and the epidemiological transition: A new perspective. Clin. Infect. Dis. 61, 489–490. https://doi.org/10.1093/cid/civ280

Samad, A., Nuñez, D.R.O., Castillo, G.C.S., Laquai, B., Vogt, U., 2020. Effect of relative humidity and air temperature on the results obtained from low-cost gas sensors for ambient air quality measurements. Sensors 20, 1–29. https://doi.org/10.3390/s20185175

Shikwambana, L., Tsoeleng, L.T., 2020. Impacts of population growth and land use on air quality. A case study of Tshwane, Rustenburg and Emalahleni, South Africa. S. Afr. Geogr. J. 102, 209–222. https://doi.org/10.1080/03736245.2019.1670234

Simwela, A., Xu, B., Mekondjo, S.S., Morie, S., 2018. Air Quality concerns in Africa: A literature review. Int. J. Sci. Res. Publ. 8, 588–594. https://doi.org/10.29322/ijsrp.8.5.2018.p7776

Spinelle, L., Gerboles, M., Villani, M.G., Aleixandre, M., Bonavitacola, F., 2015. Field calibration of a cluster of low-cost available sensors for air quality monitoring. Part A: Ozone and nitrogen dioxide, Sens. Actuators B Chem. 215, 249–257. https://doi.org/10.1016/j.snb.2015.03.031

Triantafyllou, E., Diapouli, E., Tsilibari, E.M., Adamopoulos, A.D., Biskos, G., Eleftheriadis, K., 2016. Assessment of factors influencing PM mass concentration measured by gravimetric & beta attenuation techniques at a suburban site. Atmos. Environ. 131, 409–417. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.010

UNEP, 2021. Pollution Action Note – Data you need to know. United Nations Environment Programme. https://www.unep.org/interactives/air-pollution-note/ (accessed 4.5.24).

UNICEF, 2019. Silent Suffocation in Africa Air Pollution is a Growing Menace, Affecting the Poorest Children the Most. Rees, N., Wickham, A., Choi, Y. United Nations Children's Fund, New York, USA.
https://www.unicef.org/media/55081/file/silent_suffocation_in_africa_air_pollution_2019.pdf.

USEPA, 2014. National Ambient Air Quality Standards (NAAQS). United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA.

Yang, Z.; Yang, J.; Li, M.; Chen, J.; Ou, C.Q. Nonlinear and Lagged Meteorological Effects on Daily Levels of Ambient $PM_{2.5}$ and O_3: Evidence from 284 Chinese Cities. J. Clean. Prod. 2021, 278, 123931.

Wang, T.; Xue, L.; Brimblecombe, P.; Lam, Y.F.; Li, L.; Zhang, L. Ozone Pollution in China: A Review of Concentrations, Meteorological Influences, Chemical Precursors, and Effects. Sci. Total Environ. 2017, 575, 1582–1596.

ARTIGO Nº22654

TRATAMENTO DE EFLUENTES NA CIDADE DA BEIRA

Baptista Maparage[1(*)], Albano Sâlzon Maparagem[2]
[(*1; 2)] FCT-Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Zambeze-Beira Moçambique
(*) *Email* [(1*)] bmaparage@yahoo.com.br
[(2)] a_maparagem@yahoo.co.uk

RESUMO

Este trabalho tem como objectivo o estudo do tratamento de efluentes na Cidade da Beira . Ao longo dos últimos anos, o rápido crescimento industrial, a crescente urbanização e as mudanças nas práticas agrícolas entre outros factores, provocaram não só um notável incremento da demanda dos recursos hidráulicos, senão também, a deterioração significativa da sua qualidade. A degradação do meio ambiente hídrico tem sido o resultado desta prática que por vezes acontece devido a exiguidade de fundos na parte dos governos, por parte deve-se a falta de sensibilização da população e assim segue-se sendo um dos grandes factores que limita o desenvolvimento sócio-económico, pois, afecta de forma negativa aos seus potenciais utentes, partindo do abastecimento público até qualquer actividade recreativa, chegando inclusive a afectar e modificar os ecossistemas.

Palavras-chave: Saneamento, efluentes, Águas Residuais

1. INTRODUÇÃO

O tema que se trata neste trabalho, relaciona-se com a necessidade de existência de um sistema de tratamento de efluentes ou depuradora para zonas de maior concentração populacional (cidades). O Sistema da sua Recolha é o serviço público constituído de um conjunto de sistemas hidráulicos e instalações responsáveis para este efeito, atendimento das necessidades das indústrias e da população sendo uma das formas de prevenção às doenças originadas por essas águas a população e para o caso de moçambique, esse serviço é garantido por municípios e para o caso das vilas e pequenas cidades, o tratamento é garantido por pequenos serviços através de sistemas de fossas sépticas incluindo drenos (poços perdido). Nas localidades onde há problemas de abastecimento da água o sistema de construção de latrinas melhoradas é que é muito frequente para satisfazer as necessidades da população e como forma de prevenção das doenças existindo também o sistema de armazenamentos domiciliares das águas residuais em fossas sépticas que depois a mesma, para alguns casos é recolhida e despejada, nos rios, oceanos ou no solo sem o devido tratamento criando assim grandes riscos para a vida das populações. Ao longo dos últimos anos, o rápido crescimento industrial, a crescente urbanização e as mudanças nas práticas agrícolas entre outros factores, provocaram não só um notável incremento da demanda dos recursos hidráulicos, senão também, a deterioração significativa da sua qualidade. A degradação do meio ambiente hídrico tem sido o resultado desta prática que por vezes acontece devido a exiguidade de fundos na parte dos governos, por parte deve-se a falta de sensibilização da população e assim segue-se sendo um dos grandes factores que limita desenvolvimento económico, pois, afecta de forma negativa aos seus potenciais utentes, partindo do abastecimento público até qualquer actividade recreativa, chegando incluso a afectar e modificar os ecossistemas de acordo com isso. É evidente e necessário o tratamento

das águas residuais previamente antes da sua devolução ao meio ambiente e para isso é necessário que, em função das características mesmas e dos limites exigidos segundo as normas existentes, deverão desenhar-se as instalações de depuração, analisando as diferentes alternativas possíveis em cada caso, em função de considerações como custos de investimentos e de exploração, superfície requerida para a instalação da infraestrutura.

1.1. CONCEITO E TIPOS DE ÁGUAS RESIDUAIS

A Água Residual é a água que provém após a utilização da água natural a partir das residências e edifícios que tem instalações preparadas para banho, lavandarias e cozinhas. (Compostos essencialmente por aguas cinzentas, fezes, material higiênico, restos de alimentos, entre outros) e industrias, estabelecimentos comerciais e ou na agricultura, tornando-se em composto químico formado por hidrogénio e oxigénio.
As águas residuais quando se escoam são chamadas vertidos ou efluentes.

1.1.1. Águas Residuais Urbanas

São as que resultam da utilização da água natural ou aguas pluviais através de uma utilização em serviços domésticos, comerciais, serviços públicos e ou lavagem de vias publicas e drenagem mas que traz uma significativa carga de contaminação particularmente em zonas urbanas podendo ser cidades, localidades e ou vilas.

