

ANÁLISE DE MECANISMOS DE MACHINE LEARNING IMPLEMENTADOS EM EMPRESAS DE ENGENHARIA CIVIL E DA CONSTRUÇÃO

TOMÁS TRIGUEIROS P. NIETO GUIMARÃES

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JULHO DE 2022

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2021/2022

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌍 http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2021/2022 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2022*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

À minha família

Não se pode evoluir ao ignorar o desafio
Samuel Mira

AGRADECIMENTOS

À minha Mãe e ao meu Pai, que sempre exigiram mais de mim e me impulsionaram a notabilizar-me na vida académica assim como a nível pessoal. Foram os meus pais quem forneceu todas as ferramentas para que pudesse atingir os objetivos aos quais me propus, transmitindo-me confiança nos dias menos fáceis e incutindo os valores pelos quais me rego e dos quais me orgulho. Por isso e tanto mais, são a razão pela qual me torno Engenheiro Civil.

Aos meus amigos, com quem pude sempre contar para uma tarde de estudo, uma explicação matemática, um fino para desanuviar ou apenas uma palavra de apoio. Dizem que uma pessoa é um reflexo dos seus amigos mais próximos. Se assim for, tenho plena confiança do profissional e humano que me farei.

À minha restante família, especialmente aos meus irmãos, Avó, primos e tios mais próximos. Sempre foram incansáveis no seu apoio e ajudaram a moldar-me. Sei que hoje consigo retribuir toda a confiança que depositaram em mim.

À Rita, por ter estado lá nesta fase final e me ter dado a força para a terminar. Mesmo longe, esteve em cada palavra escrita nos últimos meses.

Ao meu orientador, o Prof. Dr. Alfredo Soeiro. Faltam-me as palavras para agradecer o compromisso que teve comigo, o conjunto de conhecimentos que me transmitiu nos últimos nove meses e a confiança que teve de que o meu trabalho iria refletir isso mesmo. Ao final de um período em que o seu chavão caraterístico foi “Não me agradeça”, posso por fim fazê-lo.

RESUMO

O setor da Engenharia Civil e a indústria da Construção têm um longo historial de serem sobrecarregados por falhas de projeto, erros de gestão, falta de mão-de-obra, atrasos na entrega de recursos, dados incorretos ou em falta, conflitos, legislação em demasia ou falhas nos equipamentos. Embora alguns destes fatores estejam fora do controlo do Engenheiro, a maioria das situações que levam a atrasos na construção e consequente transbordo nos orçamentos de obra podem ser evitadas.

A automatização de processos, a partilha de dados baseada em nuvem e a concentração de informação em sistemas como o BIM abrem o caminho para que a organização do ambiente de obra e o conhecimento coletivo façam parte do dia a dia da Engenharia Civil. Já o Machine Learning, parte integrante da Inteligência Artificial, introduz a melhoria contínua e a capacidade de decisão rápida e imparcial a uma indústria que se mostra desatualizada perante a tecnologia disponível.

O desafio de impregnar o Machine Learning nos processos tradicionais nos quais assentam os alicerces da Construção tem levado, ao longo dos últimos 10 anos, a uma extensa pesquisa e implementação de aplicações de algoritmos de diversos níveis de complexidade em projetos de construção espalhados pelo mundo de modo a conseguir diagnosticar causas e medidas preventivas que poderão fazer frente a estes obstáculos da Engenharia Civil. Os sistemas desenvolvidos estendem-se pelas diversas frentes de obra e apresentam muito potencial nas áreas da segurança, deteção de patologias, sustentabilidade e manutenção, treino de profissionais e na gestão de tarefas, custos e recursos.

O âmbito geral desta dissertação foca-se em concentrar os avanços logrados no campo do Machine Learning aplicado à área da construção e os casos de estudo nos quais estes foram materializados e implementados, analisando as ramificações dos diferentes sistemas e os recursos necessários à sua aplicação numa dada obra, assim como os benefícios e dificuldades práticos da sua utilização. Esta análise é dividida em três categorias principais: (1) segurança e prevenção de acidentes, (2) *building management systems* na sustentabilidade e manutenção de edifícios e (3) atualização de prazos e melhoria da produtividade da obra. Um guia de implementação com as diretivas e algumas fórmulas associadas a cada um dos quatro sistemas resultantes, tidos como de maior utilidade e custo-benefício, será compilado e de seguida aplicado à obra da Passagem Superior de Águas Santas. Por fim, uma análise crítica será conduzida, retirando-se as devidas conclusões da pesquisa levada a cabo.

Ao estudar a presente análise de sistemas de Machine Learning na Engenharia Civil e na Construção, aqueles que virão depois de mim ficarão com um entendimento maior acerca das inúmeras possibilidades que a utilização desta forma de IA proporciona, assim como das dificuldades que poderão esperar encontrar, das soluções disponíveis aquando da data deste documento e do seu impacte na melhoria da construção. Os quatro sistemas propostos e implementados no quarto capítulo poderão servir para pesquisa futura e devem ser continuamente melhorados e os seus algoritmos alimentados com os resultados mais recentemente obtidos.

Palavras-chave: Machine Learning, Segurança na Construção, Building Management Systems, Drones na Construção, Produtividade.

ABSTRACT

The Civil Engineering sector and the Construction industry have a long history of being overwhelmed by project mistakes, management errors, labor shortages, delays in resource deliveries, missing or incorrect data, conflicts or equipment failures. While some of these factors are beyond the Engineer´s control, most situations that lead to construction delays and subsequent budget overruns can be avoided.

The automation of processes, sharing of cloud-based data and communion of information on systems such as BIM lead the way for organization in the construction site and collective knowledge to become every day ocurrences in a Civil Engineers life. As for Machine Learning, an integral part or Artificial Intelligence, introduces ongoing improvement and the ability for swift and impartial decision making to an industry that presents itself as out of date given the technology available.

The challenge of pervading Machine Learning intro traditional methods in which Construction foundations are built has lead, over the past 10 years, to extensive research and deployment of the application of algorithms of different complexity levels on construction projects spread out throughout the world as to be able to successfully diagnose causes and preventive measures capable of standing up to these Civil Engineering obstacles. The developed systems extend through the various fronts and present themselves with a lot a lor of potential in the areas of safety, defect detection, sustainability and maintenance, training of workers and the management of tasks, costs and resources.

The general goal of this dissertation focuses on concentrating the achieved advances in the field of Machine Learning applied to the construction sector and the case studies in which these were materialized and implemented, analysing the ramifications associated with the systems and the resources necessary for its application on a given construction site, as well as the benefits and practical challenges of its use. This analysis is divided into three main categories: (1) safety and accident prevention, (2) building management systems in building maintenance and sustainability and (3) chronological updates and improvements in construction site productivity. An implementation guide with the guidelines and some formulas associated with each of the four resulting systems, considered to be the most useful and have the highest cost-benefit ratio, is comprised and then applied to the Águas Santas Overpass construction. Finally, a critical analysis is conducted, rendering the due conclusions withdrawn from the research.

By studying this present analysis on Machine Learning systems in Civil Engineering and Construction, those to come will get a better understanding of the countless possibilities put forth by this AI derived branch, as well as the difficulties they might expect to encounter, the solutions available at the time of this research and its impact on the improvement of construction. The four proposed and implemented systems put forth in the fourth chapter might be useful for future research and should be continuously improved and it´s algorithms constantly fed with up-to-date information.

Keywords: Machine Learning, Safety in Construction, Building Management Systems, Drones in Construction, Productivity.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....i

RESUMO.....iii

ABSTRACT.....v

1. INTRODUÇÃO.....1

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....1

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO.....1

1.3. METODOLOGIA.....2

1.4. ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO.....2

2. ESTADO DA ARTE.....3

2.1. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS EM REVISTAS.....3

2.1.1. MACHINE LEARNING APLICADO À PREVISÃO E PREVENÇÃO DE ACIDENTES.....3

2.1.2. MACHINE LEARNING APLICADO À CATEGORIZAÇÃO DE DEFEITOS EM EDIFÍCIOS POR TIPO DE TAREFA A REALIZAR.....3

2.1.3. UTILIZAÇÃO DE VISÃO COMPUTACIONAL NA ANÁLISE DE FALHAS DE SEGURANÇA.....5

2.1.4. ATUALIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE PRAZOS UTILIZANDO UM MODELO BIM 4D, DADOS "AS BUILT" E UMA NUVEM DE PARTILHA DE DADOS.....6

2.1.5. UTILIZAÇÃO DE LOCALIZADORES BLUETOOTH, O SISTEMA BIM E UMA NUVEM DE PARTILHA DE DADOS NA ANÁLISE E REDUÇÃO DE SITUAÇÕES DE RISCO NA CONSTRUÇÃO.....7

2.1.6. O MODELO BIM-IKBMS APLICADO À INSPEÇÃO AO CONSUMO ENERGÉTICO E CONFORTO PÓS-OBRA.....7

2.1.7. CONSTRUÇÃO AUTOMÁTICA DA BASE DE DADOS PARA VERIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DA QUALIDADE E SEGURANÇA EM OBRA.....8

2.1.8. AGENDAMENTO EM BIM 4D DA MONTAGEM E IÇAMENTO DE BETÃO PRÉ-MOLDADO EM OBRA.....9

2.1.9. BIM E O SISTEMA "B-REL" NA COOPERAÇÃO NA CONSTRUÇÃO.....10

2.1.10. MACHINE LEARNING APLICADO À PREVISÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO E LIBERTAÇÃO DE CO2 NA ENVOLVENTE DE EDIFÍCIOS.....11

2.1.11. ANÁLISE E CATEGORIZAÇÃO DE APLICAÇÕES DO MACHINE LEARNING EM *VIRTUAL POWER PLANTS* E BMS ENERGÉTICOS EM EDIFÍCIOS.....12

2.2. CASOS DE ESTUDO EM PUBLICAÇÕES NA INTERNET.....13

2.2.1. CONSTRUCTION IQ NA MITIGAÇÃO DE RISCOS NA CONSTRUÇÃO.....13

2.2.2. O SISTEMA SPOT-R COMO VEÍCULO DE COMUNICAÇÃO E SEGURANÇA EM OBRA.....14

2.2.3. O SOFTWARE DOXEL COMO FERRAMENTA DE INSPEÇÃO DE OBRA E ATUALIZAÇÃO DE PRAZOS E CUSTOS.....15

2.3. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS EM ATAS DE CONFERÊNCIA.....16

2.3.1. MACHINE LEARNING APLICADO À PREVISÃO DE PROBABILIDADE DO CUMPRIMENTO DOS PRAZOS ESTABELECIDOS NO CONTRATO DE EMPREITADA....16

2.3.2. MACHINE LEARNING NA AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE SEGURANÇA ATRAVÉS DE CRITÉRIOS DOMINANTES....16

2.3.3. MACHINE LEARNING APLICADO À ESTABILIDADE DE ANDAIMES EM TEMPO REAL....17

2.3.4. MODELO CBR NA PREVISÃO DE CUSTOS NA FASE PRELIMINAR DO PROJETO DE CONSTRUÇÃO....17

2.4. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS NO LIVRO "CONSTRUCTION 4.0", DE A. SAWHNEY, M. RILEY E J. IRIZARRY (2020)....18

2.4.1. FORMAÇÃO DE MOVIMENTOS E POSTURA DE TRABALHADORES ATRAVÉS DE UM SISTEMA CIBER-FÍSICO (CPS)....18

2.4.2. UTILIZAÇÃO DE UM CPS E SISTEMA BIM NA DETEÇÃO DE CONDIÇÕES ATMOSFÉRICAS E GASES NOCIVOS PRESENTES NUMA OBRA SUBTERRÂNEA....19

3. ANÁLISE DE ELEMENTOS RELEVANTES....21

3.1. EM CASOS DE SEGURANÇA E PREVENÇÃO DE ACIDENTES....21

3.1.1. ASSOCIAÇÃO DE PARÂMETROS DE SEGURANÇA E A SUA PREVISIBILIDADE....21

3.1.2. UTILIZAÇÃO DE SVM NA PREVISÃO DA ESTABILIDADE DE ANDAIMES....22

3.1.3. UTILIZAÇÃO DE DRONES, RFID E BIM PARA MELHORIA DA SEGURANÇA EM OBRA....24

3.2*. BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS* PARA GARANTIA DA SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS....28

3.3. ATUALIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE PRAZOS E MELHORIA DA PRODUTIVIDADE COM RECURSO A BIM 4D E MS PROJECT....30

4. PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO A UMA OBRA DE ENGENHARIA CIVIL....33

4.1. UTILIZAÇÃO DE DRONES MUNIDOS DE SENSORES LiDAR E CÂMARAS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA MONITORIZAÇÃO DA OBRA EM TEMPO REAL....33

4.1.1. PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO....33

4.1.2. APLICAÇÃO À OBRA DA PASSAGEM SUPERIOR DE ÁGUAS SANTAS....35

4.1.3. ANÁLISE CRÍTICA À UTILIZAÇÃO DE DRONES MUNIDOS DE SENSORES LIDAR E CÂMARAS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA MONITORIZAÇÃO DA OBRA EM TEMPO REAL....37

4.2. UTILIZAÇÃO DE MS PROJECT ASSOCIADO À PLATAFORMA BIM PARA CRIAR UMA ATUALIZAÇÃO DE PRAZOS AUTOMÁTICA NO BIM 360 5D....38

4.2.1. PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO....38

4.2.2. APLICAÇÃO À OBRA DA PASSAGEM SUPERIOR DE ÁGUAS SANTAS....40

4.2.3. ANÁLISE CRÍTICA À UTILIZAÇÃO DE MS PROJECT ASSOCIADO À PLATAFORMA BIM PARA CRIAR UMA ATUALIZAÇÃO DE PRAZOS AUTOMÁTICA.NO BIM 360 5D....41

4.3. UTILIZAÇÃO DE SENSORES ARDUINO NA ESTABILIZAÇÃO DE PLATAFORMAS DE ELEVAÇÃO....42

4.3.1. PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO....42

4.3.2. APLICAÇÃO À OBRA DA PASSAGEM SUPERIOR DE ÁGUAS SANTAS.....43

4.3.3. ANÁLISE CRÍTICA À UTILIZAÇÃO DE SENSORES ARDUINO NA ESTABILIZAÇÃO DE PLATAFORMAS DE ELEVAÇÃO.....44

4.4. UTILIZAÇÃO DE *BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS* DE MODO A GARANTIR A SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA.....46

4.4.1. PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO.....46

4.4.2. APLICAÇÃO À OBRA DA PASSAGEM SUPERIOR DE ÁGUAS SANTAS.....48

4.4.3. ANÁLISE CRÍTICA À UTILIZAÇÃO DE *BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS* DE MODO A GARANTIR A SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA.....49

6. CONCLUSÃO.....51

6.1. CONCLUSÕES FINAIS.....51

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....53

GLOSSÁRIO.....57

ANEXO A1.....61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 - Número de processos abertos a defeitos em apartamentos na Coreia do Sul.....4

Fig. 2 - Frequência e nº absoluto de defeitos por tarefa.....4

Fig. 3 - Equações correspondentes aos quatro indicadores resultantes de uma análise de Machine Learning.....5

Fig. 4 - Resultados dos modelos de classificação.....5

Fig. 5 - Trabalhadores detetados pelo VINNIE sem coletes de segurança.....6

Fig. 6 - Demonstração do sistema completo dissecado, no qual se baseia o estudo.....7

Fig. 7 - Os três processos que consistem na coleção (azul), identificação (laranja) e adaptação de imagens (verde) na construção de uma base de dados assente em *web crawling*.....8

Fig. 8 - Sequência ótima de colocação de elementos de alvenaria, calculado pelo BIAS.....9

Fig. 9 - Sequência ótima de colocação da grua e içamento de elementos de alvenaria, calculada pelo CALP.....10

Fig. 10 - Partes envolvidas num projeto de construção standard.....11

Fig. 11 - Ilustração de uma casa geminada em Taiwan (a) e vistas em planta de dois pisos (b).....11

Fig. 12 - Taxonomia das aplicações de Machine Learning em VPPs e BMSs.....12

Fig. 13 - Relação entre as diferentes aplicações e as DER associadas.....13

Fig. 14 - Interface do utilizador do sistema Construction IQ em dispositivos móveis.....14

Fig. 15 - Utilização do sistema como auxiliar de visualização por parte dos trabalhadores da BAM Irlanda.....14

Fig. 16 - Interface do utilizador do sistema responsável por mapear os trabalhadores da obra.....15

Fig. 17 - Progressão dos três modelos ML representados por curvas ROC.....16

Fig. 18 - Teste utilizando um andaime de 4 apoios.....17

Fig. 19 - Utilização do sistema com uma postura correta para uma tarefa de montagem de caixilharia..19

Fig. 20 - Utilização do sistema com uma postura incorreta para uma tarefa de montagem de caixilharia.....19

Fig. 21 - Componentes de um sensor WSL (expandido).....20

Fig. 22 - O *Arduino Sensor Kit Bundle*, composto por uma placa central, uma placa complementar de input/output e 10 módulos *Grove* com diversos sensores (luz, temperatura, movimento, resistência, entre outros).....22

Fig. 23 - À esquerda, um módulo de deformação de 5V DC. À direita, um sensor de deformação BF350-3AA.....23

Fig. 24 - Phantom 4 RTK, da DJI.....27

Fig. 25 - Matrice 300 RTK, da DJI.....27

Fig. 26 - Planeamento base de um BMS para o controlo de uma divisão. Contém controlo da ventilação para manter os níveis de CO2 abaixo das 1000 ppm (a laranja), um controlo de filtro para partículas superiores a 2.5 mm (a verde), um controlo de ocupação do espaço (a amarelo), um controlo da ventilação (a azul claro) e um controlo da humidade relativa entre os 40% e os 60% (a azul escuro).....28

Fig. 27 - Variedade de sensores Symaro, da Siemens.....28

Fig. 28 - Válvulas Acvatix, da Siemens.....29

Fig. 29 - Interface do utilizador do sistema Desigo, da Siemens.....29

Fig. 30 - Interface do utilizador do MS Project com um projeto de demonstração da Ten Six Consulting.....31

Fig. 31 - Interface do utilizador do SYNCHRO 4D Pro com um projeto de demonstração da Bimportale.....32

Fig. 32 – Atuação de sensores LiDAR montados num drone aplicados ao terreno para reconstituição do mesmo.....34

Fig. 33 – Sobreposição de uma ortofotografia de um obra de vias com o correspondente desenho de projeto.....34

Fig. 34 – Sobreposição de uma ortofotografia de um obra industrial de construção com o correspondente desenho de projeto.....35

Fig. 35 - Área dos trabalhos de construção da Passagem superior de Águas Santas.....36

Fig. 36 - Determinação local de dados “As-Built” (à esquerda) e dados “As-Planned” (à direita).....37

Fig. 37 - Sistematização do sistema utilizado para a atualização automática de prazos.....38

Fig. 38 – Cronologia das tarefas da obra da Passagem superior de Águas Santas.....39

Fig. 39 – Exemplo da apresentação dos dados resultantes das equações para aplicação do SVM.....41

Fig. 40 – Corte frontal da estrutura final, com todos os elementos devidamente posicionados.....48

Fig. 41 – Estimativa da capacidade necessária do sistema AVAC.....42

Fig. 42 – Desenho da caixa elevatória projetada para a Passagem superior de Águas Santas em duas vistas.....44

Fig. 43 – Dia solar durante o ano de 2022 em Águas Santas, segundo dados do WeatherSpark.....50

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros previstos e respetivo nº de casos.....3

SIGNIFICADOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

Word2Vec – Técnica de processamento de linguagem
GoPro – Empresa Americana de tecnologia conhecida pelas suas câmaras fotográficas revolucionárias
SmartTags – Dispositivos de localização com recurso a Bluetooth

AI – Artificial Intelligence
ML – Machine Learning
RF – Random Forest
SGTB – Stochastic Gradient Tree Boosting
SVM – Support Vector Machine
BoW – Bag-of-Words
HVAC – Heating, Ventilation and Air Conditioning
TF-IDF – Term Frequency-Inverse Document Frequency
VINNIE - Very Intelligent Neural Network for Insight and Evaluation
ENR – Engineering News Record
BIM – Building Information Modeling
RFID – Radio Frequency Identification
BLE – Bluetooth Low Energy
BMS – Building Management System
BIM-IKBMS – BIM Integrated Knowledge-based Building Management System
AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção
IK – Integrated Knowledge
MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing
LiDAR – Light Detection and Ranging
HD – High Definition
BIAS - BIM4D-based Intelligent Assembly Scheduler
CALP - Computer-Aided Lifting Planner
LCCO2 – Life-Cycle CO2 emissions
VPP – Virtual Power Plant
DER – Distributed Energy Resource
DT – Decision Tree
EIS – Executive Information System
NB – Naïve Bayes
KNN - K-Nearest Neighbors
CBR – Case Based Reasoning
CPS – Cyber-Physical System
VR – Virtual Reality

IMU – Inertial Measurement Unit

WSN – Wireless Sensor Network

IoT – Internet-of-Things

NLP – Natural Language Processing

RAM – Random Access Memory

UAV – Unmanned Aerial Vehicle

CPM – Critical Path Method

ANAC – Autoridade Nacional de Aviação Civil

GUI – Graphical User Interface

MQT – Mapa de Quantidades de Trabalhos

OVA – One-vs-All

CAD – Computer-Aided Design

BTU – British Thermal Unit

"B-rel" – Combinação das primeiras letras das palavras "*budownictwo*" e "*relacje*", que significam "construção" e "relações" respetivamente, em polaco.