A contaminação das águas residuais urbanas parte da matéria orgânica que se encontra em suspensão assim como em dissolução sendo na sua maioria biodegradáveis. Quando as águas residuais se misturam com águas industriais podemos chamar de águas mistas ou águas residuais mistas incluindo nesse grupo as águas de processo e águas de refrigeração indirecta.

1.1.2. Águas Residuais e Industriais

Essas são aquelas provenientes de indústrias quaisquer em que o processo de produção, transformação ou manipulação tem a necessidade da utilização da água. Aquelas que são derivadas da fabricação de produtos, sendo principalmente dissoluções de produtos que sejam químicos, produção de massas químicas de papel, banhos de curtimentos de peles, galvanotecnologia e raspagens e tratamento de superfícies de metais entre outras actividades. Estes líquidos são considerados como sendo sub-produtos com um dado valor.

São chamadas Águas Residuais de Processo as produzidas na utilização das águas como meio auxiliar em um processo de fabricação, ou seja, para transporte, lavagem, refrigeração directa ou indirecta. Assim sendo, são consideradas águas de Refrigeração Indireta aquelas que não entram em contacto directo com os produtos, tendo como única contaminação a sua temperatura. Tem-se tornado complexa a fixação das características básicas das águas residuais procedentes da indústria, por variarem com a especificidade do ambiente de cada.

As águas residuais podem ser grandes vectores de transmissão de doenças infecciosas mortíferas que tem criado muitas vítimas nos países africanos por muitos deles não disporem de uma educação cívica da população tal que possa da consciência (falta de educação sanitária) para além de falta de recursos financeiros que os governos deparam que tem dependido de financiamentos externos dai que essas águas não devem ter contacto com o Homem, água de abastecimento, moscas para além dos alimentos pois existindo esse contacto, provocam e facilita-se a transmissão de doenças.

Por esses factos, recomenda-se que sejam construídas infraestruturas que se ligam a um sistema publico de esgotos e escoados para as estacão de tratamento e depois ao seu destino final em protecção e todo tipo de segurança, neste caso a solução é colectiva ou abrangente, contudo esta solução tem sido difícil e muito complicada para as zonas rurais onde não existem os sistemas públicos e devido a dificuldades económicas para essas comunidades e nestes casos são indicadas soluções que são individuais como o caso de fossas sépticas e ate latrinas melhoradas

1.1.3. Características dos Esgotos

Os esgotos têm três características que podem ser consideradas principais que são: biológica, químicas e físicas. As físicas são os compostos sólidos, temperatura, cheiro turbidez e variação do escoamento; as químicas são substâncias orgânicas e matéria inorgânica e as biológicas que são micro-organismos de águas residuais e indicadores de poluição.

A produção de esgotos tem uma relação directa com a disponibilidade da água, quanto maior for a quantidade da água disponível numa determinada área, maior produção dos esgotos haverá, e necessita-se de um destino final adequado devendo por em conta o seu escoamento, lençol freático, o tipo de tratamento e quanto menor for a quantidade da água numa dada área como tem sido em áreas rurais, a quantidade dos esgotos é reduzida neste caso são mais usadas as fossas e latrinas melhoradas (para alguns casos tem sido precárias).

Nestes processos há necessidade de considerar a Demanda Bioquímica de Oxigénio (DBO), que é a forma usada para quantificar a substância orgânica presente no esgoto na quantificação do oxigénio que se precisa para estabilizar a matéria orgânica em colaboração com as bactérias aeróbicas e se crescer o grau de poluição logicamente maior será a DBO. Para os esgotos domésticos a DBO varia de 100 a 300mg/L, a uma temperatura de 20 ˚C e a possibilidade de estabilizar 99% da matéria orgânica em 20 dias.

1.2. POLUIÇÃO E CONTAMINAÇÃO POR ESGOTOS

A contaminação é a introdução de substâncias que fazem mal a saúde dos seres humanos. No tocante a contaminação agrícola devem ser considerados os restos do uso de tóxicos na agricultura (mais usados na criação de animais) e de fertilizantes, que são resultantes de uma prática necessária mas que chega a ser exagerada ao ponto de criar prejuízos enormes ao ser demasiada aplicado nos campos, e que consiste em enviar grandes quantidades de produtos tóxicos para os rios por intermedio de escoamento de águas resultantes das chuvas, o mesmo caso também acontece para a extinção excrementos do gado durante a pastagens.

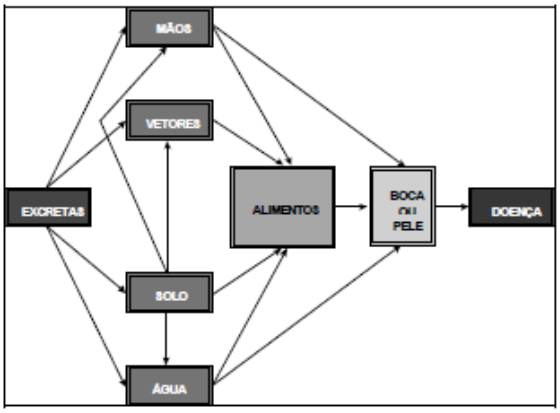


Figura 1. Propagação de doenças por fezes humanas

Na produção, as industrias produzem um material desnecessário o mesmo acontece com as cidades e a agricultura que por seu processo de fertilização dos solos a partir de produtos solodos ou líquidos com um potencial de poluição elevado que devido a falta de controlo eficiente ou a partir do escoamento de agua de chuva,são despejados nos rios, e neles pode haver a possibilidade carregamento de poluentes orgânicos que, em quantidades mínimas, de fácil controlo do que os inorgânicos. As indústrias produzem grandes quantidades de resíduos nos seus processos produtivos, sendo uma parte retida pelas instalações de tratamento da própria indústria, que retêm tanto resíduos sólidos quanto líquidos, e a outra parte despejada no ambiente que por vezes não observa as exigências mínimas segundo as normas de determinado país. No processo de tratamento dos resíduos sólidos também são produzidos outros resíduos que são prejudiciais que requerem outro tipo de tratamento.

A sensibilização da população para a preservação do meio ambiente vem justamente como forma de garantir a cidadania e consciencializar o povo na necessidade da preservação desse meio, que influi directamente na manutenção da sua qualidade e melhoramento da vida.

Existem quatro tipos de poluição mais destacados que são: Poluição Doméstica, Poluição Industrial, Poluição Agrícola e Fenómenos Naturais.

1.2.1. Vida das Bactérias

A sobrevivência das bactérias no solo não é constante dependendo do tipo de solo pois as mesmas bactérias também dependem do seu tipo em matéria em que se encontram, podendo levar 15 a 30 em fezes, 22 dias em diversificados cadáveres enterrados. Mas para casos de fezes podem chegar ate 70 dias se estiverem em solos húmidos e o mínimo para solos secos. A sua disseminação é quase nula na posição horizontal podendo atingir ate 1m e vertical pode atingir aos 3 metros.

1.2.2. Vida das Bactérias em Águas Subterrâneas

É imprevisível a sua sobrevivência mas na água subterrânea pode-se resultar no seu arrastamento no sentido do fluxo em 11 metros, essa natureza obriga o homem a estudar outros mecanismos de saneamento que possam ser eficazes na sua disseminação de forma a prevenir das doenças transmitidas por elas e que são prejudiciais a sua própria saúde, embora a própria natureza encarrega-se em fazer uma autodepuração.

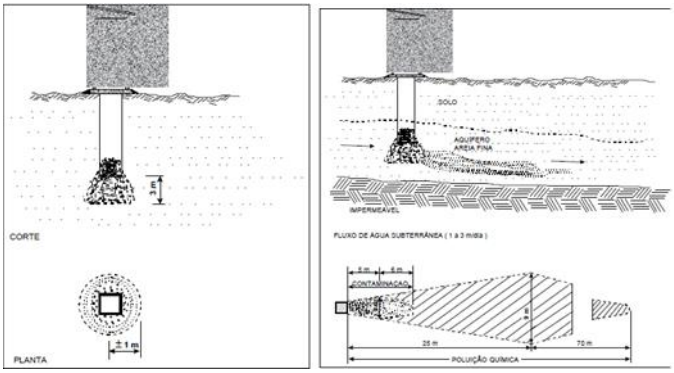


Figura 2- disseminação de bactérias no solo e na água

1.3. ESCOAMENTO DOS ESGOTOS

A concepção do sistema de esgoto é de escoar naturalmente os esgotos, isto é, concebido para escoarem naturalmente dos pontos mais altos para os pontos mais baixos por gravidade até ao seu destino final. As águas residuais provenientes das habitações, estabelecimentos comerciais e industriais, instituições e edifícios públicos e hospitais, são conduzidas pelas redes colectoras públicas aos colectores principais e que interceptam que transportam até ao seu destino final. As tubagens colectoras dos esgotos sanitários recebem ao longo de seu percurso, os coletores prediais (domésticos, comerciais, industriais entre outros).

Nesse escoamento, as tubagens devem obedecer determinada declividade que possibilite o seu transporte até ao seu destino final sem criar retorno das águas à sua proveniência. O escoamento dos esgotos deverá ocorrer sem problemas que impliquem obstruções dos tubos ou danos que podem prejudicar o bom funcionamento do conjunto. O dimensionamento hidraulico da tubagem faz-se obedecendo regras e formas da hidraulica.

1.4. TIPOS DE SISTEMAS DE COLECTA E TRANSPORTE DE ÁGUAS RESIDUAIS

Para colectar e escoar águas residuais, existem basicamente dois tipos de sistemas como soluções para o escoamento do esgoto de uma dada área que são: Sistema individual e Sistema colectivo, este último, subdivide-se em sistemas unitários ou combinados e sistema separador. Por sua vez, os sistemas separadores podem ser subdivididos em sistemas convencional e condominiais.

1.4.1. Sistemas Individuais de Tratamento e Escoamento de Esgotos

Os sistemas individuais, são os que são concedidos para atendimento das residências ou habitações unifamiliares e consistem no lançamento dos esgotos domésticos gerados numa dada residência, usualmente em fossa séptica seguida de dispositivo de infiltração no solo.

Esses sistemas podem funcionar de forma satisfatória e económica caso as habitações sejam muitas e com uma grande área livre ou em zonas semi-rurais onde o solo apresenta boas condições de infiltração e se o nível da água subterrânea se encontrar a uma boa e adequada profundidade de forma a evitar o risco de contaminação da água de consumo por transmissores de doenças que acabam criando constrangimento à saúde humana. Incluem neste caso, zonas rurais em que as alternativas são o uso das latrinas individuais no quintal, que consiste em construção de uma casinha e uma fossa seca destinada a receber unicamente as fezes sem para tal usar agua e que as mesmas se decompõe por um processo anaeróbico e devem estar localizadas em lugares livres de enchentes e distantes das fontes de agua (poços ou furos de agua) devendo ter uma profundidade inferior a essas fontes de modo a evitar a contaminação das mesmas e com uma distancia mínima de 15 metros. O dimensionamento dessas fossas deve por em consideração o tempo de vida útil e o número dos seus utentes.

Para a sua edificação, devem obedecer as regras construtivas que garantam a segurança no seu uso, de forma que as fossas não criem perigo para a vida dos utentes, isto é por forma que não desabem e não possam criar problemas de poluição e um sistema de ventilação eficiente para que os utentes não sejam afectados pelo mau cheiro.

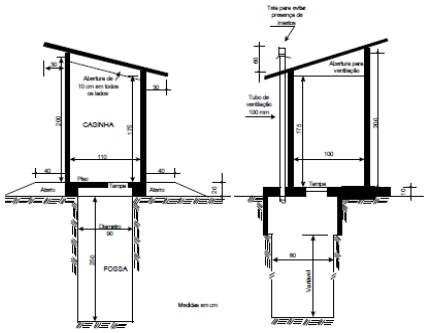


Figura 3- Fossa seca não ventilada e fossa seca ventilada

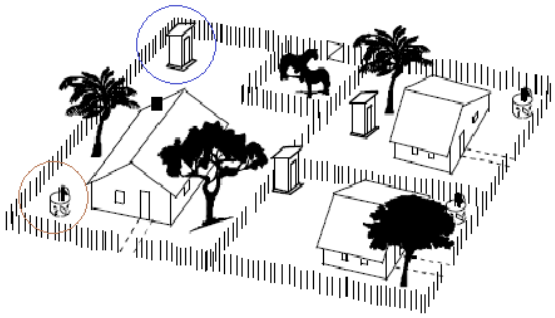


Figura 4- Localização da fossa e poço (fonte de água)

1.4.2. Sistemas Colectivos de Tratamento e Escoamento de Esgotos

Num dado aglomerado populacional, na medida que se verifica o crescimento demográfico se verifica (crescimento populacional), tendo como consequência maior ocupação de terras devido a maior concentração demográfica, as soluções individuais começam a ter as suas limitações criando assim grandes impasses na sua aplicação e devendo assim dar lugar soluções colectivas de escoamento e tratamento das aguas residuais. A área necessária para o depósito individual do efluente, torna cada vez menor, com isso, os sistemas coletivos passam a ser mais indicados como solução.

Eles recebem lançamento dos esgotos que vem das habitações e transportam-os ao seu destino final, de forma sanitária adequada e em meios apropriados. Há casos em que a região a ser atendida se encontra numa área afastada do restante da comunidade devido aos constrangimentos que o mau cheiro cria, ou mesmo em zonas que se encontram a níveis inferiores para que o escoamento seja por gravidade e sem grandes incidentes, devendo para tal, criar-se mecanismos.