1
INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO GERAL

Nos tempos que correm, a tecnologia e a automatização de processos têm entrado no quotidiano de diversos setores de desenvolvimento da sociedade atual. Desde a medicina, à agricultura, transportes e educação, o Machine Learning concretamente tem sido aceite como parte de uma evolução necessária associada à inteligência artificial e cresceu desde um mercado avaliado em 6.8 biliões de euros em 2018 para uma projeção de 96.7 biliões em 2025. Diversos negócios dentro destas indústrias procuram constantemente por formas inovadoras de se manter na vanguarda da tecnologia e exibir elevados níveis de produtividade, aumentando a competitividade.

Na indústria da Engenharia Civil, no entanto, a produtividade é um fator instável e até decrescente face à falta de investimento em nova tecnologia. A relutância dos profissionais do setor em abraçar a inovação se a mesma envolve uma íngreme curva de evolução é ainda uma preocupação, visto que, mesmo efetivando esse investimento, a introdução e transição da indústria para o universo digital da Inteligência Artificial, *Big Data*, Machine Learning e *Internet-of-Things* só poderá prosperar e elevar o setor ao seu potencial de produção caso as empresas e os profissionais de Engenharia Civil estiverem dispostos a aceitar o desafio que lhes é lançado pela evolução dos tempos.

A digitalização de processos, armazenamento e partilha de conhecimento e a utilização de soluções baseadas em algoritmos de Machine Learning que conseguem processar essa informação e devolver resultados fidedignos e informados ao utilizador são o passo correto a seguir. Com o auxílio destas ferramentas e um registo de melhoria constante, será possível às empresas de Engenharia Civil e da Construção produzir de forma mais barata, inteligente e rápida mesmo com mão-de-obra de baixo custo.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A motivação primária para o desenvolvimento desta dissertação advém de diversos fatores: a compilação de sistemas que envolvem Machine Learning implementados em empresas de Engenharia Civil e da Construção, a análise dos seus processos, ramificações e sucesso no benefício de diferentes frentes da obra como a segurança, manutenção de prazos e custos, produtividade e sustentabilidade, a análise das melhores soluções para as diversas frentes do ponto de vista deste Estudante assim como uma síntese de como melhor as empregar numa dada obra de Engenharia Civil. Pretende-se entender os processos desta subsecção da Engenharia Civil de modo a conseguir contribuir para o crescimento e difusão do ML na indústria.

Os objetivos inerentes ao trabalho em mãos estão estritamente ligados à área da Construção e envolvem apenas curtos conjuntos de fórmulas e métodos que arranham a superfície da Engenharia de *Data Science* e Programação. O âmbito da dissertação é, principalmente, entender aquilo que resultará ou não resultará no ambiente de obra de um ponto de vista prático, quais os entraves que poderão ser colocados à sua implementação em grande escala no setor, que problemas poderão ser encontrados na utilização destes sistemas no terreno, como contorná-los através de uma preparação adequada e atempada e quais os sistemas com o maior custo benefício associado.

1.3 METODOLOGIA

Uma extensa pesquisa literária foi conduzida de modo a identificar publicações referentes a casos de estudo onde foram empregues métodos de Machine Learning. Foram corridas duas plataformas de pesquisa principais de acesso livre: o Science Direct e o Google Scholar. Dentro destas plataformas, foram pesquisados diversos documentos datados entre 2012 e 2022 através de *keywords* tais como "machine learning", "digitisation in construction", "automation", "cloud data", "safety in construction", "deep learning" e "computational analysis". As datas escolhidas advêm da revolução do Machine Learning através de conferências significativas datadas de 2012 e da sua pesquisa e aplicação em massa que começou a ganhar significância no setor da Engenharia Civil remontando a 2014.

Foram ainda investigados múltiplos artigos de acesso livre disponíveis nas revista Automation in Construction e ASCE, assim como diversas atas de conferência disponíveis na biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e alguns artigos e livros disponibilizados pelo Prof. Alfredo Soeiro, dos quais destaco o livro "Construction 4.0" de Anil Sawhney, Mike Riley e Javier Irizarry.

1.4 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em seis capítulos. O primeiro capítulo sumariza o contexto do tópico principal e os objetivos da dissertação. O segundo demonstra toda a investigação conduzida na procura de casos de estudo pertinentes ao tópico, retendo a informação mais importante afeta a cada um. O Capítulo 3 engloba uma análise detalhada dos casos ou conjuntos de casos com maior pertinência, discriminando as vantagens, desvantagens, desafios económicos e formativos de cada, assim como uma pesquisa de mercado relativa aos produtos necessários, as opções disponíveis e os custos associados. No quarto capítulo é feita a implementação de quatro sistemas tidos como os mais eficazes e influentes na melhoria de processos e produtividade na obra da Passagem Superior de Águas Santas, e o Capítulo 5 contém uma análise crítica de cada um desses sistemas para a obra em questão. Por último, no sexto capítulo, conclusões e desenvolvimentos futuros nesta área de estudo são discutidos.

A razão para o alinhamento escolhido é que o leitor tenha primeiramente acesso a uma análise geral da área de estudo, disponibilizando-lhe os desenvolvimentos existentes e o seu sucesso nas diferentes vertentes da Construção. De seguida, demonstrar e discriminar as caraterísticas afetas a cada solução, para que entenda as escolhas que foram tomadas com acesso a todos os recursos disponíveis e, por fim, que, com esta informação, seja guiado pelas quatro implementações que sugiro para a melhoria do setor com recurso a ferramentas de Machine Learning.

2
ESTADO DA ARTE

2.1. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS EM REVISTAS

2.1.1. Machine Learning aplicado à previsão e prevenção de acidentes

A publicação em causa propõe-se a aplicar duas ferramentas de Machine Learning, *Random Forest* (RF) e *Stochastic Gradient Tree Boosting* (SGTB), a uma larga amostra de relatórios de incidentes em ambiente de obra. O método proposto por Tixier et al. (2021) [1] é aplicado de modo a prever com elevado grau de precisão os seguintes quatro parâmetros: tipo de lesão, nível de gravidade, fonte de energia e parte do corpo lesada.

Tabela I - Parâmetros previstos e respetivo nº de casos [1]

Energy source	***n***	**Injury type**	***n***	**Body part**	***n***	**Severity**	***n***
Biological	108	Caught in or compressed	334	Head	899	Pain/First aid	1,521
Chemical	197	Exposure to harmful substance	496	Neck	61	Medical case	206
Gravity	1,030	Fall on same level	570	Trunk	354	Lost work time	101
Mechanical	74	Overexertion	594	Upper extremities	1532	TOTAL	1,828
Motion	2,780	Struck by or against	2,401	Lower extremities	710		
Pressure	47	TOTAL	4,395	TOTAL	3556		
Thermal	151						
TOTAL	4,387						

O estudo conduzido apresenta uma elevada percentagem de precisão em três dos quatro parâmetros. Uma das conclusões a que o caso de estudo chega é que a variável "nível de gravidade" é maioritariamente aleatória, ou que serão necessárias informações suplementares para a antever.

No cômputo geral da experiência empírica, esta revela-se revolucionária pois demonstra claramente que os acidentes em obra não ocorrem de forma aleatória, mas sim segundo padrões e correntes subjacentes. Não só no que toca à capacidade de previsão, como à variedade de resultados obtidos e *feedback* proposto capaz de apontar esforços no sentido de mitigar e corrigir ações causadoras de instabilidade, as ferramentas de ML aplicadas são eficazes.

2.1.2. Machine Learning aplicado à categorização de defeitos em edifícios por tipo de tarefa a realizar

O artigo em questão tem como objetivo melhorar a gestão de defeitos em edifícios construídos na Coreia do Sul, como proposto por Kim et al. (2016) [2]. Neste país, as empresas de construção têm alocado uma porção significativa dos fundos e recursos disponíveis a esta mesma função no sentido de mitigar a subida considerável de casos nos últimos anos [Fig. 1].

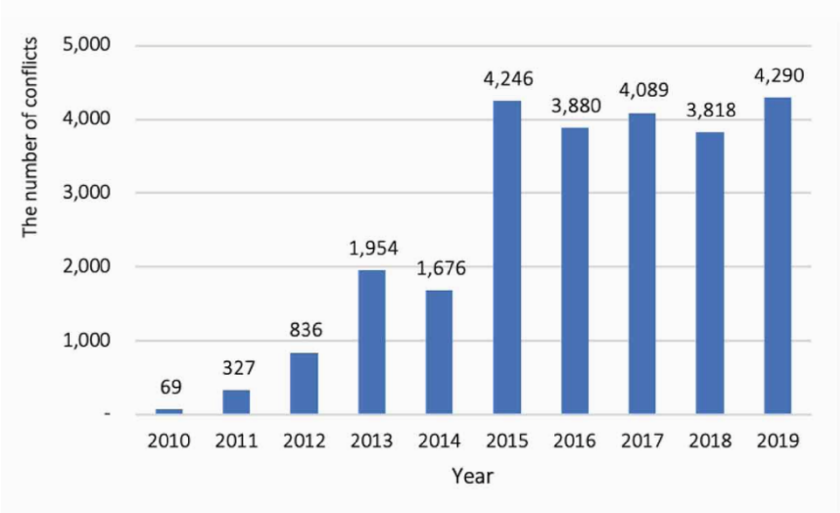


Fig. 1 - Número de processos abertos a defeitos em apartamentos na Coreia do Sul [2]

Através das ferramentas de Machine Learning utilizadas *Support Vector Machine* (SVM), *Random Forest* (RF) e Regressão linguística, são feitas múltiplas análises à possibilidade de automatizar a categorização de mais de 650 mil defeitos (656,266 casos) em tarefas a realizar [Fig. 2]. As mesmas foram emparelhadas com três métodos de processamento de linguagem, a saber *bag-of-words* (BoW), *term frequency-inverse document frequency* (TF-IDF) e Word2Vec, de modo a aumentar a produtividade e reduzir os custos no setor neste país.

O processamento de linguagem, associado a processos de Machine Learning, é uma técnica onde palavras singulares são representadas como vetores, sendo atribuído um valor a cada vetor que o categoriza num espaço vetorial. Esta tem sido uma técnica importante nos avanços mais recentes associados ao Deep Learning.

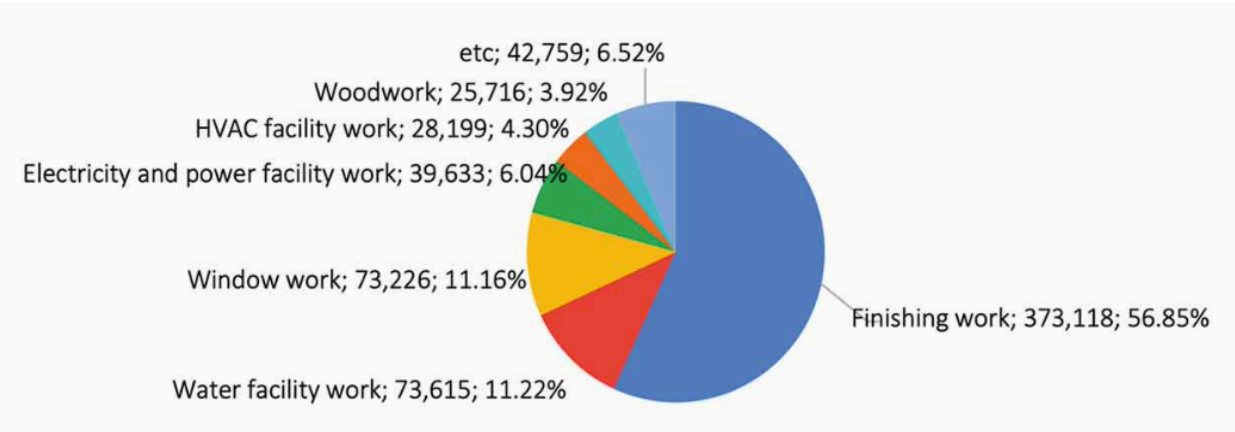


Fig. 2 - Frequência e nº absoluto de defeitos por tarefa [2]

De modo a melhor entender os resultados obtidos, é necessária uma explicação acerca do significado desses mesmos resultados. Estes vêm sob a forma de quatro indicadores: *Accuracy*, *Precision*, *Recall* e *F1-Score* [Fig. 3]. Estes funcionam como médias ponderadas de resultados positivos verdadeiros (TP), positivos falsos (FP), negativos verdadeiros (TN) e negativos falsos (FN).

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+FN+TN+FP}$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$F1 - score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall}$$

Fig. 3 - Equações correspondentes aos quatro indicadores resultantes de uma análise de Machine Learning

Do caso específico em estudo, o nível de previsão resultante foi extremamente elevado, tornando este um método muito bem sucedido na categorização de defeitos em obras na Coreia do Sul. Todos os indicadores tiveram o melhor desempenho para o indicador *Random Forest* com a técnica de processamento de linguagem *Word2Vec* [Fig. 4].

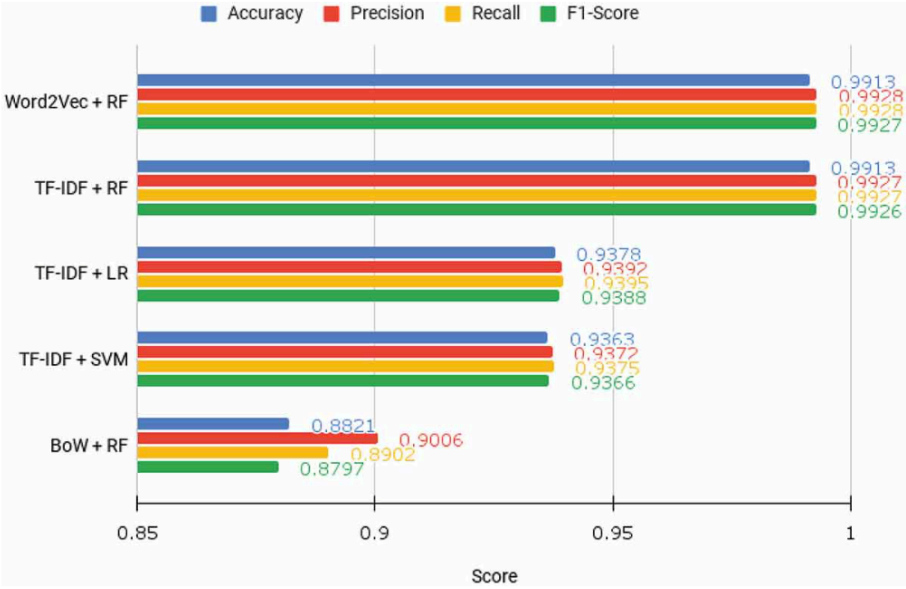


Fig. 4 - Resultados dos modelos de classificação [2]

2.1.3. Utilização de visão computacional na análise de falhas de segurança

O que a equipa de engenheiros da Smartvid.io se propôs a alcançar com este caso de estudo foi a deteção, através da ferramenta de Machine Learning *Very Intelligent Neural Network for Insight and Evaluation* (VINNIE) criada pelos mesmos, de lapsos de segurança em obra. O valor da ferramenta em questão é a sua capacidade de reconhecimento de imagens e vídeos de diversas fases de construções, tiradas por trabalhadores usando qualquer tipo de dispositivo comercial como câmaras digitais, telefones ou *GoPros*.

À medida que estes ficheiros são submetidos ao sistema, são automaticamente catalogados através de *SmartTags* tendo em conta o seu conteúdo visual e auditivo. Deste modo, são detetadas situações como o número de trabalhadores no local, o seu uso ou não de coletes de segurança e de capacetes.

Para o efeito de condução do estudo [3], a empresa aliou-se à Engineering News Record (ENR), publicação líder no setor da construção, para o seu concurso anual de fotografia "Year in Construction Photo Contest". Todas as 1.080 fotografias submetidas foram avaliadas, além do seu mérito artístico, pela existência ou não de situações de risco tanto por uma equipa de fiscalização da segurança como pelo VINNIE, de acordo com dois critérios: utilização ou não de coletes de segurança e utilização ou não de capacetes [Fig. 5].



Fig. 5 - Trabalhadores detetados pelo VINNIE sem coletes de segurança [3]

Os resultados abonaram claramente a favor da ferramenta de Machine Learning, que analisou as imagens em menos de 10 minutos face às 4 horas e 30 minutos da equipa de fiscalização. A ferramenta detetou ainda um maior número de pessoas (446, face às 414 detetadas pelos especialistas) e mais falhas em ambos os critérios – 32 trabalhadores sem capacetes e 106 trabalhadores sem coletes de segurança.

No final do estudo, a equipa da ENR concordou que o VINNIE torna este género de análise mais rápida, precisa e fiável. Ainda para mais, estas falhas são assinaladas pelo sistema, dando à equipa de especialistas mais tempo para analisar cada falha assinalada de modo mais rigoroso.

2.1.4. Atualização automática de prazos utilizando um modelo BIM 4D, dados "As-Built" e uma nuvem de partilha de dados

O sistema proposto neste artigo científico por Son et al. (2017) [4] utiliza um modelo de *Building Information Modeling* (BIM) 4D, onde todo o projeto inicial é introduzido e planeado de acordo com as datas e tarefas inicialmente propostas - dados "As-Planned" - assim como diversas tecnologias de coleção de informação como sensores RFID, câmaras digitais em drones e scanners a laser, de modo a recolher e analisar a informação relativa aos avanços feitos na obra em tempo real – dados "As-Built". É ainda utilizada uma nuvem para partilha de dados entre os sistemas.

Com os processos descritos, seria já possível calcular a diferença entre o progresso planeado e o planeamento real, e até alterar os prazos de cada tarefa de acordo. No entanto, ao passo que estes dados seriam normalmente comparados manualmente, o que o sistema proposto faz é introduzi-los automaticamente num *software* de gestão de projetos, neste caso o Microsoft Project, e utilizar Machine Learning para retornar uma agenda atualizada e comparativa.

Esta agenda traduzirá o avanço programado *versus* o avanço real, o progresso em cada atividade com datas inicial e final atualizadas. Traduzirá ainda o novo caminho crítico, assim como quaisquer informações críticas que sejam pertinentes para a presente fase da obra.

2.1.5. Utilização de localizadores Bluetooth, o sistema BIM e uma nuvem de partilha de dados na análise e redução de situações de risco na Construção

No presente caso de estudo, de Park et al. (2016) [5], os profissionais numa obra são munidos de um localizador Bluetooth de baixa energia (BLE) e baixo custo que indica a sua posição em todos os momentos. A estes aparelhos é aliada, em sistema BIM 4D, uma ferramenta onde estão assinaladas as zonas potencialmente perigosas ou instáveis fruto do trabalho tanto dos fiscais de segurança, como dos próprios trabalhadores a quem é dado acesso ao sistema através do telemóvel [Fig. 6].

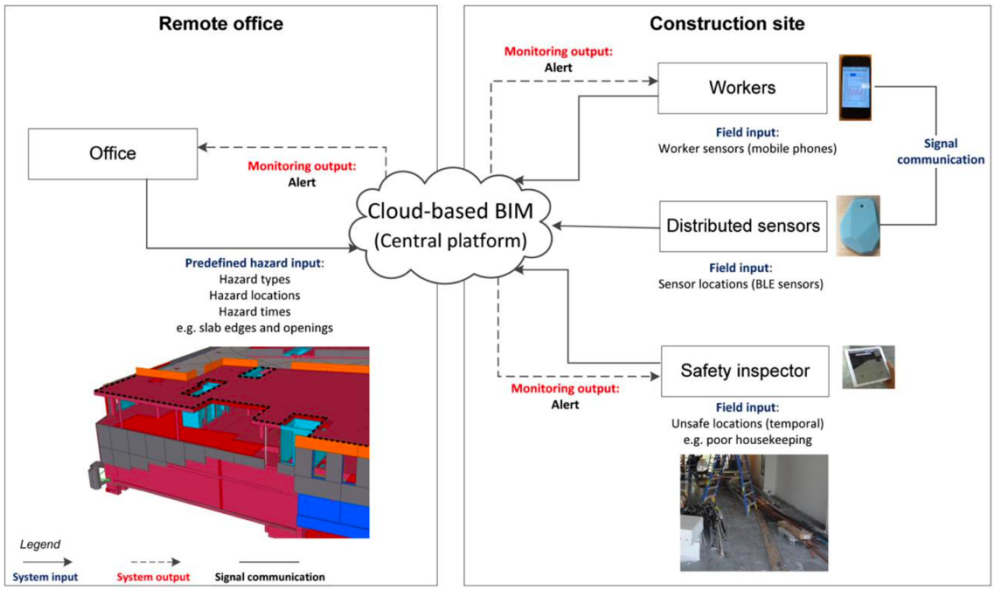


Fig. 6 - Demonstração do sistema completo dissecado, no qual se baseia o estudo [5]

Através da nuvem, é possível aos trabalhadores saber em tempo real se se encontram numa zona de perigo iminente, sendo que o pequeno e económico dispositivo BLE emite um alerta. Consequentemente, pela análise pró-ativa dos dados recolhidos do local pelas partes envolvidas, podem ser dados passos no sentido de garantir maior segurança na obra poupando na repetida fiscalização.

2.1.6. O modelo BIM-IKBMS aplicado à inspeção ao consumo energético e conforto pós-obra

Indo de encontro às crescentes expectativas e apertados limites no que à sustentabilidade diz respeito, o objetivo de GhaffarianHoseini et al. (2017) [6] com este caso de estudo foi desenvolver um *Building Management System* (BMS) para manutenção de um edifício que equilibre a maximização da eficiência energética do mesmo com o nível de conforto desejado dos utilizadores. A necessidade deste modelo advém do facto de que a fiscalização convencional de edifícios no período posterior à conclusão da construção dos mesmos não é totalmente satisfatória.

De modo a conseguir atingir um nível satisfatório de eficiência do projeto de construção como um todo, e visto que o ciclo de um projeto da chamada AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) inclui múltiplas fases – design, construção, contratualização e manutenção – é tido como fulcral o auxílio a este BMS de um modelo BIM. Este garante a interoperabilidade dos diferentes agentes envolvidos, principalmente durante a fase de design-construção do edifício.

É ainda introduzido um módulo de integração de conhecimento (IK), uma ferramenta de Machine Learning integrada com o BMS capaz de aprender com os dados históricos relativos aos

sistemas MEP (Mecânicos, Elétricos e Hidráulicos). Além disso, aplica-os no sentido de promover a manutenção do edifício e registar essa mesma informação no sistema BIM utilizado.

2.1.7. Construção automática da base de dados para verificação automática da qualidade e segurança em obra

Como tem vindo a ser analisado ao longo da dissertação, um dos métodos que têm surgido com mais preponderância no âmbito da avaliação da qualidade e segurança na construção tem sido a monitorização visual, com recurso a LiDAR ou câmaras HD montadas em drones, rovers etc.. Esta, seguida de uma comparação das imagens recolhidas com uma base de dados alimentada ao sistema de Deep Learning, irá determinar a qualidade do trabalho feito e a segurança da estrutura.

Ora é sobre a construção desta base de dados que o método do presente caso de estudo, de Hwang et al. (2022) [7], assenta. O sistema consiste em três processos consecutivos: coleção de imagens pertinentes com recurso a *web crawling* – ferramenta que percorre links à procura de informação relevante; utilizado pelos principais motores de busca -, categorização de cada imagem através de um modelo de segmentação de imagens pré-treinado e adaptação do elemento relevante a vários cenários (*backgrounds*) [Fig. 7].

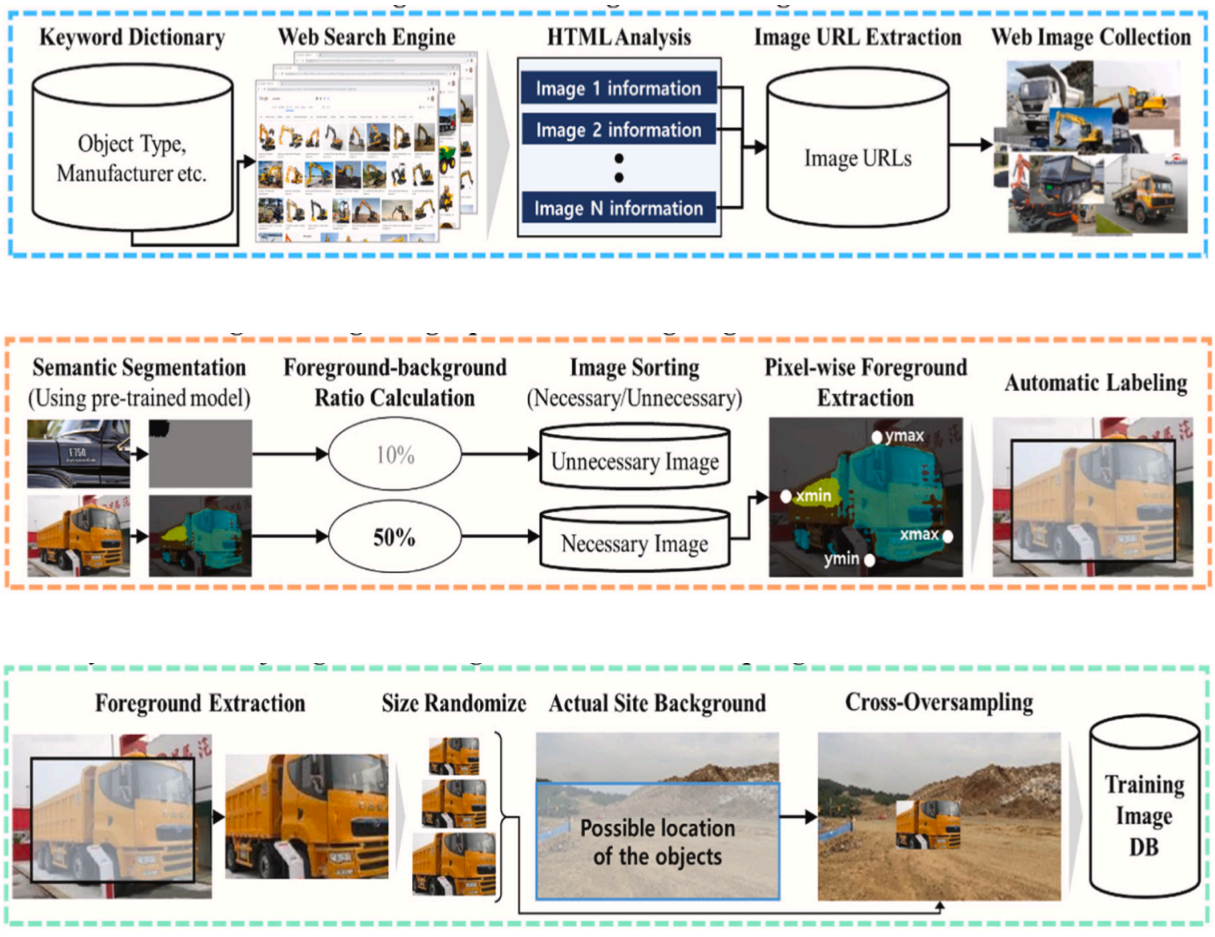


Fig. 7 - Os três processos que consistem na coleção (azul), identificação (laranja) e adaptação de imagens (verde) na construção de uma base de dados assente em web crawling [7]

Através do método desenvolvido, aplicado à identificação dos equipamentos de transporte de cargas, foi possível construir uma base de dados rica, composta por 5864 imagens, em 53.5 minutos. Já a ferramenta mais eficaz de Machine Learning alimentada por esta base de dados apresentou uma precisão média a rondar os 90%.

2.1.8. Agendamento em BIM 4D da montagem e içamento de betão pré-moldado em obra

Uma metodologia que tem visto crescimento nos últimos anos é a pré-moldagem de elementos em betão, produzidos em fábrica e transportados para a obra. Após estes chegarem ao estaleiro de obra, terão de ser transportados para a zona correta e içados até ao seu destino final. Ora este planeamento temporal é uma tarefa normalmente demorada e complexa pois engloba também a montagem ou construção dos diversos elementos circundantes ao espaço de instalação do betão pré-moldado.

Tendo em conta a logística envolvida, foi desenvolvido um estudo por Huang et al. (2022) [8] focado no agendamento das atividades de transporte ao local e içamento com auxílio do BIM 4D. Tal é logrado através da criação de um modelo denominado *BIM4D-based Intelligent Assembly Scheduler* (BIAS) e da utilização do programa *Computer-Aided Lifting Planner*. (CALP) desenvolvido pela Universidade Tecnológica de Nanyang, em Singapura.

O BIAS, alimentado pelo conjunto de elementos pré-moldados e os respetivos *timeframes* – período de tempo em que o elemento deve ser instalado – cria um calendário ótimizado. Esta cronologia é separada em três aspetos: a importância relativa das propriedades de cada elemento, a vizinhança circundante e a sua interferência na montagem do elemento na altura de o içar. Assim que o BIAS determina a sequência através da qual os elementos vão ser colocados, utiliza-se o CALP para planear o trajeto ótimo do equipamento de elevação (grua, empilhadora, elevador móvel, ...) de modo a maximizar a eficiência do processo [Fig. 8][Fig. 9].

Através desta metodologia, é possível evitar a repetição de trabalhos pela colocação e remoção de elementos. Consequentemente, permite poupar em custos de horas de trabalho e aumentar a produtividade geral da obra, tendo plena confiança de que a ordem de trabalhos é a mais eficiente.

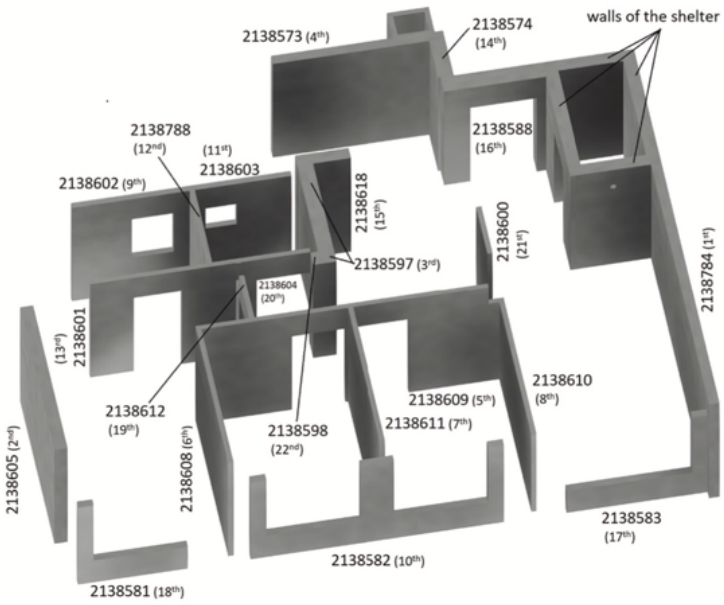


Fig. 8 - Sequência ótima de colocação de elementos de alvenaria, calculado pelo BIAS [8]

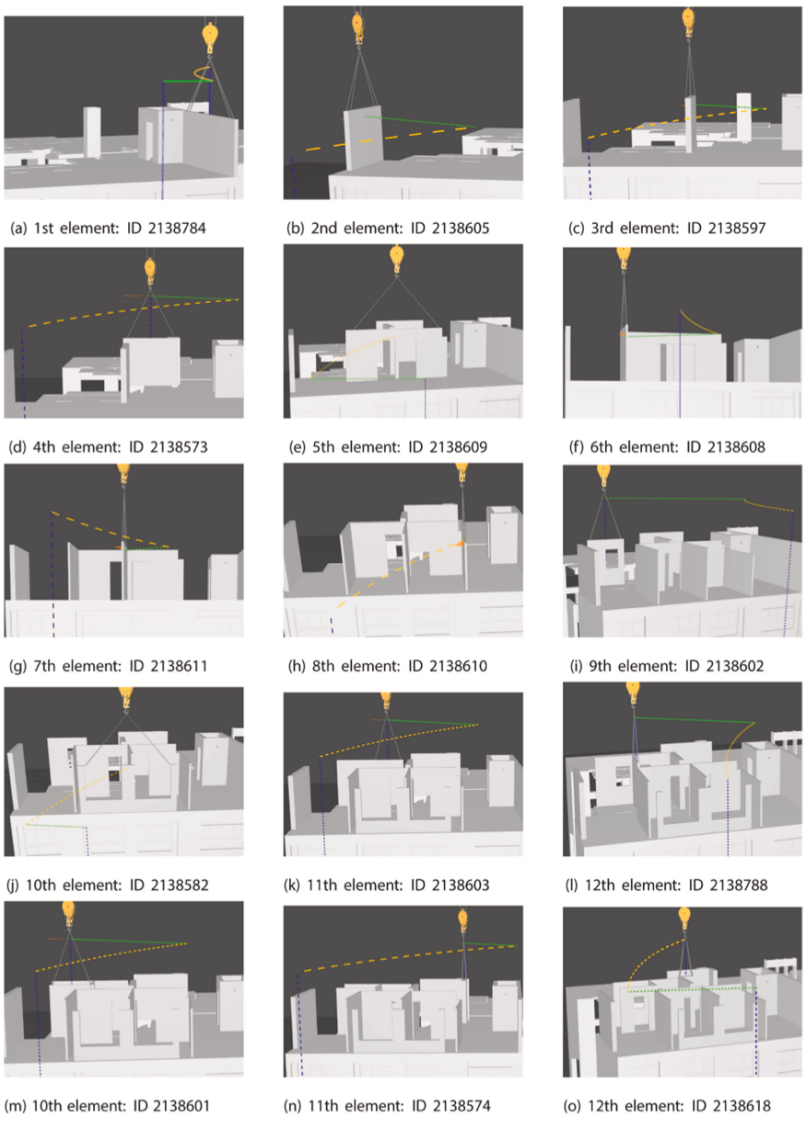


Fig. 9 - Sequência ótima de colocação da grua e içamento de elementos de alvenaria, calculada pelo CALP [8]

2.1.9. BIM e o sistema "B-rel" na cooperação na construção

É tido como um facto que a evolução na construção passa pela utilização de *Building Information Modeling*. Esta tecnologia, no entanto, só funciona corretamente quando os diferentes utilizadores interagem corretamente com o sistema, abrindo espaço à partilha de dados entre todas as partes envolvidas [Fig. 10].

Tendo em conta as dificuldades associadas a este fim, e sabendo que a melhoria nas múltiplas relações interpessoais e interprofissionais envolvidas numa obra de construção beneficiam a poupança de tempo e custos, assim como a segurança e qualidade da mesma, foi desenvolvida por Szewczyk, Radziszewska-Zielina (2020) [9] a ferramenta "B-rel". Trata-se de um sistema com um módulo de aprendizagem que produz recomendações e ações a tomar com base nos objetivos traçados, e um módulo explicatório no qual guia o utilizador pelos passos pensados pela máquina para chegar a determinada conclusão.

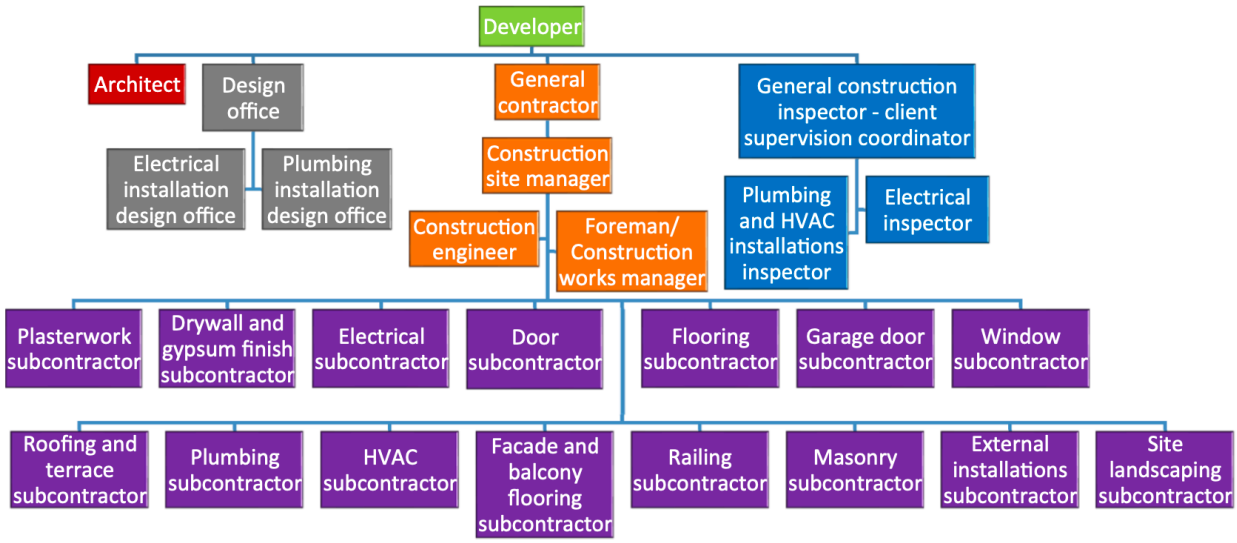


Fig. 10 - Partes envolvidas num projeto de construção standard [9]

2.1.10. Machine Learning aplicado à previsão do consumo energético e libertação de CO2 na envolvente de edifícios

Trata-se, neste caso de estudo por Tsay et al. (2021) [10] conduzido no Taiwan, a renovação da envolvente de um edifício de habitação, com o objetivo de prever as emissões de CO2 associadas ao ciclo de vida do edifício (*Life-cycle CO2 emissions*, LCCO2).

Para o efeito, foi desenvolvido um modelo de Machine Learning com dados relativos ao LCCO2 e ao consumo energético anual de 744 edificações geminadas [Fig. 11]– tipologia correspondente a 49.02% do total de edifícios residenciais no país - com diferentes condições, desde orientação a clima a tipos de isolamento.