Sistema unitário: consiste em colectar os esgotos sanitários e as águas pluviais em uma única tubagem para o seu destino final. As canalizações são de grandes dimensões, caracterizados por custos elevados na implementação dos seus projectos iniciais e por ocasião das cheias, geralmente tem havido o estorno do esgoto sanitário para o interior das residências, as estações de tratamento não podem ser dimensionadas para tratar toda a vazão que é gerada no período de maior precipitação. No seu dimensionamento deve ser posto em conta precipitações máximas com período de recorrência entre 5 a 10 anos

Sistema separador, neste sistema, as canalizações do esgoto e de águas pluviais são separados. O escoamento das águas pluviais não é muito preocupante quanto ao seu tratamento pois se facilita, porque as mesmas apresentam menor risco de poluição e podem ser drenadas directamente no seu receptor sem precisar de tratamento, este é um caso prático da cidade da Beira-Moçambique. Na sua concepção e construção, há opção de uso de diversificados materiais para as tubulações de esgotos deste que sejam capazes de resistir a pressão exigida, tais como tubos cerâmicos, betão, PVC ou, em casos especiais, ferro fundido, reduzindo desta forma os custos iniciais e prazos da sua execução. Considerando a importância da comunidade e as condições dos investimentos, podem existir facilidades do seu planeamento.

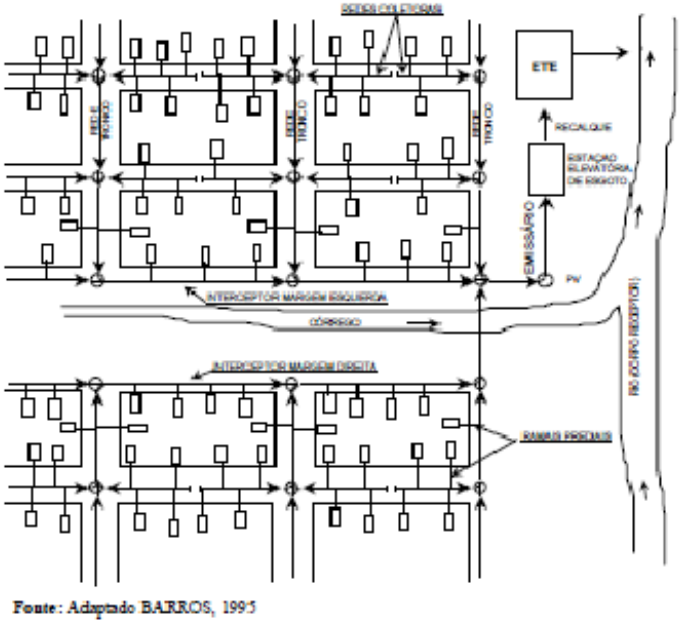
Sistema Misto, quando a rede é projectada para receber o esgoto e uma parte de águas das chuvas, chama-se mista, dependendo de um e outro país em que é posto a disposição para apenas recolher águas dos telhados.

Sistema convencional, solução de esgoto sanitário é frequentemente usada actualmente para o que se faz através dos sistemas denominados convencionais. As unidades que podem compor

um sistema convencional de esgoto sanitário são as seguintes: ramal, colector de esgoto, tronco, interceptor, emissário, poços de visita, estacão elevatórios, estacão de tratamento e disposição.

No estudo de alternativas de esgoto sanitário de uma dada cidade ou localidade, há necessidade de fazer a delimitação das bacias sanitárias a servir pelo esgoto em referência. A bacia sanitária é a área a ser servida pelo esgoto, que contribui por gravidade num mesmo ponto do interceptor.

Para a colecta das águas e o escoamento ao destino final de forma apropriada dos esgotos sanitários gerados numa dada área, deverão ser estudadas muitas alternativas diferentes. As soluções de tratamento dos esgotos colectados, sendo em estações localizadas em diferentes pontos ou mesmo numa única estação de tratamento para atendimento a toda a população, devem ser bem concebidos ou seja selecionada após criterioso estudo técnico-econômico de possíveis alternativas para as diferentes partes do sistema.



Fonte: Adaptado BARROS, 1995

Figura 5- Sistema convencional

1.5. SISTEMA DE CONDOMÍNIO

O sistema condominial é um sistema económico para o esgoto concebido para os condomínios com a comparticipação da comunidade utente usando uma tecnologia adequada. O seu preço é relativamente baixo comparado ao convencional.

As partes constituintes de um sistema condominial são: ramal dentro de muros; rede básica e tratamento e disposição final. A rede pública simplesmente passa a tangente do sistema.

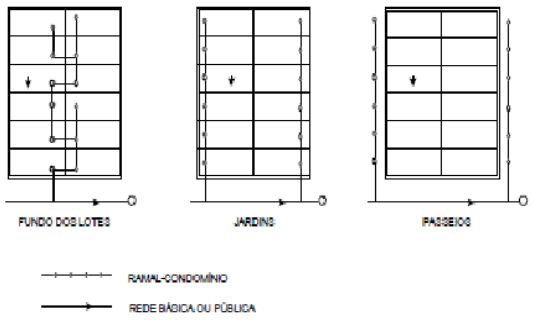


Figura 6- ramal condominial

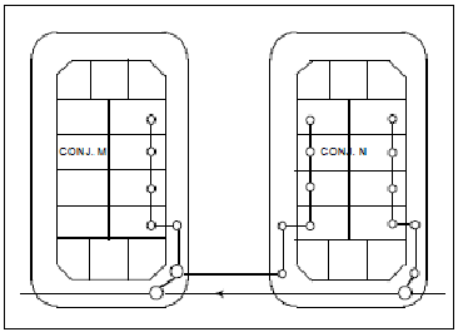


Figura 7-Dois ramais de conjuntos diferentes

1.6. ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS A SEREM CUMPRIDAS PELOS COLECTORES

As características técnicas relacionadas com o projecto e a construção das canalizações de um sistema de esgotos são de grande importância do ponto de vista técnico e econômico, sendo as mais comuns, o **Diâmetro mínimo que d**epende das condições locais do terreno e do consumo de água dos habitantes e em condições normal o diâmetro mínimo adoptado é igual a 100 mm. **Profundidade mínima:** deve permitir a recepção das águas por gravidade e proteger a tubagem contra o trafego de veículos para além da vibração que os mesmos criam.

Tabela1. Tipo de rede e profundidade mínima

Tipo de rede	Profundidade minima (m)
Ramal condominial de jardim	0,40
Ramal condominial de passeio	0,70
Ramal condominial de fundo do lote	0,40
Rede publica no passeio	0,80
Rede publica na rua	1,00

Profundidade máxima: deve-se ter em conta no projecto, não ultrapassar profundidades especificadas dependendo do comportamento do solo da zona da localização do projecto, recomendando-se por volta de 4,0m a 4,5m, conforme os serviços. Os valores médios da profundidade deverão estar em torno de 1,50m a 2,50m.