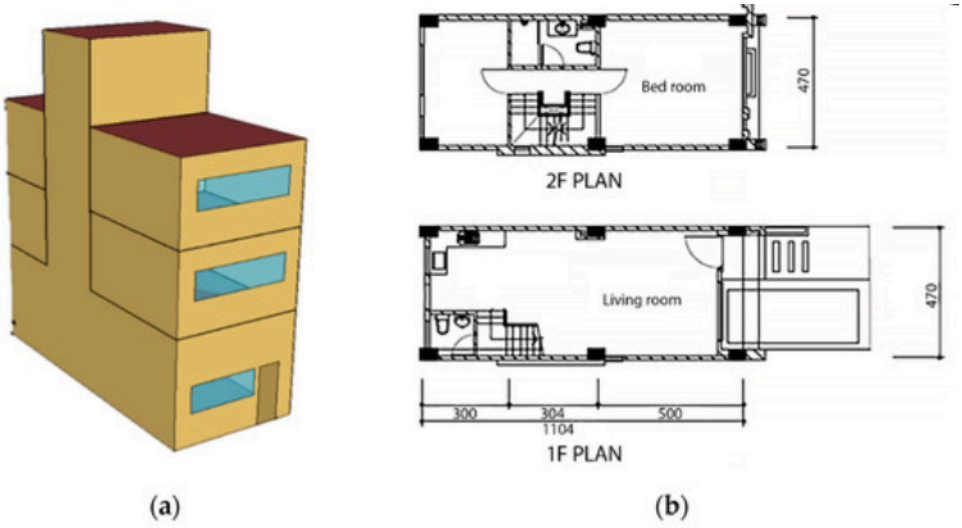


Fig. 11 - Ilustração de uma casa geminada em Taiwan (a) e vistas em planta de dois pisos (b) [10]

O cálculo das emissões de CO2 inerentes ao ciclo de vida do edifício teve em conta as fases de transporte, produção do material e desperdício, consumos energéticos do equipamento de construção e do equipamento de refrigeração / ar condicionado, assim como a eliminação de resíduos. Para os diferentes efeitos foram utilizados os programas EnergyPlus – cálculo dos consumos energéticos parciais - e SimaPro – cálculo da pegada associada à deposição de resíduos -, assim como uma base de dados local denominada *Building Carbon Footprint database*. O EnergyPlus foi ainda utilizado para o cálculo do consumo energético anual com base em dados utilizados no cálculo da libertação de CO2.

A ferramenta GBDT (Gradient Boosting Decision Tree) de Machine Learning utilizada demonstrou um nível de fiabilidade extremamente elevado. Os seus resultados apresentam valores de 98.9% de precisão para o LCCO2 e de 99.2% para a previsão do consumo energético anual de edifícios deste tipo.

2.1.11. Análise e categorização de aplicações do Machine Learning em *Virtual Power Plants* e BMS energéticos em edifícios

Relativamente às necessidades relacionadas com a gestão e otimização do desempenho ótimo ao utilizador que, simultaneamente, mantém o desempenho energético mais eficiente, os campos das *Virtual Power Plants* (VPP) e dos *Building Management Systems*, que largamente se sobrepõem, têm vindo a evoluir ao ser visados pelo desenvolvimento do ML. Quando falamos das *Virtual Power Plants*, trata-se de uma rede que tem como principais funções agregar os recursos energéticos existentes, melhorar o aproveitamento energético e gerir os contratos financeiros de energia existentes.

As VPP possibilitam a utilização, gestão e otimização de fontes de energia renováveis em prédios (painéis fotovoltaicos, aerogeradores, etc.). Além do mais, juntam e controlam simultaneamente os depósitos de reserva das mesmas, criando uma rede separada da habitual rede centralizada que une vizinhanças, cidades ou por vezes mesmo regiões. O que o caso de estudo de Sierla et al. (2022) [11] se propõe é a rever as múltiplas aplicações do Machine Learning nestes dois campos, listando-as e categorizando-as numa estratificação a três níveis [Fig. 12], sendo que o primeiro e principal nível divide as utilizações em Classificação, Previsão e Otimização.

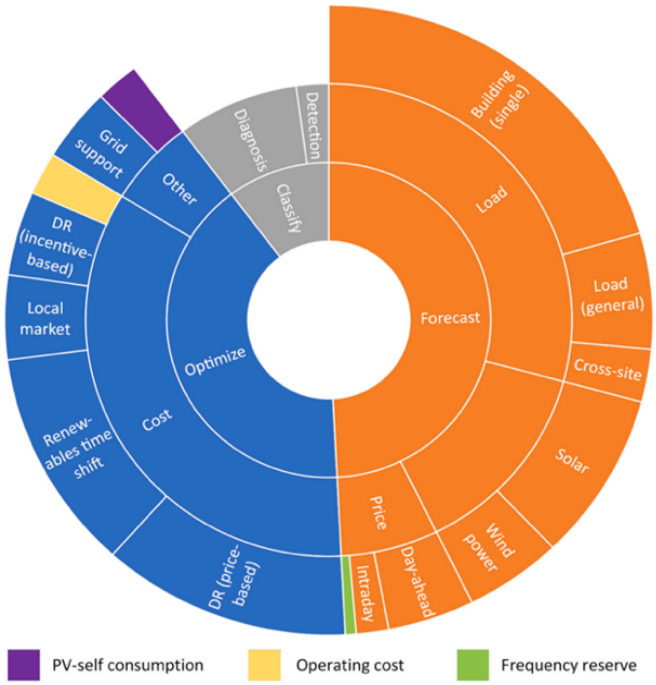


Fig. 12 - Taxonomia das aplicações de Machine Learning em VPPs e BMSs [11]

É, ainda, feita uma associação entre cada aplicação de 3º nível e os tipos de recursos de energia distribuídos (DER) existentes. Estes mesmos dividem-se em recursos fósseis, recursos renováveis, recursos de carga e recursos de armazenamento, assim como em múltiplas subdivisões [Fig. 13].

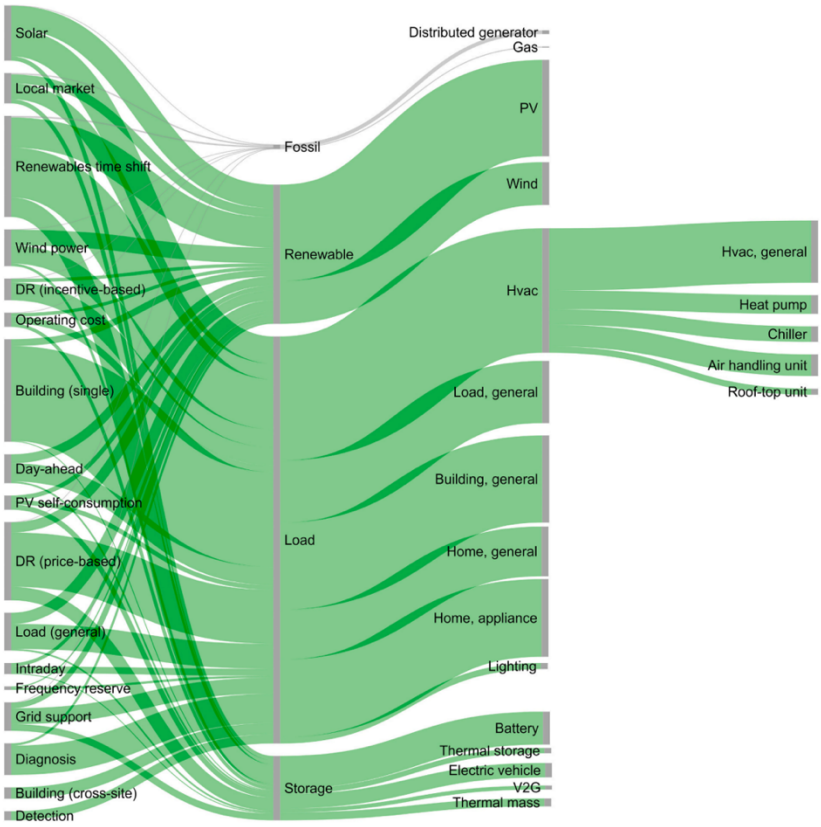


Fig. 13 - Relação entre as diferentes aplicações e as DER associadas [11]

Este caso de estudo revela-se relevante na análise da vanguarda tecnológica no que a estes dois campos diz respeito. Numa indústria que, como tem sido analisado, está numa fase de crescimento vertiginoso com as aplicações de Machine Learning emergentes, os domínios das *Virtual Power Plants* e dos *Building Management Systems* poderão desempenhar um papel decisivo na gestão de energia e na eficiência de edifícios. Pelas razões apontadas, esta é assim uma área interessante a explorar.

2.2. CASOS DE ESTUDO EM PUBLICAÇÕES NA INTERNET

2.2.1. *Construction IQ* na mitigação de riscos na Construção

Este conjunto de ferramentas embutido no BIM 360 da Autodesk analisa bases de dados resultantes do grosso submetido no BIM, identificando *bullet points* presentes em relatórios de encomenda, listas de tarefas, observações, metadados relacionados assim como informação de projetos anteriores de modo a detetar e priorizar situações de risco em tempo real [Fig. 14]. Mais de 150 milhões de patologias extraídas de 30 mil projetos foram alimentadas à ferramenta de Machine Learning.

A informação é apresentada sob a forma de alertas diários de fatores de risco e potenciais défices de qualidade nas diferentes frentes da obra. É ainda expressa através das vistas tridimensionais e modelo de projeto já utilizados no sistema BIM que integra a ferramenta.

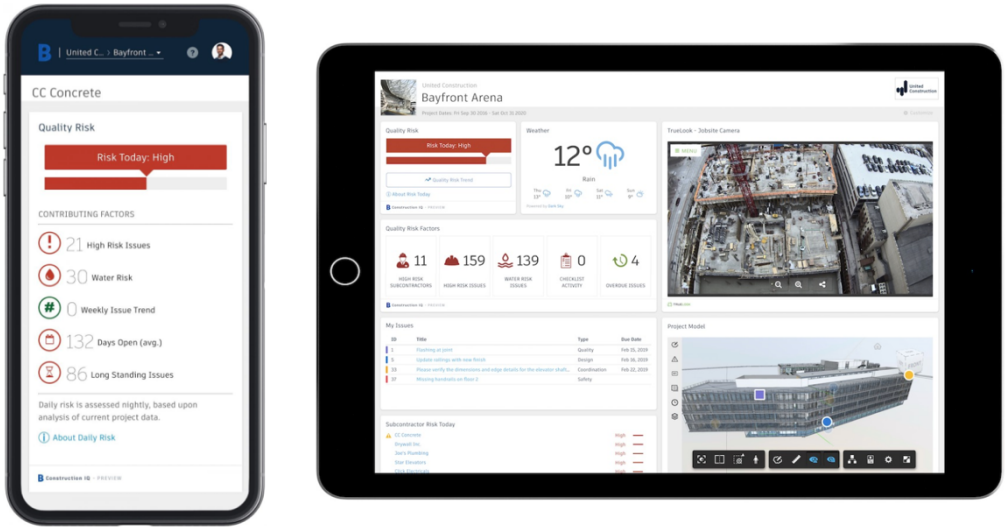


Fig. 14 - Interface do utilizador do sistema Construction IQ em dispositivos móveis [12]

Através de um caso de estudo conduzido em parceria com a BAM Irlanda, parte integrante da reconhecida multinacional Royal BAM Group, o Construction IQ foi utilizado de forma transversal em múltiplos projetos da construtora [12] [Fig. 15]. Os resultados são claros: face à gestão tradicional de obras, a utilização da ferramenta integrada num sistema BIM convergiu numa redução de 20% em situações de perigo e/ou falta de qualidade. Assim, foi possível aos trabalhadores da dita empresa dedicar 25% mais tempo na função de análise e mitigação de situações de riscos.



Fig. 15 - Utilização do sistema como auxiliar de visualização por parte dos trabalhadores da BAM Irlanda [12]

2.2.2. O sistema Spot-R como veículo de comunicação e segurança em obra

Desenvolvido com o intuito de rastrear os movimentos dos trabalhadores e melhorar as práticas de trabalho, a segurança e a produtividade geral de uma obra, o inovador sistema da Triax [Fig. 16] consiste em pequenos monitorizadores, acopláveis ao cinto dos operários, e que estão interligados através de uma rede segura wireless. Através destes dispositivos, é possível acompanhar a posição de cada membro da obra em tempo real, avisá-los automaticamente em situações de perigo iminente, registar quedas e enviar a ajuda necessária de forma imediata, assim como evacuar a obra de forma rápida e eficiente se assim for necessário, poupando por vezes minutos preciosos.

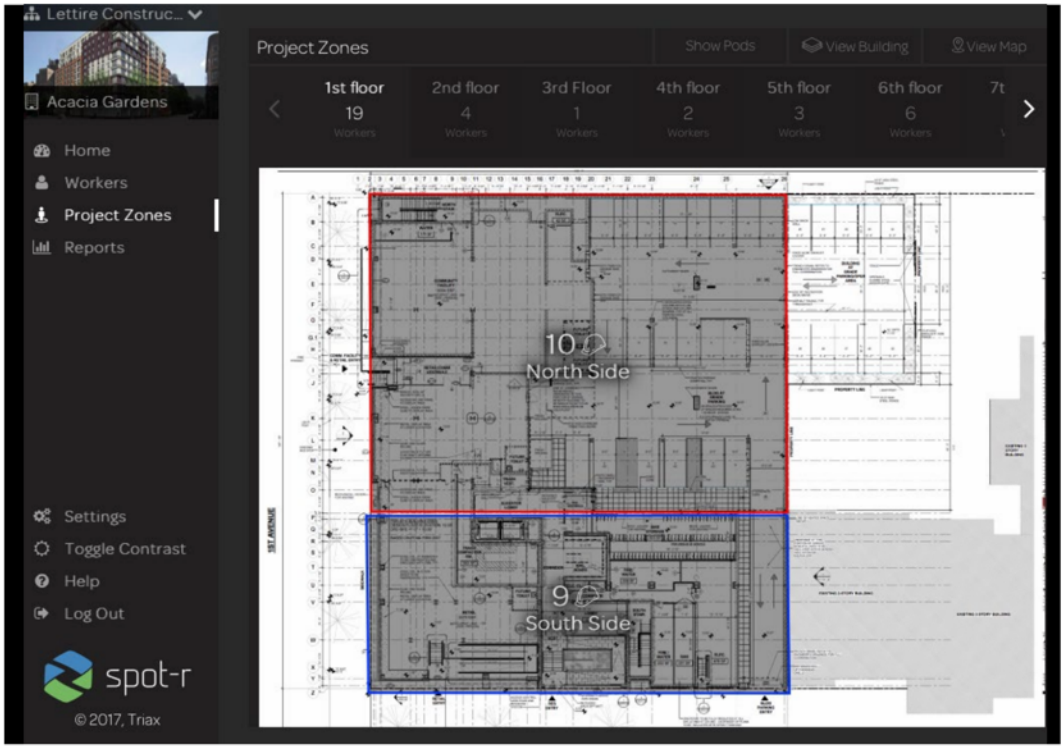


Fig. 16 - Interface do utilizador do sistema responsável por mapear os trabalhadores da obra [13]

Dedicada a estar na vanguarda da inovação, a empresa norte-americana Lettire Construction Corp. foi a primeira no estado de Nova Iorque a adotar este modelo [13]. Além de ter conseguido corrigir diversos comportamentos de risco, a empresa reportou uma redução do tempo de evacuação de 9 minutos para 2,5 minutos em média. Foi ainda poupada a intervenção de três supervisores de segurança no processo de evacuação.

2.2.3. O software Doxel como ferramenta de inspeção de obra e atualização de prazos e custos

Esta tecnologia vem tentar colmatar uma das maiores dificuldades do setor: os atrasos na construção. Um dos dados que o CEO da empresa responsável pelo software aponta é que, em 2018, 98% das grandes obras foram entregues com um atraso médio de 20 meses e, consequentemente, tiveram um custo final 80% superior ao orçamentado inicialmente.

O sistema Doxel utiliza aparelhos autónomos munidos de LiDAR (scanner 3D a laser) e câmaras HD para analisar toda a área da obra [14] – drones no exterior e *rovers* no interior - fazendo-se informar de dados de uma base de Deep Learning de obras anteriores. Deste modo, consegue fornecer informação acerca da correta ou incorreta colocação de material assim como devolver ao utilizador não só uma atualização da nova data de fecho face à produtividade real como também do custo renovado final da obra.

A inovação que o Doxel traz à arte é a sua capacidade de fornecer *feedback* acerca do processo de construção em tempo real. O que é facilmente reparável na hora, poderá crescer em risco e gravidade gradualmente, aumentando o custo relativo da tarefa e o nº de horas dedicadas à mesma.

2.3. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS EM ATAS DE CONFERÊNCIA

2.3.1. Machine Learning aplicado à previsão da probabilidade do cumprimento dos prazos estabelecidos no contrato de empreitada

A presente investigação, proposta pelos engenheiros russos Valpeters et al. (2018) [15] nas Conferências MATEC, tem como principal objetivo o cálculo, a qualquer altura da fase de construção, da probabilidade da correta execução dos prazos estabelecidos no contrato. Os autores tentam ainda discriminar os fatores que poderão estar a causar o possível incumprimento e definir ações corretivas que minimizem esse risco.

Para tal, o caso de estudo em mãos dita como princípio a utilização de três ferramentas de Machine Learning - RF, *Decision Tree* (DT) e Regressão Logística – às quais são alimentados dados provenientes de um sistema unificado de informação (EIS) relativos à esfera de contratos de construção para a cidade de Moscovo. Os indicadores utilizados na investigação incluem: duração do contrato, preço do contrato, montante pago e produto [Fig. 17].

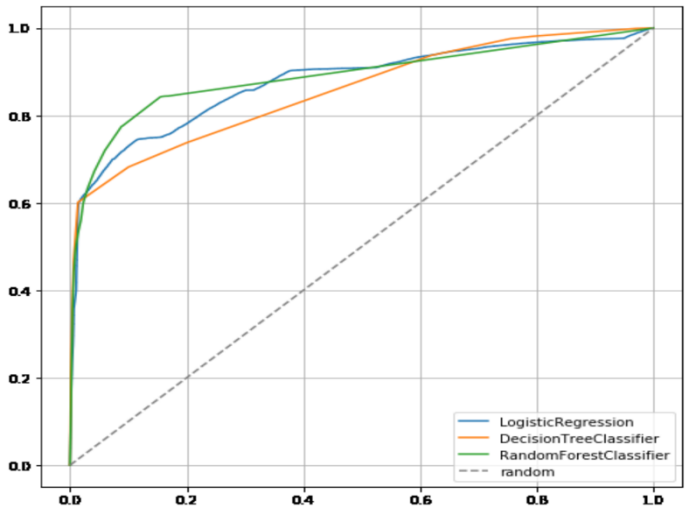


Fig. 17 - Progressão dos três modelos ML representados por curvas ROC [15]

O estudo determina a possibilidade de previsão do correto cumprimento de contratos dentro do prazo com elevado grau de precisão. Entre os diferentes modelos, a ferramenta de ML *Random Forest* apresenta o melhor resultado (88.84%).

2.3.2. Machine Learning na avaliação da performance de segurança através de critérios dominantes

O trabalho desenvolvido nesta publicação de Jafari et al. (2019) [16] baseia-se na seleção de critérios de segurança dominantes e aplicáveis em qualquer obra, obtidos através de dados provenientes de 8 construções efetuadas por uma empresa norte-americana ao longo de dois anos. Os mesmos foram selecionados a partir de vários critérios que incluem validade, fiabilidade, representatividade, subjetividade e custo-eficiência, com o objetivo de avaliar a performance geral de segurança na obra.

Aos critérios dominantes supracitados foram aplicadas diversas ferramentas de Machine Learning. O objetivo da investigação é determinar qual terá maior grau de precisão, destacando-se a *Naive Bayes* (NB) e a *K-Nearest Neighbors* (KNN) com níveis acima dos 85% (0,857). Dos 23 indicadores testados, 10 demonstraram ter influência significativa na avaliação da segurança em obra, provando assim o método como útil na melhoria das práticas de segurança e gestão de recursos nesse sentido.

2.3.3. Machine Learning aplicado à estabilidade de andaimes em tempo real

Nesta publicação, é analisada e categorizada a estabilidade de andaimes segundo quatro condições estruturais: seguro (safe), a capotar (overturning), em sobrecarga (overloading) e em assentamento irregular (uneven settle). Para o critério "a capotar", foram levantados dois dos apoios com uma empilhadora. Para o critério "em sobrecarga" foi aplicada uma força no topo do andaime superior a 400 kgf e para o critério "assentamento irregular" foi levantado um dos apoios do chão.

O método proposto por Cho et al. (2018) [17] consiste na integração de extensómetros com um algoritmo de Machine Learning SVM de modo a aceder em tempo real e de modo automático às condições de segurança da estrutura. Este foi validado através do método experimental, testado 150 vezes nas três condições de instabilidade [Fig. 18].



Fig. 18 - Teste utilizando um andaime de 4 apoios [17]

Assim que a deformação é medida e transmitida a um computador munido da ferramenta SVM, a análise em Machine Learning das condições de segurança do andaime é conduzida e comparada com as condições reais da estrutura. O *Support Vector Machine* foi extremamente preciso, apresentando uma taxa de sucesso de 96.5% para as condições "a capotar" e "assentamento irregular", e de 100% para a condição "em sobrecarga". A precisão média do método experimental foi de 97,66%.

2.3.4. Modelo CBR na previsão de custos na fase preliminar do projeto de Construção

O presente caso de estudo explora o processo de aquisição de conhecimento e aplica-o a um modelo de *Case-Based Reasoning* (CBR). O CBR é responsável por estimar os custos associados a uma qualquer obra de Engenharia Civil com base em centenas de casos semelhantes, e nas respetivas soluções, ao aplicar um custo unitário a cada elemento ou tarefa a desenvolver e, consequentemente, ao prever o preço total final da obra em questão com base nos seus semelhantes.

O sistema CBR funciona sobre o pressuposto de que casos similares têm soluções similares. O seu processo de aquisição de conhecimento é independente do utilizador e contínuo, e o sistema que retem toda a informação é posteriormente capaz de comparar os resultados e adaptar soluções. O ciclo operacional deste sistema CBR é descrito com o uso de quatro Rs:

- Recolha – procura de casos semelhantes na base de dados;

- Reutilização – utilização da informação contida nestes casos para resolução da questão atual;
- Revisão – leitura e análise da utilidade e eficácia da solução encontrada;
- Retenção – armazenamento do processo na memória para uso futuro.

Já a eficácia e qualidade da resposta do sistema CBR depende de quatro fatores:

- A eficiência da análise feita ao projeto mapeado:
- A qualidade do processo comparativo;
- Os métodos da solução adaptada;
- A precisão na descrição do caso;

Para o efeito do caso de estudo de Zima (2015) [18], foram analisadas as obras necessárias para a construção de um campo de futebol na província de Alwernia, na Polónia. Esta análise foi conduzida com diversos métodos preditivos nos quais se inclui o modelo CBR, assim como métodos paramétricos e redes neurais.

Foi possível concluir indubitavelmente com este estudo que o método CBR é o mais simples e mais rápido, visto que evita normas e colocação de regras e limites ao cálculo. É ainda possível verificar que a precisão dos resultados varia com o tamanho da obra e o tamanho da base de dados previamente colecionada. Existindo uma base de dados rica e extensa, é possível concluir que o método CBR é um método útil aplicável ao cálculo dos custos associados a uma obra na sua fase preliminar.

2.4. CASOS DE ESTUDO PUBLICADOS NO LIVRO "CONSTRUCTION 4.0", DE A. SAWHNEY, M. RILEY E J. IRIZARRY (2020)

2.4.1. Formação de movimentos e postura de trabalhadores através de um Sistema Ciber-físico (CPS)

O sistema do caso de estudo em questão [19] simula, através de realidade virtual (VR), diversos ambientes e situações distintos caraterísticos de uma obra. Ao trabalhador são emparelhadas unidades medidoras de inércia (IMU), que consistem em acelerómetros, giroscópios e magnetómetros, e à base de dados central na qual se assenta a VR são alimentadas, além dos diferentes cenários de construção referidos, posturas seguras de trabalho e demais informação relativa a movimentos (dicas, correções).

Ao iniciar o exercício, o trabalhador coloca os óculos de VR e seleciona a atividade que pretende executar. Ao fazê-lo, são extraídas da base de dados as diferentes tarefas necessárias para a completar, assim como os diferentes movimentos e como praticá-los corretamente.

O que o trabalhador vê, ao realizar cada movimento, é o seu corpo projetado no CPS com cada membro representado por uma cor consoante a prática correta ou incorreta do movimento – verde, amarelo e vermelho. É possível entender melhor o funcionamento de todo o sistema e aquilo que o utilizador vê através das representações do sistema ciber-físico em [Fig 19, Fig 20].



Fig. 19 - Utilização do sistema com uma postura correta para uma tarefa de montagem de caixilharia [19]



Fig. 20 - Utilização do sistema com uma postura incorreta para uma tarefa de montagem de caixilharia [19]

A apresentação desta informação ao trabalhador em tempo real irá ser extremamente útil não só no seu treino de execução de tarefas como da respetiva postura a adotar. Consequentemente, a prática irá garantir a segurança do trabalhador e evitar custos relativos a lesões em obra à empresa responsável.

2.4.2. Utilização de um CPS e sistema BIM na deteção de condições atmosféricas e gases nocivos presentes numa obra subterrânea

No presente caso de estudo, foram colocados múltiplos sensores WSN – dispositivos *Internet-of-Things* (IoT) - no espaço subterrâneo onde decorre uma obra [19][Fig. 21]. Os sensores são capazes de recolher informação acerca de gases nocivos presentes, tais como gases inflamáveis ou monóxido de carbono (CO), assim como a temperatura e humidade no local.

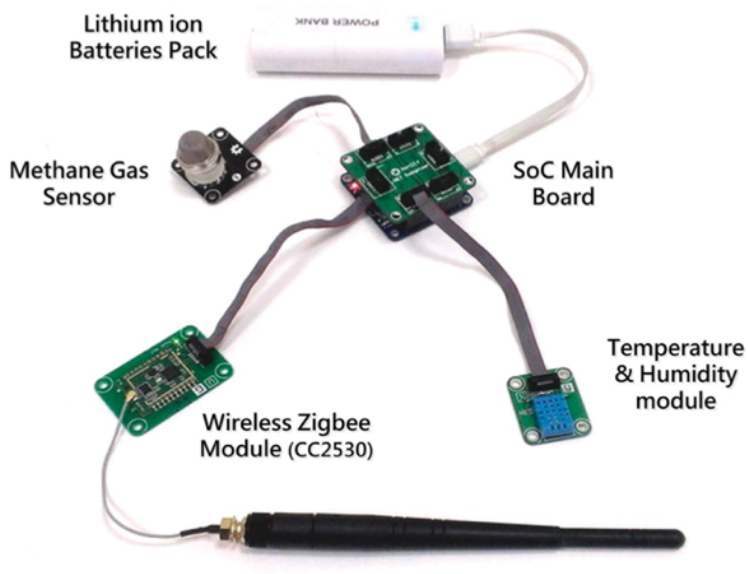


Fig. 21 - Componentes de um sensor WSL (expandido) [19]

Os dados atmosféricos são transferidos através de uma rede segura wireless até à unidade BIM que, dispondo de parâmetros relativos aos normais níveis destes indicadores, utiliza um sistema de cores para indicar ao administrador o nível de risco presente no local. No caso de o local da obra apresentar níveis anormais de um dado parâmetro, um conjunto de medidas serão automaticamente tomadas pelo sistema tendo em conta as necessidades do local. Este tem a capacidade de ligar os ventiladores ou mesmo de requerer ao utilizador a evacuação do espaço.

3
ANÁLISE E QUANTIFICAÇÃO DOS RECURSOS ASSOCIADOS AOS CASOS RELEVANTES

3.1. EM CASOS DE SEGURANÇA E PREVENÇÃO DE ACIDENTES

3.1.1. Associação de parâmetros de segurança e a sua previsibilidade

O processo de análise da previsibilidade de fatores de risco em ambiente de obra começa com a coleção e *mining* de dados adequados. De modo a conseguir uma base de dados rica e completa na qual todo o processo se possa centrar, existem dois métodos através dos quais é possível retirar a informação relevante de relatórios técnicos de acidentes de trabalho e relatórios semanais/mensais de segurança.

Antes de mais, é necessário ter acesso a uma vasta panóplia de relatórios técnicos de acidentes de trabalho. Um dos casos de estudo mais relevantes estudado no capítulo anterior utiliza os dados referentes a oito grandes projetos de construção de uma empresa de construção em Alberta, no Canadá, que se estenderam pelos anos de 2016 e 2017, e contém informação bissemanal acerca da segurança em obra.

O primeiro método é um processo standardizado de *mining*, definido por Witten et al. (2016) [20]. São selecionados parâmetros que interessam ao utilizador, que se expandem desde informação de desempenho do projeto, como custo, cronograma ou indicadores da qualidade da obra desempenhada, a informação relativa à segurança do projeto, nº de horas envolvidas, especialidades, horas por turno, anos de experiência do trabalhador envolvido, entre outros.

Os dados brutos obtidos são então analisados, limpos e preparados. Este passo envolve a remoção de informação não relevante e de parâmetros onde a mesma se sobreponha. É necessário ainda remover informação em falta ou *outliers* que possam possivelmente disromper o processo de Machine Learning subsequente. Uma base de dados completa fica então criada.

O segundo método remete à utilização da ferramenta NLP, *Natural Language Processing*, desenvolvida por Tixier et al. (2021). Este é um processo iterativo em que a ferramenta é corrida pela base de relatórios existente procurando devolver resultados, para cada um dos incidentes registados, relativos a quatro parâmetros: tipo de lesão, nível de gravidade, fonte de energia e parte do corpo lesada.

Para este mesmo caso de estudo, o NLP obteve resultados de precisão de 100% nos relatórios que conseguiu identificar (93,8%). Desta análise, resultaram, além dos quatro parâmetros denominados Yn (n=1,2,3,4), 78 tipos de acidente (p=78) que foram associados a 20 subparâmetros.

As vantagens da ferramenta NLP face ao método standardizado de mining são principalmente a rapidez de processo, pois não é necessário limpar e completar os dados brutos, e a fácil integração da ferramenta em BIM, de modo a conseguir ter a informação concentrada numa só plataforma. É ainda mais útil pois não requer ao utilizador a capacidade de programar e de possuir software que entenda a linguagem correspondente, como o PyTorch para a linguagem de programação Python.

De modo a correr o NLP nos relatórios de acidente de uma construtora, é necessário subscrever com uma das empresas que disponibiliza a ferramenta, como a MonkeyLearn [21]. O custo associado é de 283,30€/mês. No entanto, para uma análise espontânea, a empresa oferece um teste gratuito. A

MonkeyLearn disponibiliza ainda um curso gratuito de formação em análise de dados ao utilizador em caso de subscrição à empresa.

Após o processo de identificação das variáveis nos relatórios de acidente, é necessário aplicar as ferramentas de Machine Learning. O que ficou notório nos casos de estudo anteriormente analisados foi que é necessário correr um conjunto de todas as principais ferramentas de modo a obter os resultados mais elevados de *Accuracy*, *Precision*, *Recall* e *F1-Score* possíveis, visto que a ferramenta mais útil varia conforme cada análise feita.

Utilizando esta conjunção, é possível associar os tipos de acidentes às suas causas e fontes de energia causadoras. Isto proporciona à construtora uma visão diferente daquilo que pode melhorar no ambiente de trabalho de modo a evitar esse tipo de acidentes dispendiosos e causadores de atrasos.

Assumindo que o utilizador não tem a formação necessária em programação, a melhor solução é contratar ou formar um programador com conhecimento das principais linguagens como C++, Java e Python, ou então recorrer a uma empresa externa. Já o processo em si não tem qualquer custo associado além do associado às horas despendidas no processo. Já o mesmo pode poupar milhares ou mesmo milhões à construtora ao longo de diversas obras.

3.1.2. Utilização de SVM na previsão da estabilidade de andaimes

De modo a conseguir de forma bem sucedida analisar as condições de segurança de um qualquer estrado provisório de apoio à construção, é primeiramente necessário utilizar sensores de deformação nos seus assentamentos e registar os respetivos valores de με. Para o efeito, uma boa opção é a plataforma e os equipamentos Arduino [22][Fig. 22][Fig. 23], complementados com sensores de deformação adequados e um módulo de deformação comprados separadamente.



Fig. 22 - O *Arduino Sensor Kit Bundle*, composto por uma placa central, uma placa complementar de input/output e 10 módulos *Grove* com diversos sensores (luz, temperatura, movimento, resistência, entre outros) [22]

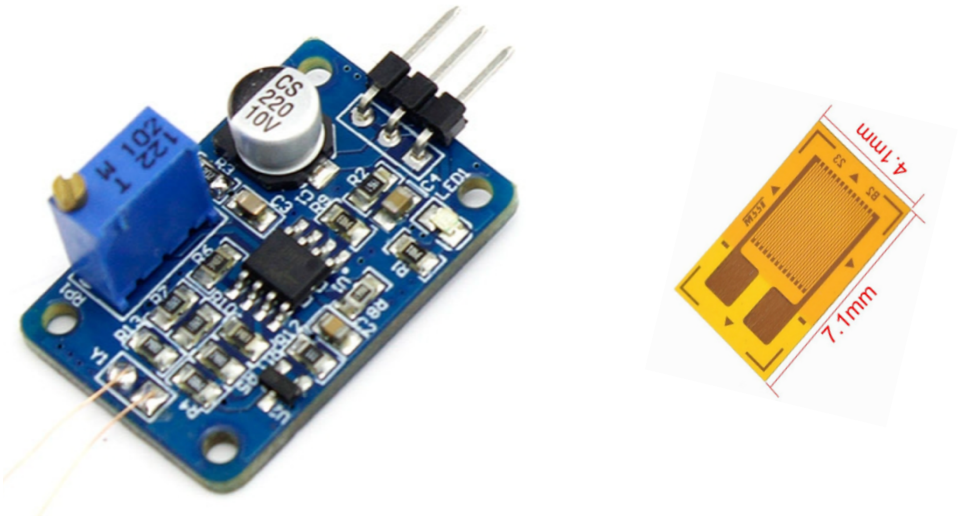


Fig. 23 - À esquerda, um módulo de deformação de 5V DC. À direita, um sensor de deformação BF350-3AA [22]

O custo associado ao *Arduino Sensor Kit Bundle* é de 53,70€. Já o módulo de deformação em questão tem o preço de 7,75€ e cada pack de 100 sensores de deformação tem o preço de 47,35€. É ainda necessário baixar o programa Arduino IDE, que faz a conexão ao computador, sem qualquer custo adicional.

As razões pelas quais a plataforma Arduino é a mais vantajosa são:

- É significativamente mais barata que as suas competidoras;
- Tem um nível elevado de adaptabilidade, visto que a plataforma funciona em Linux, Windows e Macintosh OS X;
- Possui um software intuitivo e programado de forma a ser utilizado por utilizadores de qualquer grau de conhecimento;
- O software é aberto e gratuito a todos os utilizadores. Para mais, é extensível: é possível utilizar linguagem C++ mas também alterar a mesma para AVR-C. [23]

Quanto à programação do SVM, um método binário que normalmente divide os dados em dois grupos, não é necessariamente preciso saber programar. Utilizando a fórmula aperfeiçoada por Cho et al. iterativamente, ou seja, comparando as quatro classificações duas a duas e múltiplas vezes até obter valores praticamente constantes, é possível obter um módulo de previsão suficientemente preciso. Para tal, é apenas necessário dedicar horas de trabalho, visto que a investigação em questão é de acesso livre.

É ainda de salientar que outra possibilidade deste equipamento é a verificação da qualidade do ar. No capítulo anterior, no ponto 2.4.2, introduziu-se a possibilidade de analisar a qualidade do ambiente envolvente com recurso a um sensor WSL. Esta solução é relativamente dispendiosa. Uma solução mais adequada é a compra do sensor *IoT Air Quality Sensor Bundle*, que pelo valor de 60€ é uma alternativa bastante mais viável, principalmente se a construtora já possuir a placa central da Arduino.

3.1.3. Utilização de drones, RFID e BIM para melhoria da segurança em obra

As vantagens da utilização de BIM no Setor da Construção são inúmeras e o número de utilizadores e de empresas a nível mundial tem vindo a crescer numa base diária. Em 2020 foi conduzido um estudo pelo grupo Grant Thornton que concluiu que 38,4% das empresas do setor da construção civil já utilizam a ferramenta BIM no seu negócio. Já das restantes, 70% tencionam iniciar a sua utilização no espaço de 2 anos.

É verdade que existem desvantagens, ou melhor, dificuldades à utilização de software BIM, entre as quais:

- Necessidade de capacitar a mão-de-obra: De forma a generalizar o uso de BIM numa empresa que nunca teve contacto com a plataforma, a melhor forma de iniciar é através de um projeto piloto. Para o efeito, deve ser montada uma equipa inicial, composta por membros com certas caraterísticas favoráveis ao sucesso da implementação. Entre estas caraterísticas, é fundamental que os profissionais escolhidos estejam abertos e entusiasmados com a mudança, entendam o processo tradicional de gestão e construção, tenham alguma experiência em design 3D, já tenham sido expostos ao sistema BIM e sejam capazes de mentorar outros e trabalhar em equipa, visto que serão eles os primeiros a lidar com o sistema e a disseminar o conhecimento adquirido. Após esta seleção, o passo seguinte será a utilização de um projeto já conhecido para extensão do conhecimento prático aos restantes trabalhadores, retirando uma variável ao nível de dificuldade da tarefa. O ideal será que estes já tenham tido um dia para percorrer os tutoriais de autoajuda ou e-aulas oferecidas pelo sistema após a sua aquisição. Desta forma, com o conhecimento teórico, a ajuda de uma equipa de responsáveis conhecedores e a implementação num projeto conhecido, os trabalhadores terão as ferramentas necessárias para realizar a mudança de forma suave. Todo o processo deve ser documentado, enfatizando a forma como o BIM foi utilizado em cada passo, de modo a poder remeter a esses processos em projetos futuros. Deve ainda, no final do projeto piloto, ser feita uma análise aos recursos despendidos, como tempo e dinheiro, face ao projeto *sans*-BIM. Para mais, deve ser conduzido um inquérito ou retirado *feedback* a toda a equipa acerca do sucesso da formação;

- Necessidade de investimento inicial: Trata-se dos custos associados à aprendizagem do sistema por parte de toda a empresa, que irá atrasar a agilidade inicial dos trabalhos e poderá custar até 3 meses de trabalho a um engenheiro com o salário médio de 1.580€ mensais, segundo as projeções de investimento presentes no livro branco do Revit. Existe ainda o investimento no software e em sistemas que o suportem. O melhor software no mercado atualmente é o Autodesk Revit, tanto pela sua multifuncionalidade e abrangência quanto pela facilidade e variedade de *Plug-ins* oferecidos pela Autodesk. Para mais, possui diversos cursos de certificação e autoajuda gratuitos na compra do sistema. O Revit é vendido pelo preço anual de 3.358€ e, pela subscrição por três anos, 3.191€/ano [24]. O sistema poderá ser instalado em até 3 computadores, embora apenas utilizado por 1 de cada vez. Dependendo do país onde uma empresa se sedia, o governo poderá disponibilizar incentivos ao uso de BIM que abaterão a este preço. As necessidades do sistema em 2022, no entanto, são as seguintes:
  - Sistema Operacional: 64-bit Microsoft Windows 10 or Windows 11;
  - CPU: Intel I-Series, Xeon, AMD Ryzen, Ryzen Threadripper PRO. 2,5GHz ou superior;
  - Memória: 8 ou 16 GB RAM;
  - Resolução de Vídeo: Entre 1280 x 1024 e 4K;
  - Adaptador de Vídeo: DirectX 11 *capable graphics card* com Shader Model 5 e pelo menos 4 GB de memória de vídeo;
  - Espaço no disco: 30 GB.

  Ora, um computador com estas caraterísticas irá custar algures entre 1700€ e 2000€. Dependendo do tamanho da empresa, será necessário adquirir vários computadores com estas especificações;

- Incompatibilidade com outros *softwares*: O BIM ainda não está universalmente estabelecido em empresas do setor da construção civil. Isto leva à possibilidade de que empresas parceiras ou subcontratantes não utilizem BIM e não possam utilizar os modelos da empresa.