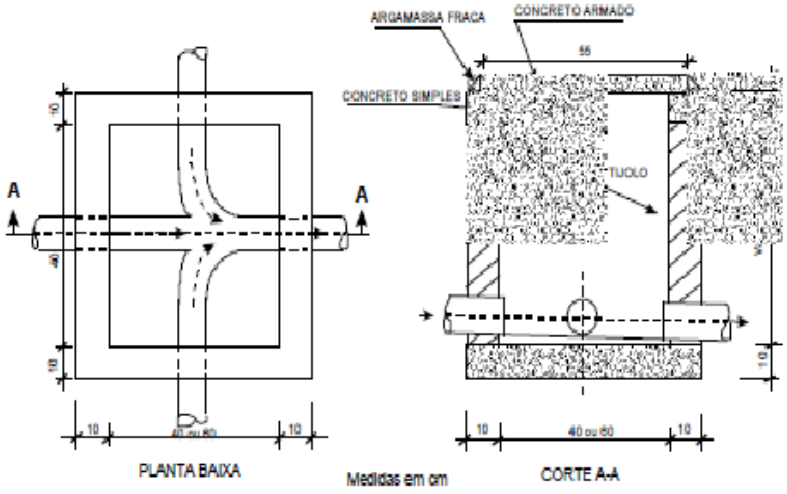


Figura 8- Caixas de inspecção

1.7. FOSSA SÉPTICA

As fossas sépticas foram criadas 1860, na franca, com objectivo de receber todos os despejos domésticos por tempo pré-determinado de modo que a decantação dos sólidos e a retenção do material contido seja transformado ao mesmo tempo que se usa para um pré-tratamento dos esgotos. Recomenda-se que seja construído um poço perdido que vai receber as águas que tenham gorduras de forma separada.

A fórmula para o cálculo da fossa séptica é:

$$V = 1000 + N (C.T + K.Lf)$$

V= volume útil em litros
N=Numero de utentes
C=contribuição de despejos
T= Período de detenção
K =taxa de acumulação de lodo
Lf=contribuição de lodo fresco-l/dia

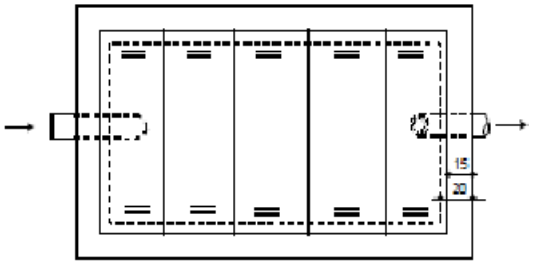


Figura 10-Fossa septica em planta

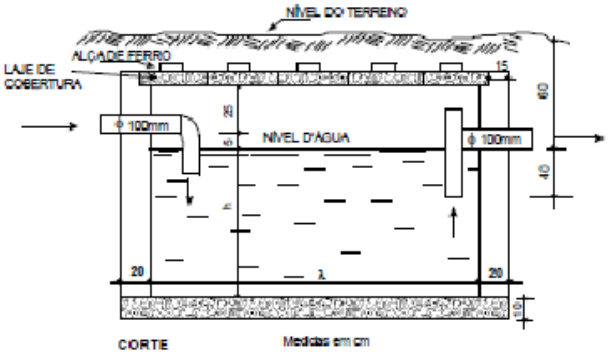


Figura 11-fossa septica em corte

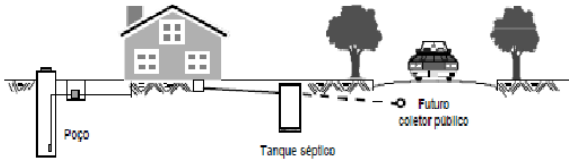


Figura 12- esquema de fossa septica

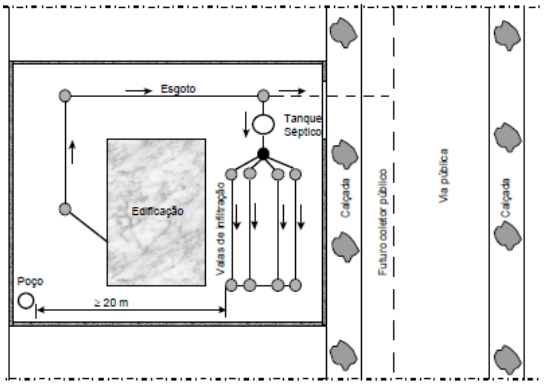


Figura 13-esquema de instalação de fossa séptica

2. ESTACÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

ETE ou ETAR, é uma construção que serve para tratamento das águas residuais de origem doméstica e industrial, chamadas de esgotos sanitários ou industriais, para depois serem transportadas para o destino final que pode ser uma área previamente preparada e com um nível de poluição acessivel (rio ou mar) através de um emissário, conforme a legislação vigente de cada país para o meio ambiente receptor. Numa ETAR as águas residuais devem passar por muitos processos de tratamento com o objectivo de separar e diminuir a quantidade da matéria poluente da água. Deve-se fazer uma limpeza frequente da caixa de areia, removendo os residuos solidos grossos da grade e caixa de areia.

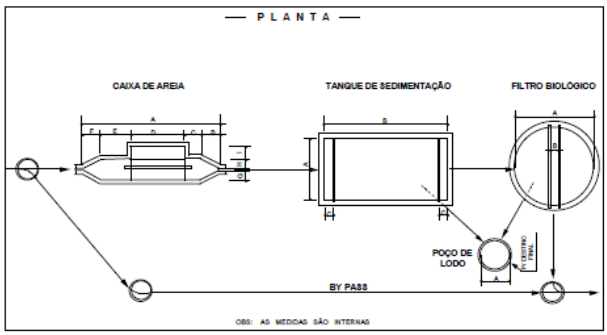


Figura 14- planta da ETAR

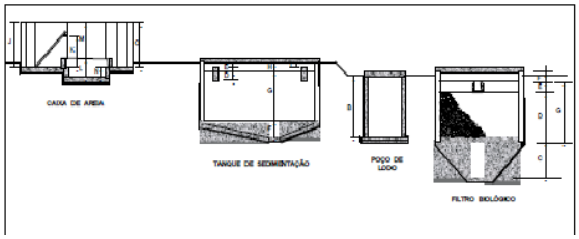


Figura 15-Corte da ETAR

2.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA RESIDUAL AFLUENTE

O somatório das águas residuais é a mistura destas com águas industriais ou com águas pluviais. As fezes humanas são compostas por restos de alimentos e dos próprios alimentos não transformados na digestão fazendo parte deste as gorduras, os hidroxidos de carbono e as proteínas. As características físicas mais ligadas aos esgotos domésticos são a matéria sólida, temperatura, cheiro, cor, turbidez e a variação do escoamento. Quanto a temperatura, é um bocado superior a das águas de abastecimento e com o seu aumento, também aumenta a sua decomposição. Os cheiros são causados por gases no processo de decomposição, sendo do esgoto fresco relativamente suave do que o do esgoto velho que é agressivo.