Entre as necessidades requeridas a uma empresa do setor da construção civil que trabalhe com BIM, serão necessárias as seguintes especialidades [25]:

- Modelador BIM – cria e desenvolve modelos BIM e extrai dados e documentação 2D/3D;
- Analista BIM – simula e analisa diversos fatores baseados no modelo desenvolvido;
- Programador de Software BIM – desenvolve e adapta software de modo a promover a sinergia entre o sistema BIM e os diferentes *plug-ins*;
- Assistente BIM – ajuda e guia os profissionais envolvidos no projeto a familiarizar-se com o BIM, assim como o cliente ou outros elementos com menos experiência com o software;
- Investigador BIM – está atento aos novos desenvolvimentos e inovação no sistema;
- Diretor BIM – ocupa-se de gerir toda a implementação e manutenção do processo BIM.

Já entre as vantagens da utilização de *Building Information Modeling* nesta área, destacam-se as seguintes:

- Elevada eficiência: uma das maiores vantagens do BIM é a diminuição do tempo de planeamento, orçamentação e construção aliado ao aumento da sua eficiência. Na fase inicial, o planeamento das fases de construção torna-se um processo mais expedito e fácil de gerir, assim como o processo de estimativa de custos será feito de forma mais precisa. Com recurso a ferramentas como o BIM 360 Docs, aliado do BIM 5D, é tornada possível a quantificação e aplicação de custos, permitindo aos orçamentistas concentrar-se em fatores de maior valor. O acesso à plataforma BIM permite ainda uma comunicação e colaboração melhoradas entre diferentes elementos envolvidos no projeto. Os diferentes profissionais poderão assim aceder a qualquer altura ao BIM e ter acesso ao modelo projetado em tempo real com as alterações mais recentes, evitando erros e repetição de trabalhos;
- Redução de custos e desperdício: O software BIM oferece, tanto aos designers quanto aos construtores, diversas ferramentas que permitem a melhoria dos seus processos antes sequer do início da obra. Este permite rever e comparar a escolha de materiais, ao passo que otimiza a ordem dos trabalhos e ajuda a minimizar o erro humano passível de ocorrer durante o processo construtivo. Com a melhoria da fase de planeamento, o BIM auxilia à redução de materiais desperdiçados, reduzindo assim os custos associados;
- Melhoria na perceção e entendimento do projeto: a capacidade de visualizar o eventual desfecho final do projeto em 3 dimensões, em vez da tradicional planta 2D, confere tanto aos engenheiros como ao dono de obra um entendimento muito superior daquilo que vai ser feito. O dono de obra, e futuro utilizador, sente-se assim mais envolvido no projeto. Para mais, com esta visão detalhada é possível melhor perceber aquilo que vai ou não resultar e ajustar o projeto em consonância, evitando futuros atrasos;
- Otimização da cronologia da obra: da mesma forma que muitas das vantagens do BIM levam à redução de custos, também o tempo dos ciclos de construção é reduzido. Com o recurso ao software, toda a documentação envolvida no projeto, incluindo encomendas e *timeline* associado a cada ciclo, disfrutará de uma calendarização mais precisa e largamente difundida por todas as partes envolvidas;
- Maior facilidade na utilização de prefabricados: o BIM pode ser utilizado para gerar *designs* e desenhos minuciosos para efeitos de produção, abrindo as portas para a maior utilização de elementos prefabricados e modulares numa dada obra. Ao construir e detalhar peças fora do local da obra, em fábrica, é possível diminuir o desperdício, aumentar a eficiência construtiva e reduzir os custos associados a materiais e horas de trabalho;
- Melhoria na segurança em obra: através do recurso a análises de risco visuais e avaliações de segurança com recurso à monitorização de trabalhadores em obra, é possível apontar potenciais

situações ou atividades de risco. É ainda possível fazer um planeamento logístico dos trabalhos com base nessa análise de segurança.

É neste último ponto que assenta a presente análise. Aliando o BIM a sistemas de *hardware* externos que adicionem à sua informação, como drones munidos de sensores GPS e sensores LiDAR ou câmaras de alta resolução, etiquetas RFID ou dispositivos Bluetooth acopláveis, é possível melhorar significativamente a segurança e a logística de uma dada obra.

No que toca à utilização de drones na coleção de informação acerca do estado e progresso da obra, estes apresentam as seguintes vantagens:

- Melhoria na segurança em obra: dado o seu controlo à distância, os drones têm a capacidade de monitorizar a localização de todos os elementos da obra, identificar possíveis situações de perigo e reportá-las com eficiência ao utilizador. O facto de obterem informação em tempo real ajuda a preservar um ambiente seguro;
- Poupança de custos: À medida que a utilização de drones se tem tornado mais generalizada, também o seu preço tem vindo a descer. Medições serão facilitadas, abrindo espaço à poupança de custos de aluguer de escadas, empilhadoras e outros sistemas pesados, além dos custos associados a possíveis acidentes;
- Qualidade de imagem: os sistemas UAV atuais vêm munidos de câmaras de alta resolução, capacidade de vídeo em 4k ou sensores LiDAR que, quando associados a um sistema central através de uma nuvem de dados, recriam o ambiente da obra em 3 dimensões para uma análise completa. Isto abre portas à possibilidade de encontrar fissuras, danos ou outros elementos perigosos no local;
- Precisão: com a sua utilização de sistemas GPS, razão pela qual podem ser programados e guiados, os drones têm uma precisão de +- 2,5 cm quando voam a 100m do nível do solo, podendo voar por 90 minutos ou até 7,5 km, dependendo do modelo;
- Facilidade na condução e controlo: o equipamento tem total liberdade de movimentos, podendo voar a diversas alturas e em qualquer direção. A sua condução é composta e de fácil aprendizagem;
- Rapidez de resultados: os drones enviam dados em tempo real acerca da informação que vão obtendo, retirando o fator temporal associado à demorada análise humana.

Estes sistemas UAV apresentam, no entanto, algumas desvantagens:

- Falta de privacidade: a utilização de drones retira algum direito fundamental de privacidade aos trabalhadores do setor da construção civil;
- Legislação em constante mudança: tratando-se de um sistema relativamente recente, as leis aplicadas à utilização de drones ainda são vagas e estão em constante mudança;
- Segurança: estes sistemas não são perfeitos. UAVs munidos de sensores de alta qualidade conseguem identificar situações de risco e evitam-nas com destreza. Operando num ambiente muito populado e em constante movimento, no entanto, pode dar aso a acidentes que poderão, em casos extremos, colocar a integridade física de um trabalhador em causa;
- Mau funcionamento do equipamento: foram já reportadas situações em que o equipamento mal funcionou e perdeu o controlo. Situações deste género poderão sempre acontecer quando se trata de um sistema controlado remotamente.

De modo a rastrear o ambiente de obra e recriá-lo em plantas ou modelos 3D, este aparelho UAV terá de ter certas caraterísticas que o permitam, como boa qualidade de imagem, que disponha de sensores e visão *wide-angle*, com bom tempo de voo e fotogrametria em 3 dimensões. Existem dois modelos que se destacam.

O Phantom 4 RTK [Fig. 26], da DJI, tem um formato compacto e é fácil de transportar. Oferece uma qualidade de vídeo de 720p a uma distância de até 6,5 km e sensores LiDAR para reconstituição da obra. Possui ainda um sistema de mapeamento *Real-Time Kinematic* que corrige a posição do drone em tempo real, um processo que poderia demorar horas sem a caraterística em questão, e produz

modelos 3D em tempo real. Pesa apenas 1,36 Kg e tem um tempo de voo máximo de 30 minutos [26]. O seu preço de mercado em 2022 ronda os 5.850€.



Fig. 24 - Phantom 4 RTK, da DJI [26]

Já o Matrice 300 RTK [Fig. 27], igualmente da DJI, é um UAV mais robusto que vem munido com todas as câmaras e sensores que alguma vez poderão ser necessários, incluindo visão termal [27]. É um drone mais apropriado para zonas muito vastas e voos precisos a altitudes elevadas, podendo voar por até 55 minutos e inclusive transportar pequenos equipamentos. Pesa 9,1 Kg e o seu preço de mercado ronda os 12.456€.



Fig. 25 - Matrice 300 RTK, da DJI [27]

Aliado a este sistema, a solução de dispositivos Bluetooth de baixa energia (BLE) acopláveis aos cintos dos trabalhadores oferece uma boa solução de baixo custo para saber as suas posições em qualquer altura, garantindo, com recurso aos mapas 3D presentes no sistema BIM, que não estão envolvidos em situações ou hábitos de risco para eles ou outros. O preço destes sistemas, comprado em grandes quantidades, é desprezável. O próprio telefone dos trabalhadores poderá ser utilizado com este propósito.

3.2. *BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS* PARA GARANTIA DA SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO DE EDIFÍCIOS

Os BMS são utilizados para maximizar a eficiência dos sistemas de iluminação, aquecimento, ventilação e refrigeração [Fig. 26]. Através da ligação a um sistema central automatizado, torna-se

possível aceder, controlar e modificar qualquer componente da rede, de modo a exponenciar a sustentabilidade do ambiente residencial.



Fig. 26 - Planeamento base de um BMS para o controlo de uma divisão. Contém controlo da ventilação para manter os níveis de CO2 abaixo das 1000 ppm (a laranja), um controlo de filtro para partículas superiores a 2.5 mm (a verde), um controlo de ocupação do espaço (a amarelo), um controlo da ventilação (a azul claro) e um controlo da humidade relativa entre os 40% e os 60% (a azul escuro)

As componentes de um Building Management System são as seguintes [28]:

- Sensores: captam informação relativa a temperatura, humidade e ocupação do espaço [Fig. 27];



Fig. 27 - Variedade de sensores Symaro, da Siemens [28]

- Controladores: recebem a informação dos sensores e formulam uma reação baseada nos dados;
- Válvulas e interruptores: materializam os comandos recebidos pelos controladores [Fig. 28];



Fig. 28 - Válvulas Acvatix, da Siemens [28]

- Protocolo de comunicação: trata-se da linguagem utilizada por todos os componentes para comunicar entre si;
- Interface do utilizador: *software* que faz a ponte entre o sistema e o utilizador, remotamente acessível através de um computador ou *smartphone* [Fig. 29].



Fig. 29 - Interface do utilizador do sistema Desigo, da Siemens [28]

Entre as vantagens da utilização destes sistemas, figuram os seguintes aspetos:

- Melhoria da eficiência: o BMS controla automaticamente o sistema AVAC do edifício, aquecendo e arrefecendo o ar conforme a ocupação assim como a iluminação. Quando os requisitos são baixos, o BMS corta automaticamente o *output* mantendo as condições mínimas definidas pelo utilizador. Com base nas condições exteriores de luz e calor, o BMS pode ainda ajustar as janelas e cortinas de modo a utilizar essas condições exteriores a seu favor. Este tipo de sistemas pode economizar entre 10 a 30% dos custos alocados a utilidades. Através da redução do tempo em que cada aparelho é utilizado e reportando falhas e anomalias no sistema

atempadamente, o sistema pode ainda cortar nos custos relacionados com reparações e manutenção;

- Sustentabilidade: dada a redução do consumo energético, o impacte ambiental do funcionamento da estrutura assim como a pegada deixada pela emissão de gases de estufa são consideravelmente reduzidos;
- Gestão das falhas energéticas: através da interação com o interface do utilizador, as anomalias detetadas podem ser atempadamente previstas e rapidamente resolvidas. Caso exista a necessidade de efetuar reparações recorrendo ao corte da energia, este pode ser temporizado de modo a reduzir imprevistos em horas de maior necessidade;
- Longevidade dos equipamentos: os BMS têm a capacidade não só de antecipar falhas e anomalias no sistema, impedindo que os mesmos se tornem potencialmente inutilizáveis caso a falha não fosse detetada, como de estender o ciclo de vida dos equipamentos ao utilizá-los apenas quando estes são necessários.

Já entre as inconveniências do sistema, figuram estes aspetos:

- Preocupações ao nível da segurança: os ciberataques são uma preocupação constante nos dias que correm e os BMS ainda têm um caminho a percorrer até conseguirem fugir à regra. O controlo que estes sistemas potencialmente têm sobre as janelas e persianas é um dos pontos de foco neste aspeto;
- Investimento inicial: a pesquisa feita acerca das necessidades do seu edifício deve ser precisa e necessária para não acabar por comprar o sistema errado. Aspetos como o número de utilizadores previsto, a orientação do edifício ou o nível de automação pretendido são essenciais de entender de modo a fazer a compra correta. Caso contrário, poderá acabar por adquirir um sistema de 500 mil euros instalado num edifício com necessidades energéticas de um sistema de 100 mil euros, ou então com um BMS que não satisfaz as necessidades básicas do imóvel;
- Contratualização do sistema: após a aquisição de um BMS, o utilizador ficará de certa forma "amarrado" ao prestador de serviços através de um contrato de, por exemplo, três anos. Mesmo que o utilizador entenda a programação por trás do sistema, existem atualizações e revisões de que o sistema irá necessitar que apenas a empresa prestadora de serviços fornecer. Na hora de adquirir o sistema, não deve ser olhado apenas o investimento inicial, mas também os custos do contrato associado.

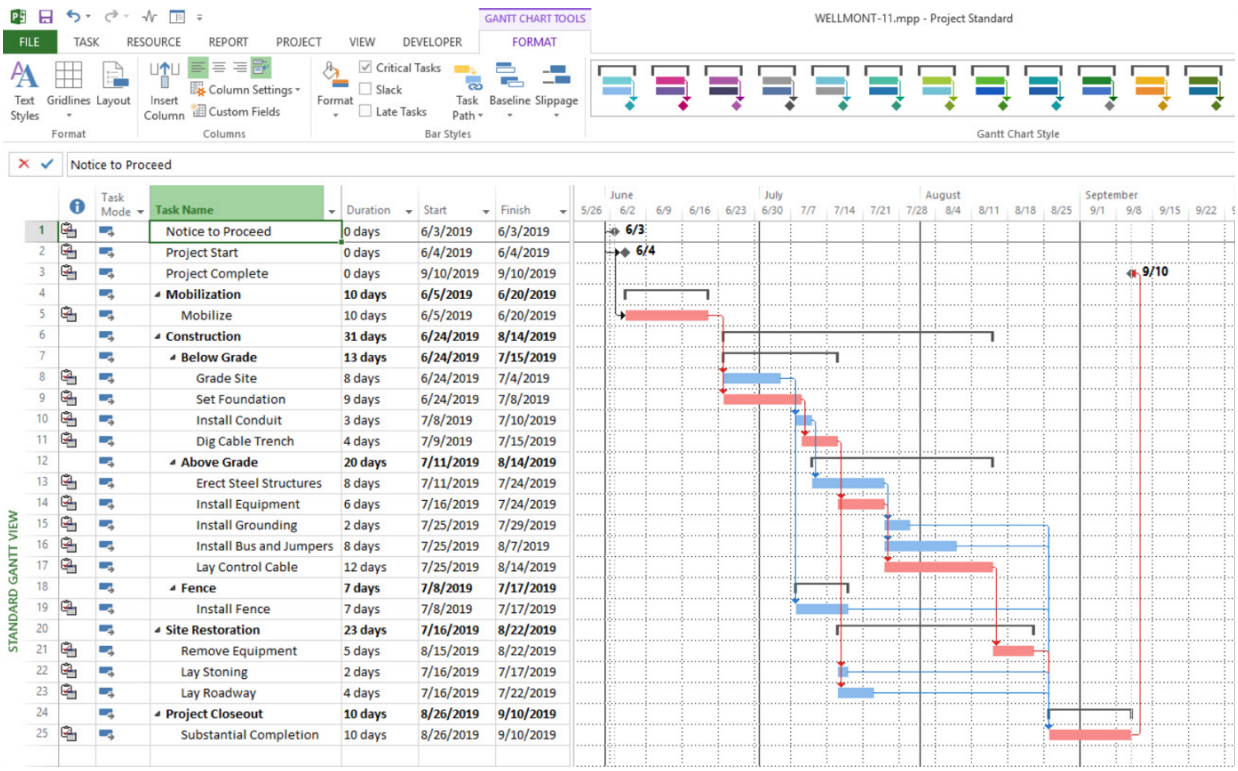
Revendo as opções existentes em Portugal no que toca a empresas que vendem e instalam BMS, estes estão maioritariamente reservados para grandes edifícios comerciais. Estruturas como o Aeroporto de Lisboa, a sede da EDP ou o Hotel Sheraton do Algarve figuram entre algumas das estruturas com este tipo de gestão [29].

Entre as empresas prevalentes na venda e instalação destes sistemas em Portugal figura a Domótica Sgta. e a Siemens. Conforme o tamanho e grandeza do projeto para o qual o BMS está a ser adquirido, o preço inicial e do contrato variarão largamente. Será feita uma averiguação mais precisa na fase de implementação.

3.3. ATUALIZAÇÃO AUTOMÁTICA DE PRAZOS E MELHORIA DA PRODUTIVIDADE COIM RECURSO A BIM 4D E MS PROJECT

A solução assenta na pesquisa de Son et al. e complementa a modelagem do projeto em BIM, dissecado em 3.1.1.3, com um planeamento cronológico dos trabalhos ("As-Planned"), com recurso ao MS Project. A atualização automática dos prazos e a informação cronológica crítica resultante é apresentada igualmente em MS Project após este planeamento cronológico dos trabalhos ser cruzado com a informação acerca do progresso "As-Built" obtido através da monitorização com recurso a drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução.

Ora, existem dois sistemas a dissecar: o MS Project e o SYNCHRO 4D. Começando pelo MS Project [Fig. 30], a utilização deste para efeitos de calendarização de atividades tem inúmeras vantagens. É um programa com excelente ambivalência que se integra com a grande maioria dos *softwares* de construção e empresas existentes dado ser parte integrante do Microsoft Office. Para mais, tem um desempenho estável e confiável e tem um apoio ao utilizador impecável e de alta reputação fornecido pela Microsoft.



	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish
1		Notice to Proceed	0 days	6/3/2019	6/3/2019
2		Project Start	0 days	6/4/2019	6/4/2019
3		Project Complete	0 days	9/10/2019	9/10/2019
4		**Mobilization**	**10 days**	**6/5/2019**	**6/20/2019**
5		Mobilize	10 days	6/5/2019	6/20/2019
6		**Construction**	**31 days**	**6/24/2019**	**8/14/2019**
7		**Below Grade**	**13 days**	**6/24/2019**	**7/15/2019**
8		Grade Site	8 days	6/24/2019	7/4/2019
9		Set Foundation	9 days	6/24/2019	7/8/2019
10		Install Conduit	3 days	7/8/2019	7/10/2019
11		Dig Cable Trench	4 days	7/9/2019	7/15/2019
12		**Above Grade**	**20 days**	**7/11/2019**	**8/14/2019**
13		Erect Steel Structures	8 days	7/11/2019	7/24/2019
14		Install Equipment	6 days	7/16/2019	7/24/2019
15		Install Grounding	2 days	7/25/2019	7/29/2019
16		Install Bus and Jumpers	8 days	7/25/2019	8/7/2019
17		Lay Control Cable	12 days	7/25/2019	8/14/2019
18		**Fence**	**7 days**	**7/8/2019**	**7/17/2019**
19		Install Fence	7 days	7/8/2019	7/17/2019
20		**Site Restoration**	**23 days**	**7/16/2019**	**8/22/2019**
21		Remove Equipment	5 days	8/15/2019	8/22/2019
22		Lay Stoning	2 days	7/16/2019	7/17/2019
23		Lay Roadway	4 days	7/16/2019	7/22/2019
24		**Project Closeout**	**10 days**	**8/26/2019**	**9/10/2019**
25		Substantial Completion	10 days	8/26/2019	9/10/2019

Fig. 30 - Interface do utilizador do MS Project com um projeto de demonstração da Ten Six Consulting [30]

Por outro lado, o MS Project apresenta certos desafios. Embora se tenha tornado mais e mais intuitivo nas versões recentes, novos utilizadores do *software* devem perder algum tempo a ambientar-se a todas as suas capacidades. Para mais, o programa apresenta duas versões: soluções baseadas na nuvem e soluções no local.