As ETAR recebem águas com diferentes composições, o que implica diferentes tipos de operações e processos de tratamento adequados em função do tipo de águas residuais recebidas e por tratar.

2.1.1. Sistema de recolha e drenagem de águas residuais

A recolha do esgoto é feita por uma rede fixa de colectores que funcionam num conjunto de componentes para transporta e elevar ate a ETAR.

2.1.2. Sistemas de Tratamento de Águas Residuais

Para tratar as águas residuais existem duas fases distintas que são a líquida, cujo objectivo é o tratamento da água residual de forma a cumprir as condições exigidas na licença de descarga para posterior rejeição no meio receptor e a outra corresponde ao tratamento da fase sólida, adequado aos sólidos removidos da água residual na fase líquida. Pode haver necessidade do tratamento dos cheiros que resultam da degradação da matéria orgânica existente nas águas residuais, removida ao longo do processo de tratamento. Por outro lado, podem existir algumas instalações de auxiliares para o adequado funcionamento e exploração das ETAR, bem como os vários tipos de instrumentação e automação.



Figura 16- Estacão de Tratamento de Águas Residuais

2.2. ENQUADRAMENTO INSTITUCIONAL

De acordo com a legislação e normas em vigor em Moçambique, a responsabilidade pela recolha e tratamento das águas residuais urbanas é das autarquias e dos governos Locais. Tendo em atenção aos elevados custos de investimento envolvidos e as capacidades técnicas necessárias para projectar e construir este tipo de infraestruturas, as soluções de tratamento das águas residuais urbanas, chama a si a responsabilidade da concepção e construção das infraestruturas de tratamento, que incluem os elementos constituintes.

2.2.1. População do Projecto

Para o dimensionamento da infraestrutura de tratamento de águas residuais, há necessidade de fazer o cálculo da estimativa das capitações de produção de águas residuais para a população residente incluem a fracção de efluentes dos serviços públicos, comércio e restauração, numa projecção do horizonte do projecto. Denomina-se população de projeto a população total a que o sistema deverá atender e volume diário médio doméstico o produto entre o número de habitantes beneficiados pelo sistema. Com relação a determinação desta população, dois são os problemas que se apresentam como de maior importância: população futura e densidade populacional. A determinação da população futura é essencial, pois não se deve projectar um sistema para beneficiar apenas a população actual de um centro urbano com tendência de crescimento contínuo. Esse procedimento, muito provavelmente, inviabilizaria o sistema logo após sua implantação por problemas de sub-dimensionamento ou sub-estimação.

Além do estudo para determinação do crescimento da população, há a necessidade também de que sejam desenvolvidos estudos sobre a distribuição desta população sobre a área a distribuir, pois, principalmente em cidades maiores, a ocupação das áreas centrais, por exemplo, é significativamente diferenciada da ocupação nas áreas periféricas.

$$P = P_o\,(1 + g)^{\Delta t}$$

onde "P" é a população prevista, "P_o" a população inicial do projeto, "□t" o intervalo de anos da previsão e "g" a taxa de crescimento geométrico.

2.2.2. População Flutuante

Em quase todos os centros urbanos, além da população residente, o número de pessoas que utilizam água temporariamente que consequentemente se torna residual, é também, significativo e tem que ser considerado no cálculo para determinação das vazões. No dimensionamento de uma ETAR há sempre necessidade de estimar a percentagem do número

da população flutuante pois sempre existe produção de águas residuais por esse grupo de pessoas.

2.2.3. Indústria Transformadora

Há necessidade, na projecção de uma ETAR de calcular o volume efluente produzido pelas industriais transformadoras onde ela estiver instalada, calculada com base do consumo de água e a produção de águas residuais da indústria transformadora nessa dada cidade.

2.2.4. Produção Total

Há necessidade de fazer o somatório da produção de águas residuais com origem na população residente, flutuante e indústria transformadora e posteriormente fazer a projecção segundo o horizonte do projecto. Nas Cidades ou vilas, podem existir outras origens de produção de águas residuais com características domésticas cuja produção ou quantidade deve ser considerada nos dados de projecção da ETAR.

2.2.5. Perspectivas de Evolução

Em relação aos primeiros anos do horizonte do projecto são consideradas as seguintes tendências de evolução, em termos de produção de águas residuais, há que considerar o crescimento populacional da área de estudo o que de certa forma contribui no alargamento ou manutenção do sistema que tenha sido construído no determinado período. No referido crescimento deve se por em conta o aumento de número de camas oficiais e clandestinos, construções hospitalares que possam aumentar o número de leitos, lares de estudante, escolas, mercados entre outras infraestruturas.

3. FASES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS/EFLUENTES

3.1. TRATAMENTO PRELIMINAR

O primeiro tratamento chama-se pré-tratamento que é preliminar e consiste em sujeitar os esgotos aos processos de separação dos sólidos mais grossos por um sistema de crivagem por grades ou por peneiras rotativas, nesta fase, o esgoto é, preparado para as fases de tratamento subsequentes.

3.2. TRATAMENTOS SUBSEQUENTES

Após o tratamento que se referiu anteriormente, em que o esgoto se apresenta aparentemente razoável em relação as características aquando da sua entrada, ainda elas continuam inalteradas e precisam do tratamento primário que consiste em separar a matéria poluente da agua por sedimentação a partir de sedimentadores, com uma eficiência de 60%, segue-se então ao tratamento secundário por ainda possuir poluentes, este faz-se por processo biológico do tipo lodo activado ou por filtro biológico onde a matéria poluente é consumida por micro-organismos nos reactores biológicos. O esgoto deste tratamento tem uma eficiência que pode chegar a 95% ou mais dependendo da operação a que a ETAR estiver sujeita. Os micro-organismos sofrem posteriormente um processo de sedimentação nos designados sedimentadores (decantadores) secundários. Esse tratamento faz reduzir significativamente o nível de poluição por matéria orgânica e nessas condições, podem ser despejados no ambiente receptor, este é a tratamento terciário que consiste na desinfeção do efluente.

3.3. COMPOSIÇÃO DE ESGOTO

Os esgotos contem matéria orgânica e mineral em solução e em suspensão, grandes quantidades de microrganismos patogénicos e bactérias. Outros produtos que podem ser depositados de forma indevida aos esgotos são fraldas descartáveis, pecas de roupa, objectos de higiene feminina, produtos tóxicos de origem industriais, preservativos entre outros.

As águas residuais em decomposição anaeróbica produzem gases que, em espaços fechados, como tubos ou estacoes, podem estar concentrados a níveis perigosos, exigindo o uso de material específico. O gás sulfídrico é o principal responsável pelo cheiro característico do esgoto em decomposição anaeróbica. O gás mais perigoso presente no esgoto é o metano por ser explosivo que pode ser processado para uso doméstica se seguir procedimentos apropriados, embora tenha já causado a morte de muitos operários de companhias de saneamento.



Figura 17- Esgoto

4. CONCLUSÕES

Após o estudo consolida-se o conhecimento sobre o tratamento dos efluentes, sua origem, condução e até ao seu ponto final. Aprofunda-se ainda o conhecimento das características de efluentes, sua composição e consolidação dos conhecimentos acerca da concepção de um sistema de Tratamento de Águas Residuais incluindo os elementos constituintes do mesmo, sua funcionalidade, vantagens e sua desvantagem. Esses conhecimentos contribuem de certa maneira para um pais como Moçambique em que os sistemas de tratamentos de efluentes são poucos e dos existentes só se localizam nos grandes municípios (Maputo e Beira), que possuem o tratamento de águas residuais e as outras ainda carecem. Com este estudo haverá facilidade de estudar uma maneira de sensibilizar aos governos locais que ainda não possuam os sistemas para que mesmo que estes sejam privados, os mesmos tenham sustentabilidade.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AZEVEDO NETO, J.M., AMARAL e SILVA, C.C. 1982 Sistemas de Esgotos Sanitários. São Paulo : CETESB.

AZEVEDO NETTO, J.M..1974-Manual de Hidraúlica, volume 1, São Paulo-Brasil.

BARROS, R.T.V. et al. Saneamento. Belo Horizonte : Escola de Engenharia da UFMG, 1995.(Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios, 2).

BAKHMETEFF, B.A, 1941- Mécanique de l'Ecoulement Turbulent des Fluides. Dunod, Paris-França;

GONÇALVES, R.F.G. 1998. Sistema UASB biofiltro aerado. Vitória : Universidade Federal do Espírito Santo.

HUISMAN. L. – Rapid Filtration Delft University of Technology, Delft-Holanda.

OKUN.D.A.Water and Wastewater engineering J.Wiley & Sons;

RICHTER & NETTO-Tratamento de água. Tecnologia actualizada. São Paulo. 1991

STEEL, E.W.: MC GHEE, TERENCE J. Water Supply and Sewerage Mc Graw-FAIR. Geyer. J. C.:

ÍNDICE DE AUTORES

A

Abel, L.S. 843
Afonso, Paula 911
Agostinho, Daniel 577
Águas, Hugo 517
Alcolete, Isequiel 759
Almeida, Fernando 891
Almeida, Lara 1033 1035
Almeida, Susana 873
Alves, Célia A. 1163 1165 1167
Alves, Jorge Lino 3 105 417
Andrejkovičová, Slavka 891
Anjos, José Ângelo dos 1031
Andrade-Pais, Luis 1041
António, Carlos A.C. 165 375 385 795 813
António, Francisco M. 607
Araújo, Helder 115
Arêde, António 781
Arthur, Fátima 293
Ashantis, Aciel 1031
Azzalini, Antônio 911

B

Bande, Ilidio 1135
Bandeira, Cirlene F. 729 737
Bastos, Carla 1029
Bauque, Gilberto 483 909
Bembele, Armando 301 311 329
Benta, Agostinho A.R.C.A. 269 607
Bernardo, Bernardino 1037
Bernardo, Eulávio Romão 949
Bié, Alberto 463
Bittencourt, Túlio N. 851
Boane, Jenny L. N. 517
Boane, Málik 779
Bonito, Fernando A.B. 607
Bravo, Paulo 871
Brito, Romualdo José Romão 681
Burazer, Nikola 1035

C

Cadir, Roxan 441
Caetano, Paulo Sá 937
Camanho, Pedro P. 807
Camilo, Daniel 517
Candeias, Carla 1031 1033 1035 1037
Cardoso, Antonio Fernando Martins 505
Cardoso, António J. Marques 461
Cardoso, Bruno J. 471
Carneiro, Gonçalo N. 795
Carneiro, Júlio 483 909
Carobeno, Camila 781
Carvalho, Cristina 871
Carvalho, Paulo de 1041
Castro-Gomes, J. 563 747
Catarino, Lídia 759
Chachaia, Fernando H. 103 291 519
Chalauane, Dinirson 179
Chataza, Calulo Artur 521
Chaúque, Anselmo 183
Chichava, Nelson 1103
Chilaúle, Ataíde G.P. 77
Chirico Júnior, A.S. 1147
Chitata, Edilton I. 537
Chiziane, Edilene M.F 983
Cipoli, Yago 1163 1165 1167
Coimbra, Edgar 517
Constantino, Joaquim 563
Cossa, Sumeila Dinis 1089
Costa, Carlos 937
Cuamba, Arcanjo Rodrigues 231
Cuamba, Boaventura 909
Cugala, Fainesse 1107
Cumaio, Luís 151
Cumbane, António José 539 665 1125
Cumbane, Sebastião P. 865
Curto, Eva 115
Correia, José A.F.O. 851

D

Daniel, Gabriela Cristina 1085
Daud, Humeid Abdul R. 663
Dias, António Guerner 577 939
Dingane, Lulu Lino 589 599
Dinis, António 937
Diogo, J. 339
Duarte, Isabel R. 925
Duque, Maria Rosa 411

E

Eduardo, Maria 231
Envelope, Nelson 471
Escudeiro, Nuno 393
Escudeiro, Paula 393
Estévez, Elsa A. Paz 1087

F

Fabricius, Matias 505
Fagundes, Isabel 871

Falcão e Cunha, João 287 293 369
Faleiro, Margarida 937
Faria, Paula 911
Faria, Ricardo O. 165
Farré, R. 39
Feliciano, José 871
Feliciano, Manuel 1163 1167
Fernandes, Marco 471
Ferreira, José Rui 461 505
Ferreira, Marta Campos 369
Ferreira, Neid Ali 1135
Ferreira, Sara 257
Filipe, Ângela G. 607
Fonseca, Bárbara 871 939
Fonseca, Elza M.M. 375
Formigoni, Alexandre 1087
Fortunato, Elvira 517
Francisco, Tomás Jambone 1073
Furaca, Noca 183
Furst, Leonardo 1163 1165 1167

G

Gajica, Gordana 1035
Gaspar, Adélio R. 471
Gaspar, Fabricio S. 967
Gebremichael, Fana G. 539
Gelo, Hagira Naide 149 151 1089
Gemusse, Ubaldo Ginova Ombe 661 695
Gimo, G. 339
Góis, Joaquim 417 871 873 939
Germano, Ricardo 37
Gonçalves, Ana 1007
Gouveia, João Paulo Martins 967
Gove, Hélio 149 151
Gracia, V. 181
Grande, Salvador Carlo 589 599
Grifoll, M. 181
Guambe Júnior, Eduardo Filimone 151
Guerra, Vitor M.O.B. 161

H

Hassanigy, Samia 179
Herculano, Karen F. 291

I

Issufo, Vali 441
Ituamba, Joaquim 1165

J

Jamal, Daúd 483
Jasse, Salustiana da Mércia 1007
Jesus, Abílio M.P. de 851
João, Maibeque Francisco 695
Joaque, Gimo A.T. 467
Jone, Morais Mauricio 231
José, David Selemane 681
Jossias, Leila Parruque 179 465 1093
Jovančićević, Branimir 1035
Júnior, Augusto N. 519
Júnior, Bernardino Jaime Cuambe 159
Júnior, Samuel Fibione Jofrisse 121