O primeiro não possui um servidor local, sendo servido pela nuvem associada a uma subscrição ao Office 365 e, com isto, problemas de segurança poderão advir. A curto prazo, o seu custo é bastante mais compreensivo, variando de subscrições mensais de 8,40€ a 46,40€ por utilizador por mês.

Já a solução local capacita o utilizador de guardar os seus projetos de forma segura e confiável na sua sede. O preço é pago a pronto e, conforme o interesse nas ferramentas de colaboração e gestão de recursos, essenciais para o que estamos a tentar lograr, varia de 929€ pelo MS Project Standard a 1659€ pelo MS Project Professional, o ideal.

Quanto ao SYNCHRO 4D [Fig. 31], da Bentley, trata-se de uma ferramenta de gestão de projetos que dispõe de visualização em tempo real para controlar uma obra em qualquer fase do seu desenvolvimento. Sendo um BIM 4D, possibilita o *design* de estruturas e o acompanhamento do seu progresso, assim como a gestão de toda a logística da obra e visualização e gestão do CPM (caminho crítico). Sendo um sistema baseado em nuvem, permite ainda a cooperação em projetos de construção.

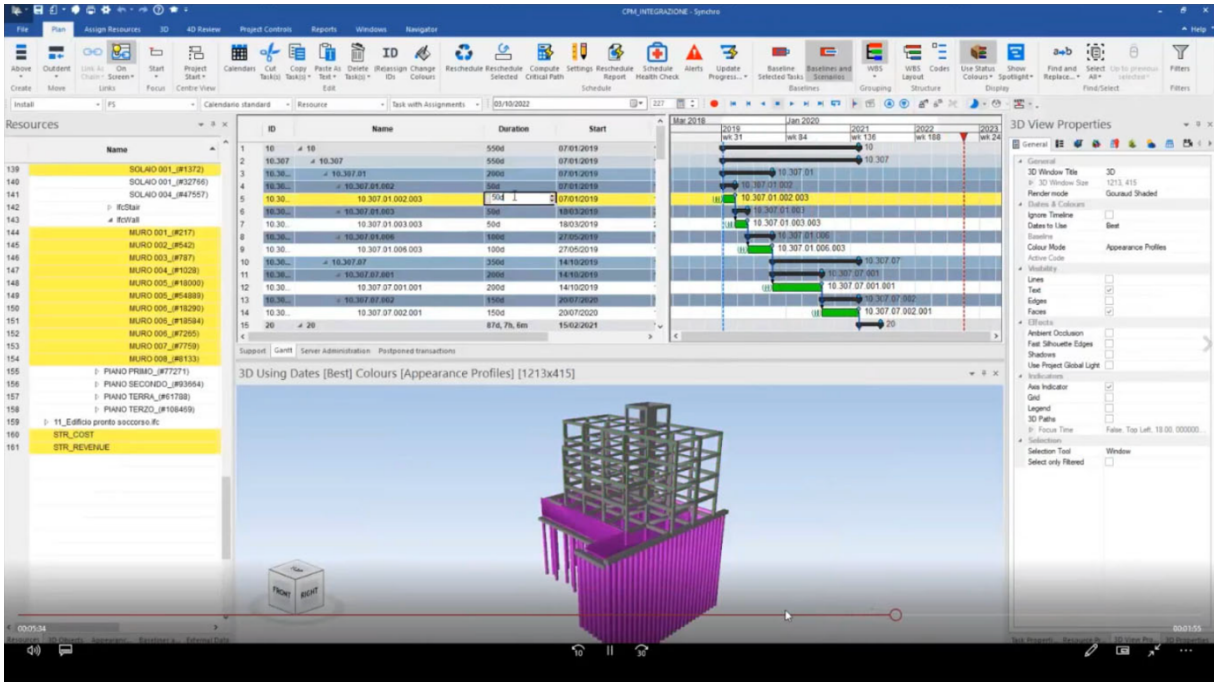


Fig. 31 - Interface do utilizador do SYNCHRO 4D Pro com um projeto de demonstração da Bimportale [31]

As desvantagens da utilização deste sistema residem no seu preço, elevado perante as ofertas de BIM 4D existentes. Cerca de 3730€/mês/utilizador. O BIM 360, sugerido em 3.1.1.3, é bastante mais acessível, além de ser 5D (inclui estimação de custos), com o custo de 1247€/mês/utilizador, praticamente 1/3 do preço do SYNCHRO 4D.

O BIM 360 apresenta ainda a vantagem de ser programado pela Autodesk, assim como o Revit, garantindo uma transição suave dos desenhos de projeto. Ao nível empresarial, um contrato conjunto a um preço ajustado pode ainda ser uma opção no caso de aquisição dos dois sistemas para múltiplos engenheiros/desenhadores.

4

PROPOSTA DE GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO E APLICAÇÃO A UMA OBRA DE ENGENHARIA CIVIL

Após ter analisado as soluções implementadas em diversos casos de estudo espalhados pelo mundo, assim como aquelas que considero serem as mais eficazes para combater as ineficiências e atrasos que se verificam ainda nos dias de hoje no nosso setor, proponho agora um guia para a aplicação dessas mesmas soluções numa obra de engenharia Civil. Trata-se de soluções com eficácia comprovada e que considero serem um grande passo no caminho de trazer o setor da Construção para a vanguarda da tecnologia.

Antes de mais, é notório realçar que todos os projetos de construção, independentemente do tamanho ou grandeza da obra, devem estar desenhados e detalhados numa plataforma de Building Information Modeling. A partilha de informação e o conhecimento de informação de projetos prévios são passos simples que largamente avançam a indústria e o objetivo de conhecimento coletivo.

A solução que está na vanguarda do *design* de projetos e acompanhamento dos mesmos, tanto pela sua multifuncionalidade como pela sua adaptabilidade com outros softwares úteis à fase de projeto, é o Revit. O desenho e as suas especificidades planificadas no Revit estão fortemente associados a um crescimento da indústria.

No centro do plano de melhoria associado à fase de construção está a utilização de drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução para a análise da segurança e dos avanços em tempo real da obra. Está também a utilização de dispositivos Bluetooth para o acompanhamento da posição dos trabalhadores e a utilização de sensores para verificação constante da estabilidade das plataformas de elevação e da qualidade do ar em obra.

Ainda utilizado no sentido de melhorar processos durante a fase de construção está a plataforma BIM 360 5D. Esta, quando alimentada com os dados recolhidos visualmente pelos drones – dados "As-Built" - e a cronologia planificada no Microsoft Project relativa aos dados "As-Planned", irá proporcionar uma atualização automática dos prazos de construção das diferentes tarefas em obras, assim como diversas informações de tarefas críticas e o próprio caminho crítico.

Já na fase posterior de manutenção da obra e melhoria da sua sustentabilidade, serão empregues *Building Management Systems* (BMS). O seu propósito será fiscalizar diferentes aspetos da construção já na fase de utilização da mesma, garantindo a qualidade do ar e a ocupação dos espaços assim como o controlo da estrutura através de um sistema central automatizado.

4.1. UTILIZAÇÃO DE DRONES MUNIDOS DE SENSORES LiDAR E CÂMARAS DE ALTA RESOLUÇÃO PARA MONITORIZAÇÃO DA OBRA EM TEMPO REAL

4.1.1. Proposta de Guia de Implementação

Os sensores LiDAR representam um acrónimo que significa "deteção e cobertura de luz", sendo que a sua cobertura espacial do terreno é feita através do envio de pulsos de luz e medição do tempo exato que estes impulsos demoram a efetivar o seu regresso, assim como a intensidade dessa reflexão.

O objetivo da utilização desta tecnologia, que já existe há algumas décadas mas apenas recentemente se conseguiu diminuir ao tamanho necessário para voar em drones, é fazer uma reconstituição física do ambiente de obra. Assim, será possível ter não só uma projeção tanto do

posicionamento de todos os materiais e equipamento através de uma plataforma de conhecimento coletivo, como obter uma progressão dos trabalhos em tempo real [Fig. 32].

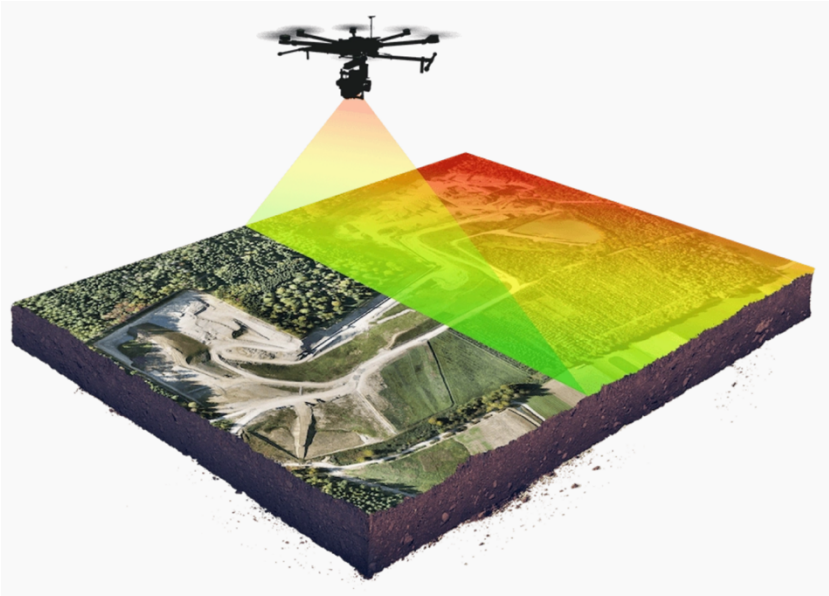


Fig. 32 – Atuação de sensores LiDAR montados num drone aplicados ao terreno para reconstituição do mesmo [32]

Já as câmaras de alta resolução são capazes de criar ortofotografias, mapeadas com coordenadas e pontos de controlo, que permitem ter uma ideia real dos trabalhos através de fotografias do ambiente de obra, com uma precisão vertical de 10 cm e horizontal de 3 cm. Quando subsequentemente carregadas no sistema de BIM, é possível sobrepor as ortofotografias com os desenhos de projeto e ter uma ideia clara acerca do bom caminho tomado pelas obras [Fig. 33][Fig. 34].



Fig. 33 – Sobreposição de uma ortofotografia de um obra de vias com o correspondente desenho de projeto [33]



Fig. 34 – Sobreposição de uma ortofotografia de um obra industrial de construção com o correspondente desenho de projeto [33]

A implementação da fiscalização de obras com recurso a drones é um processo simples que apenas requer a formação ou contratação de um piloto certificado que saiba pilotar o equipamento e ler a informação corretamente na procura de incongruências nos resultados para detetar possíveis afinações necessárias. A passagem da informação recolhida pela aeronave não-tripulada para o sistema de nuvem requer apenas a compatibilidade com o BIM utilizado, algo que deve ser verificado *à priori*, ficando então disponível para acesso por qualquer parte envolvida ou interessada.

4.1.2. Aplicação à obra da Passagem superior de Águas Santas

A obra relativa à construção e implementação de uma nova passagem superior pedonal desnivelada, que se sobreponha à via-férrea para evitar o seu atravessamento pelos utentes do Apeadeiro de Águas Santas, desdobra-se em três partes:

- Trabalhos ao km 6,660 da linha, onde a estrutura será implantada numa fase posterior, de substituição das madeiras lá existentes, assim como trabalhos de nivelamento e ataque da via, numa extensão de 12 metros em cada via;
- Trabalhos ao km 6,653, de eliminação da passagem de nível existente no Apeadeiro de Águas Santas/Palmilheira;
- Trabalhos ao km 6,860, de construção e montagem de dois núcleos de acesso, com escada e elevador, que permitirão acesso ao tabuleiro superior. A plataforma da via ascendente terá uma extensão de 10.71 metros para Norte e a via descendente uma extensão de 12.62 metros para Sul. [Fig. 35]

A análise e implementação das soluções tecnológicas sugeridas será sobre esta última, onde de facto se darão os trabalhos de construção de uma nova estrutura. No presente ponto, e de modo a

entender as necessidades da obra no que à monitorização com drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução diz respeito, é necessário entender a sua dimensão de modo a perceber qual a melhor aeronave a aplicar.

Embora se trate de uma obra de pequena dimensão, a quantidade de material é considerável. Vamos lidar com cerca de 42.475 toneladas de estrutura metálica, além de cofragens, material de drenagem, sinalética, equipamento elétrico assim como máquinas de transporte e elevação, tendo tudo que ficar guardado no estaleiro de obra durante a noite. Assim, vamos assumir uma área de trabalhos de 4 km^2 a ser monitorizada para os trabalhos de construção a verificar.

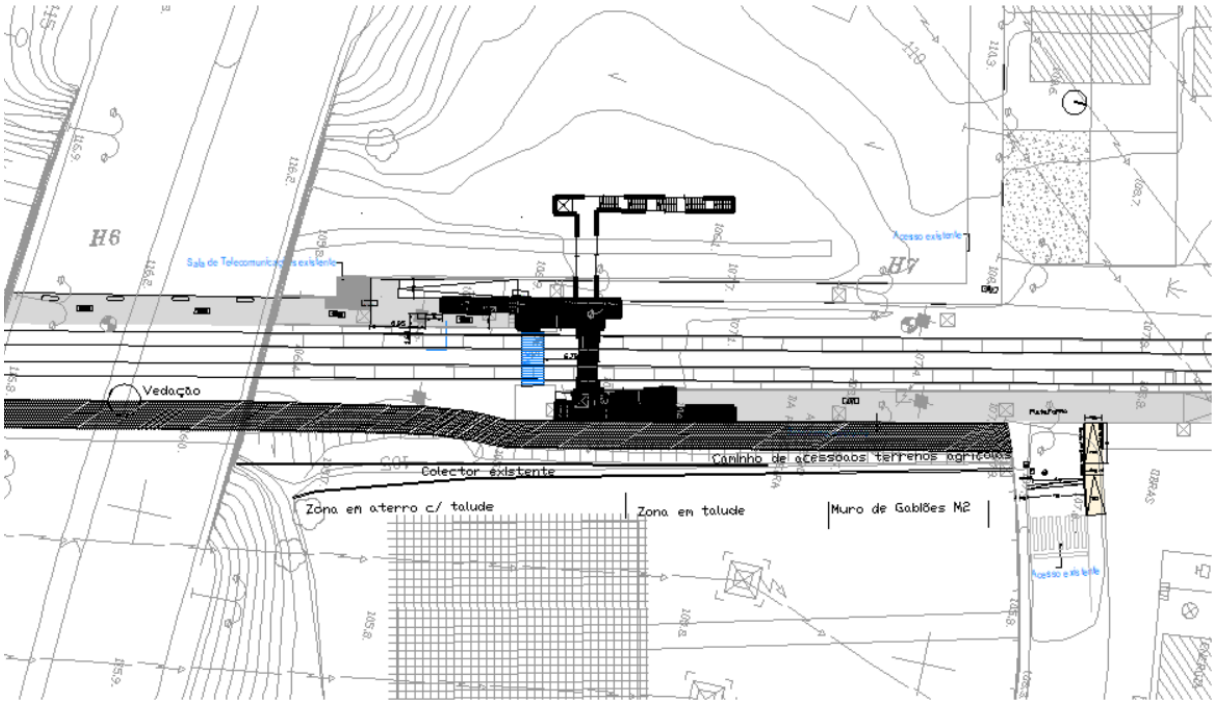


Fig. 35 – Área dos trabalhos de construção da Passagem superior de Águas Santas

Dada a grandeza da obra, das vias que a circundam e do estaleiro central a montar, um drone de curto alcance como o Phantom 4 RTK, da DJI, será suficiente para inspecionar o local e o seu progresso. Este conseguirá obter modelos de elevada qualidade através de voos semanais pelas instalações, podendo fazer 2 a 3 voos de 30 minutos para confirmar que toda a área foi mapeada, durante os 5 meses de desenvolvimento da obra.

Ligado à máquina central BIM ficará uma estação base RTK, parte integrante do sistema do drone. Este descarregará para o sistema BIM todas as informações decorridas em tempo real, através de imagens ortofotográficas, dados Z e um modelo 3D da estrutura "As-Built". Deste modo, será possível analisar e tratar as imagens recolhidas garantindo a sua acessibilidade por parte dos *stakeholders* que assim estarão mais envolvidos no dia a dia do projeto.

É de salientar que, sendo a obra em Portugal, este drone terá de ser certificado pela Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC) sob a categoria específica (Spec), sendo assim necessário enviar previamente à entidade uma análise de risco para o cenário de voo em questão [34] [35]. Também o piloto destacado para a monitorização terá de ser certificado pela ANAC, estando sujeito a uma formação teórica e prática que culmina num exame feito nas instalações da ANAC. Este terá ainda de

ser aprovado para o Certificado de Operador de UAS Ligeiro e de estar registado na plataforma eletrónica do organismo regulador, com uma validade de 5 anos.

4.1.3. Análise crítica à utilização de drones munidos de sensores lidar e câmaras de alta resolução para monitorização da obra em tempo real

Analisando este sistema, a utilização do mecanismo no âmbito da monitorização da obra da Passagem superior de Águas Santas trará múltiplos benefícios perante os custos e formação necessários ao seu correto funcionamento e implementação. Assim como o empreiteiro, também o dono de obra, os trabalhadores, a fiscalização e os investidores da obra verão vantagens palpáveis na sua utilização.

É verdade que a compra destes equipamentos carrega custos. É também verdade que é necessário certificar os voos necessários feitos pelo equipamento perante a Autoridade Nacional de Aviação Civil, assim como o piloto que levará avante a operação e o equipamento em si, e que estas certificações apresentam custos financeiros e temporais.

No entanto, é também verdade que estas certificações podem ser levadas a cabo durante a fase de projeto. Para mais, os custos associados serão residuais face ao custo total do projeto e quando comparados aos seus benefícios. Para mais, a certificação do piloto e do equipamento são transportados de projeto em projeto e apresentam validade de 5 anos.

As vantagens que a utilização destes drones trazem na monitorização do ambiente da obra são, no entanto, um grande contrapeso a estes atrasos e custos associados. Estas desdobram-se a todas as partes envolvidas e servem de forma de união e unificação do projeto através de uma ferramenta pouco palpável e muito importante: o conhecimento coletivo.

Para o dono de obra:

- A obra da passagem superior sofrerá menos atrasos e, consequentemente, permanecerá mais próxima das previsões de custo iniciais;
- A partilha de imagens em tempo real da obra aliviará as suas preocupações, mantê-lo-á informado e permitirá que o mesmo visualize os trabalhos e proponha emendas no dia a dia da obra sem ter que estar presente em todos os momentos, principalmente numa zona remota como é a da obra em questão;
- A comparação gerada com os desenhos de projeto vai permitir a sua pronta intervenção.

Para o empreiteiro:

- Os trabalhos manter-se-ão dentro do prazo estabelecido com maior facilidade, evitando atrasos;
- A necessidade de repetição de trabalhos irá diminuir, poupando recursos e problemas logísticos;
- Este poderá conduzir a sua própria fiscalização, de forma muito mais informada, evitando dissabores aquando da presença do fiscal de obra nas imediações da obra.

Para os trabalhadores:

- Obterão instruções mais claras acerca do seu trabalho conforme o avanço da obra;
- A monitorização do ambiente da obra irá reforçar o seu sentido de segurança e reduzir o número de incidências/acidentes no trabalho.;

Para a fiscalização:

- O trabalho destes será facilitado, tendo acesso a imagens e informação desde ângulos e zonas que os mesmos nunca poderiam aceder;
- Toda a informação documental relativa à obra estará concentrada num só local.

Para os investidores:

- Poderão ver o seu investimento fruir em tempo real, sentindo-se envolvidos e valorizados.