L

Lage, Luís 759
Laranjeira, Mateus 505
Leitão, Anabela 1163 1165 1167
Lifaniça, Érica R.C. 285
Lima, Felisberto António 259 269 893
Lima, Lucas Sábado 1089
Lingongo, Cosme 471
Lopes, Luís 911
Lopes, Ricardo Castro 461
Lucas, Lucas Simão 101 259 893 1089

M

Mabote, Zefanias 537
Machado e Moura, António 461 505
Macumo, Manuel Gabriel 1053
Magaia, Luís 483 909
Magrinho, Manuel 747
Magul, João L.C. 833
Mahumane, Leila A. 103
Manhique, A. 1147
Manjate, Natalino Abílio 159
Maparagem, Albano Sâlzon 1053 1187
Maparage, Baptista 649 949 1187
Mapire, Afonso T.S. 713
Marafona, João D.M. 795
Marchiori, Leonardo 1041
Mariano, Shirley 1093
Marques, Pedro M.T. 795
Martins, Rodrigo 517
Martins, Ruben 911
Massingue, Helton das Neves Alberto 483 703 909
Matavele, Ernesto Eusébio 1115
Mathe, A.V. 181
Matola, Zunchany 549
Matos, António S. 293 301 311 329 357
Matsena, Edilio 301 311
Matsimbe, Belzénia 257 463

Matsinhe, Jonas Valente 713 833 993
Matus, Ilse Valenzuela 417
Mavie, Kevin 835
Mavimbele, A. 181
Mavume, Alberto 463
Máximo, Anulávio 311
Mazive, Sarlina Bernardo 207
Mazezo, Augusto 483 909
Mazive, Daniel 779
Mbanze, D. 39
Mboa, Eduardo 1107
Mello, Adilson da Silva 1083 1085 1087
Melo, José 781 809
Menda, Ugur D. 517
Mendes, Manuel J. 517
Mendonça, Gilberto 909
Mesquita, Paulo 483 909
Moane, João Baptista 665
Möller, Klaus 465
Mondlane, João Lusito Alberto 503
Mondlane Júnior, Salvador 483
Monteiro, António Jorge 37
Monteiro, José A. Walters 289
Morais, Maria Vitoria 1041
Mota, Izabel de O. da 729 737
Mota, Lauro 81
Mourão, António M.B.F.S. 851
Mourão, Paulo 911
Mpfumo, Rafael Beto 59
Muagerene, Kevin 835
Muchanga, Idalina 483 909
Muchanga, Savio 179
Munguambe, Durque Mário 991
Mussagy, Amade 357
Mussivane, Jéssica Sérgio 545
Mutchamua, Vera Cláudia 667
Muthemba, Leonel João 503
Mutombene, Dulce S. 669
Muxhanga, Bento 909

N

Nascimento, Daniela 937
Neves, Alexandra 779
Nhanengue, Chadreque 1135
Nhavoto, Albertina Amélia Alberto 577
Nnene, Obiora 81
Novela, Tárcia A. 925

O

Omar, Leila 441
Otero, J. 39
Oliveira, Armando C. 493
Oliveira, António 405
Olumene, Luís Roberto da Silva 49

P

Pacheco, Júlio Acácio 521
Palmero-Marrero, Ana Isabel 493
Pais, Sandro Luis Rodrigues 521
Pandze, Dias Serafim Alfredo 661
Pascoal, Neto 405
Paulino, Francisco 937
Pavo-Fernandez, E. 181
Peixoto, Arcílio Carlos Ferreira 813
Pena, Assane Luís 187
Penente, Vasco Munguare 521
Pereira, Henrique Garcia 939
Pereira, Viviane Guimarães 1083
Pery, João Edilson Joaquim 993
Pimenta, Carlos Alberto Máximo 1083 1085
Pindela, Albertina Gustavo 983
Pinho, António B. 925
Pinho, José Luís 183
Pinifolo, Joaquim Inácio Joaquim 947
Pires, Vera 911
Plantão, Aziza 149
Pondja, Estevão A.J. 231 667 713
Punguane, Edson Afonso Joaquim 503

R

Raimundo, Wilson D. S. A. 1125
Ramiro, Delton 59
Ribeiro, Rosinei Batista 1085 1087
Ricardo, Francisco H.J. 795
Rocha, Fernando Joaquim Fernandes Tavares 187 627 661 891 1029 1033 1035 1037
Rocha, Maria Luísa 405
Rodrigues, Eugénio 471
Rodrigues, Mery Beatriz M. 207
Roelens, Jean Baptiste 1135
Rosseti, Rosaldo 345
Rouvroy, Charline de 1135
Rupias, Osvaldo Jorge Brito 627

S

Sá, Carlos Araújo 461
Šajnović, Aleksandra 1035
Sanchez de la Campa, Ana 1163
Sancho, Julia Artigos 1135
Sande, Amuza J. 285 371
Santana, Leonardo 3
Santana, Marcelino Rivas 1087
Santos, Andreia 891
Sardiñas, Ramon Quiza 1087

Saúde, João 937
Secane, Zacarias Fernando Nharongue 121
Semente, Jasse 471
Silva, Alan Victor da 1167
Silva, André 493
Silva, Ana 37
Silva, Bernardo Marques Amaral 461 505
Silva, Caio Fernando da 1087
Silva, Gilmar C. 375
Silva, J. Mendes da 759
Silva, Lígia Afreixo 105
Silva, Maria Aparecida da 1083
Silva Junior, G.B. 747
Silveira, Larisse 1093
Simões, Ana Correia 101
Sine, Aurélio 835
Sing-Sang, Pedro 865
Sitoe, Nélio das Neves O. 183
Sitoe, R.V. 1103
Soares, Amílcar de Oliveira 187
Soares, António Lucas 101
Soares, Marlene 1167
Soares, Mário 461
Soares, Samara C.R. 375
Sobral, João Eduardo Chagas 1085
Solana Arteche, G. 181
NON-CONFORMING NAME: Solana G.Sousa, Hipólito 809
Sousa, Luísa 809
Sousa, Rui 809

T

Tavares, José Pedro 345
Tejada, Joaquín Romero de 369
Tembe, Atanásio 81
Timbane, A.F. 843
Tsamba, Alberto 909

U

Uaciquete, Americo 1135
Uamusse, Miguel M. 713

V

Varum, Humberto 781 809
Vaz, Gonçalo J. Pires 431
Vaz, Mário A.P. 431
Vaz-Pires, Paulo 417
Velez, Jorge 911
Vendas, Daniel 937
Veselinović, Gorica 1035
Vicente, Ernesto Augusto E. 259
Vicente, Estela 1165
Vilarinho, Cristina 345

W

Wamusse, Verónica Anastância Rafael 503

Z

Zacarias, Eugénia da Glória 215
Zandamela, A. 339
Zimmermann, Ricardo 101
Zita, Eldomar José 503