Também a própria obra e os seus futuros utilizadores serão beneficiados pela correta e mais informada construção da mesma. Estes beneficiarão ainda de uma obra conduzida dentro do prazo indicado, reduzindo o tempo em que certas vias serão cortadas para o desenvolvimento e montagem da passagem superior.

Do ponto de vista ético, a utilização deste sistema levanta algumas preocupações relativas à segurança. Estando toda a informação visual concentrada num sistema central, com ligação à web, existe a possibilidade desta ser hackeada por uma entidade exterior. De modo a impedir que esta informação transpareça para alguém não associado ao projeto, será necessário criar barreiras de segurança com informação pessoal, como perguntas chave ou identificação por câmara.

Existe ainda a questão da falta de privacidade a que os trabalhadores estarão sujeitos. Com a implementação de monitorização visual do ambiente da obra, também os seus movimentos e hábitos serão constantemente acompanhados e documentados. Como forma de mitigar este possível problema, é necessário criar cláusulas nos contratos de trabalho que esclareçam de que forma estes estão a ser monitorizados, para que fins estão a ser utilizadas as suas imagens, assim como garantias de privacidade como a não partilha de rostos ou de alguma situação mais embaraçosa ao exterior.

Assim sendo, conclui-se que o investimento e utilização deste sistema nestes moldes se justifica bastante e é um passo importante no seguimento da obra. Face aos custos associados à implementação de monitorização por drones em obra, o investimento nos mesmos justifica-se.

4.2. UTILIZAÇÃO DE MS PROJECT ASSOCIADO À PLATAFORMA BIM PARA CRIAR UMA ATUALIZAÇÃO DE PRAZOS AUTOMÁTICA NO BIM 360 5D

4.2.1. Proposta de Guia de Implementação

A proposta apresentada baseia-se no modelo de Son et al., no qual ao invés de ser utilizado o software SYNCHRO 4D para efetuar a comparação entre aquilo que foi construído e aquilo que foi planeado, é utilizado o BIM 360 5D devido à sua adaptabilidade e sustentabilidade em termos económicos. A associação entre a informação daquilo que foi construído, retirada da monitorização por parte de drones, e aquilo que foi estipulado e planificado com recurso ao MS Project, será comparada neste software e exibida na plataforma BIM.

O processo para efetivar este sistema é então explicado. Exportando o ficheiro de modelagem em 3D com a extensão .rvt – o software BIM utilizado é o Revit – e o ficheiro de dados "As-Planned" em .mpp, é utilizado o software BIM 360 5D para os congregar, resultando um ficheiro 4D conjunto de extensão .ifc, um formato universal de partilha de informação. Já o progresso "As-Built" é obtido através de múltiplos scaneamentos dos trabalhos concluídos com recurso a sensores LiDAR, criando um modelo 3D do local extraído em formato .txt.

O progresso real é assim apresentado no MS Project. Já o ficheiro .ifc, quando executado no BIM 360 5D juntamente com o ficheiro .txt, abre um *graphical user interface* (GUI). Neste, é possível criar o projeto introduzindo os dados da análise no formato mm/dd/aaaa. Duas janelas surgem em *pop-up* com o projeto "As-Planned" e "As-Built" [Fig. 36]. Se forem selecionados três pontos no primeiro, e os três pontos correspondentes no segundo, é gerada uma comparação.

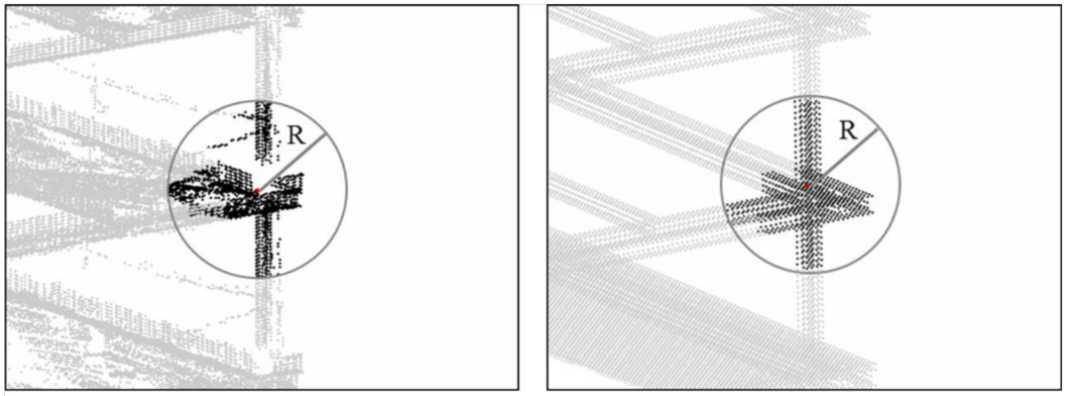


Fig. 36 - Determinação local de dados “As-Built” (à esquerda) e dados “As-Planned” (à direita) [4]

A comparação resultante da execução do GUI apresenta o progresso real de cada componente e de cada atividade dessa componente, uma atualização das datas de início e fim de cada atividade e ainda informação crítica relativa ao cronograma, como o caminho crítico e as atividades mais urgentes. Quando o utilizador analisa esta informação e termina o ciclo, o sistema cria dois novos ficheiros nos formatos .ifc e .mpp com os cronogramas atualizados, para utilizar em análises futuras. O ficheiro .mpp pode ainda ser aberto no MS Project que produzirá tanto o planeamento daquilo que foi construído como aquilo que foi planeado [Fig. 37].

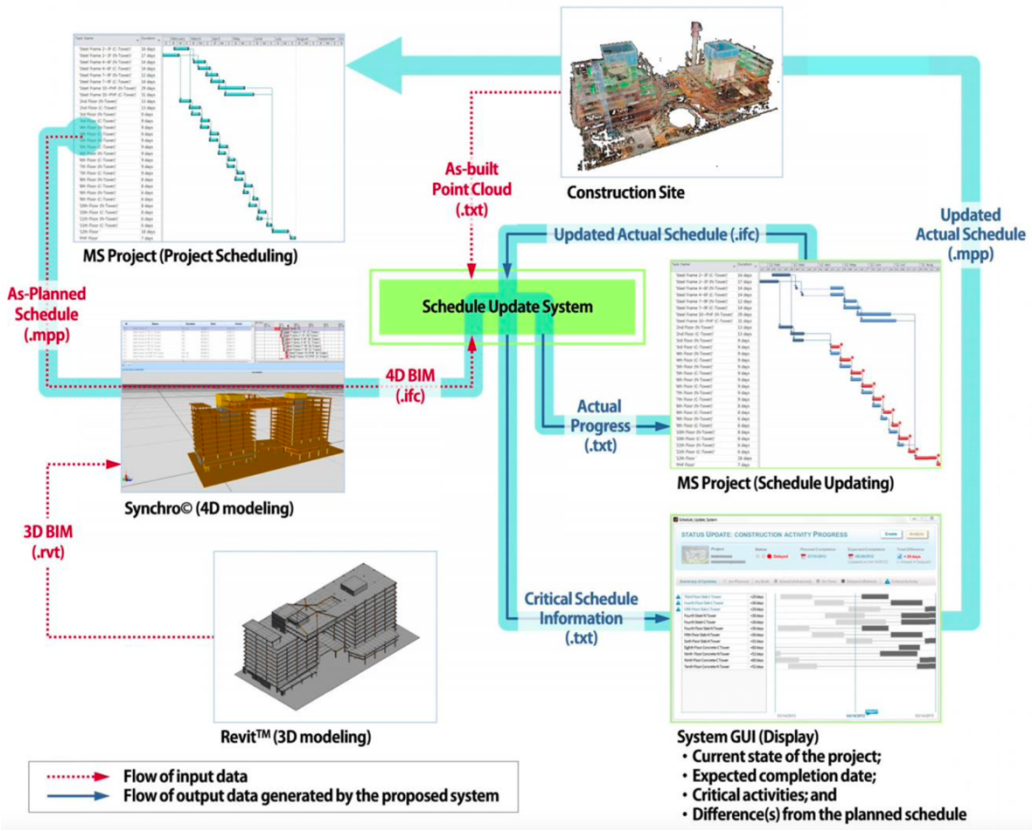


Fig. 37 - Sistematização do sistema utilizado para a atualização automática de prazos [4]

4.2.2. Aplicação à obra da Passagem superior de Águas Santas

Ora na obra em que se propõe a aplicação deste guia de implementação, a cronologia planeada aponta para uma duração de 5 meses, o equivalente a 150 dias de calendário, entre a consignação e a entrega da obra. Entre os trabalhos principais presentes no Mapa de Quantidades de Trabalhos (Anexo A1) que objetiva a execução da passagem superior pedonal, estão os seguintes [Fig. 38]:

- Realização dos trabalhos preparatórios de demolição das plataformas e acessos existentes, de modo a permitir a execução das fundações;
- Execução das microestacas;
- Execução dos maciços, fustes e vigas de fundação;
- Execução de caminhos de cabos e rede de terras definidos no projeto específico de instalações elétricas;
- Execução dos muros de prolongamento e alteamento das plataformas;
- Montagem da estrutura metálica das torres dos elevadores;
- Montagem dos pilares metálicos;
- Colocação da estrutura metálica da passagem superior previamente executada em período de interdição ferroviária, com corte de tensão;
- Montagem da estrutura metálica das escadas de acesso à passagem pedonal;
- Reposição dos pavimentos e revestimentos demolidos com eventuais ajustamentos às necessidades e cotas de projeto;
- Instalação dos elevadores e das armaduras de iluminação;
- Remoção da passagem de nível.

Tendo em conta as tarefas a realizar, a cronologia da obra da Passagem superior de Águas Santas deve ser traduzida num planeamento em MS Project de modo a conseguir lograr a atualização automática dos prazos, quando em comparação com a fiscalização dos avanços em tempo real conseguida através de drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução já analisados e implementados no ponto anterior.

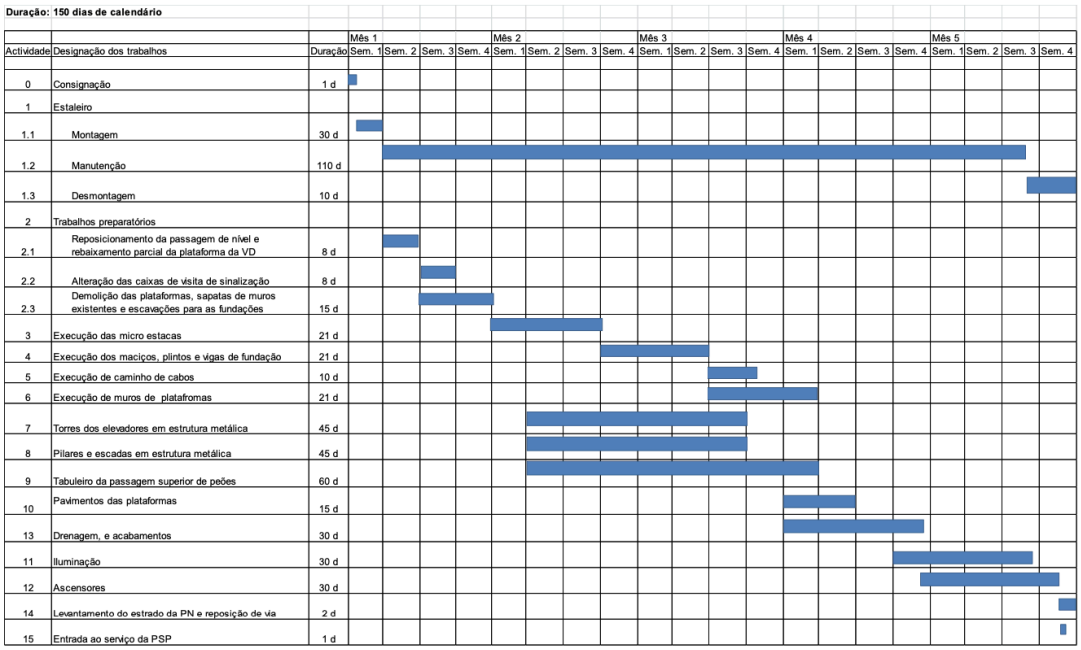


Fig. 38 – Cronologia das tarefas da obra da Passagem superior de Águas Santas

Através do software BIM 360 5D, é então possível gerar uma comparação entre os dados "As-Planned" resultantes do planeamento cronológico, dispostos no MS Project e presentes no sistema BIM, e os dados "As-Built" retirados por meio visual. Através dessa comparação, é possível produzir uma cronologia atualizada com diversas informações renovadas e aplicadas à atualidade, entre elas e de bastante importância o caminho crítico atualizado.

4.2.3. Análise crítica à utilização de MS Project associado à plataforma BIM para criar uma atualização de prazos automática no BIM 360 5D

Um dos maiores problemas no setor da Construção são os atrasos e os custos afetos a esses mesmo atrasos. Este problema estende-se a qualquer obra de Engenharia Civil independentemente da sua grandeza, e a obra da Passagem superior de Águas Santas não foge à regra.

Ora o maior avanço dos últimos anos na Engenharia Civil, e, na minha opinião, o futuro da Engenharia Civil, é a utilização de *Building Management Systems* e a concentração de informação numa só plataforma rumo ao conhecimento coletivo. Mas o BIM não se limita a manter o projeto e os desenhos, seja em CAD 2D ou em 3 dimensões, disponíveis a qualquer parte interessada. A 4ª dimensão deste sistema permite um controlo cronológico da obra, sendo talvez a caraterística mais importante do sistema.

Partindo do princípio que a empresa responsável pela obra da Passagem superior de Águas Santas já implementa BIM nos seus projetos, o que é cada vez mais comum e inclusive surge em diretivas em vários países para que as empresas de Engenharia Civil comecem a caminhar nesse sentido, é extremamente benéfico aos projetos da dita empresa utilizar todas as capacidades do sistema que implementam. Entre estas funcionalidades, está o BIM 360 5D.

No caso específico da obra em causa, esta tem um planeamento cronológico a 5 meses. Os trabalhos sobrepõem-se cronologicamente, como é notório no mapa de cronologia de tarefas presente nesta dissertação, dando aso a que atrasos num qualquer trabalho afetem os trabalhos subsequentes. Torna-se então fulcral lidar com essa informação em tempo real, de modo a evitar o chamado "atraso por desconhecimento".

A utilização de drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução para efeitos de monitorização da obra, que já apoiei para a obra em questão no ponto anterior e o volto a fazer aqui, permite conhecer os avanços reais e a qualidade dos trabalhos desenvolvidos. Essa informação elimina, ou diminui drasticamente, o desconhecimento. Ora, tendo disponível a informação cronológica planeada e o conhecimento do decurso cronológico real da obra, uma solução que atualize esse cronograma de tarefas automaticamente e ajude ao conhecimento coletivo daquilo que realmente se passa irá largamente beneficiar as partes envolvidas.

Os custos associados ao sistema para uma empresa de construção que já implementa BIM nos seus projetos são a compra do MS Project, que custa 25,30€ por mês, e o BIM 360 5D, ferramenta da Autodesk associada ao BIM, que custa 1247€/mês. É então necessário fazer uma análise de custo benefício ao sistema de modo a melhor entender se a solução irá justificar a sua implementação.

Ora, sendo que a sanção contratual mínima aplicada para um dia de atraso numa obra de Construção é de 1 ‰ do preço contratual [36], e que estamos a falar de uma obra na ordem dos milhões de euros, é justo concluir que o preço a pagar pela utilização do sistema de atualização automática de prazos com recurso ao MS Project e ao BIM 360 5D, equivalente a 6361,60€, irá ser compensado pela sua entrega num prazo múltiplos dias inferior àquele advindo da não utilização do sistema. Além dos custos relativos à aquisição de software, é necessário ainda formar engenheiros para que estes consigam eficazmente manipular os sistemas e recolher a informação relevante com destreza.

A formação nestes programas irá então transitar para outros projetos e capacitar os engenheiros de dados relativos a anteriores projetos. Deste modo, os profissionais terão a todas as ferramentas para alcançarem uma eficiência na leitura e adaptação de obras em tempo real que irá, imediatamente, melhorar a qualidade do produto final.

Eticamente, é necessário levantar a questão da transparência. Embora o sistema tome decisões imparciais e informadas, o utilizador poderá sentir-se intitulado e mais conhecedor do projeto e desligar o sistema automatizado. É muito importante que tal não aconteça, pois a informação não ficando gravada localmente irá recorrer a uma nuvem exterior para registar informação, comprometendo a segurança.

Assim sendo, é minha conclusão que a utilização do sistema de atualização automática de prazos com recurso ao MS Project e ao BIM 360 5D é uma decisão sensata, informada e benéfica. Esta utilização irá evitar perdas financeiras significativas, repetição de trabalhos e desinformação quanto ao momento atual dos mesmos.

Para mais, é aberto o caminho da inovação à empresa de Engenharia Civil, progredindo os seus profissionais no tempo e mostrando-lhes novas e melhores possibilidades no setor. Considero que se trata de um passo decisivo na utilização de tecnologia em prol da melhoria contínua de processos no setor da Construção.

4.3. UTILIZAÇÃO DE SENSORES ARDUINO NA ESTABILIZAÇÃO DE PLATAFORMAS DE ELEVAÇÃO

4.3.1. Proposta de Guia de Implementação

A proposta para a implementação de sensores Arduino nas colunas das estruturas de elevação, nomeadamente andaimes, baseia-se no treino de um algoritmo SVM para deteção das condições de estabilidade da plataforma segundo quatro categorias. Estas categorias são segura, a capotar, em sobrecarga e assentamento irregular. De modo a implementar este sistema, é necessário percorrer 4 passos:

- 1º Passo – Montar uma estrutura de elevação e analisar a plataforma segundo diferentes situações de carga;
- 2º Passo – Submeter os resultados da análise a uma base de dados para o processo de aprendizagem;
- 3º Passo – Obtenção dos parâmetros de atualização para classificação dos casos de estudo a alimentar à ferramenta de Machine Learning SVM;
- 4º Passo – Cálculo das condições de estabilidade das estruturas de elevação em tempo real pelo algoritmo SVM.

De modo a obter dados suficientes para treinar a ferramenta de Machine Learning, é necessário gerá-los através de testes práticos em todas as situações que poderão ocorrer na estrutura. Para o efeito, e de modo a gerar uma quantidade grande de informação, testam-se 300 casos para cada uma das quatro categorias, obtendo um total de 1200 casos de estudo. De modo a conseguir obter as condições para cada uma das categorias, foi considerada uma estrutura como:

- Segura – não excede os 400 kgf aplicados em sobrepeso, ou o equivalente a 366 quilogramas por metro quadrado aplicados uniformemente sobre a superfície;
- Em Sobrecarga – o peso excede os 400 kgf aplicados na superfície;
- A Capotar – para simular este efeito, duas colunas consecutivas são levantadas por uma empilhadora, em menos de 5 cm;
- Assentamento Irregular – para simular este efeito, uma das colunas é levantada em menos de 5 cm.

Os valores medidos pelos sensores Arduino são representados em με. Esta análise permite obter uma amostra compreensiva de dados baseada unicamente na deformação elástica da estrutura.

De seguida, é utilizada uma ferramenta de Machine Learning, o *Support Vector Machine*, para obter uma classificação das condições da estrutura. O SVM é um modelo de classificação binário que formula um plano para separar os dados em dois grupos através da seguinte função:

$$f\,(i)\,(x) = \boldsymbol{\omega}\mathrm{T}\boldsymbol{x}\,(i) + b = 0, \tag{1}$$

em que $x\,(i)$ é o vetor definidor de ordem i, e o $\boldsymbol{\omega}$ e o b são parâmetros de atualização. Depois, a classificação é feita por associar a função f(x) a uma função sigmóide, assim fica:

$$h(x\,(i)) = g(\boldsymbol{\omega}\mathrm{T}\boldsymbol{x}\,(i) + b) = 1/(1+e^{-(\boldsymbol{\omega}\mathrm{T}\boldsymbol{x}\,(i)+b)}), \tag{2}$$

onde g é a função sigmóide. Dado que os resultados de uma função sigmóide variam entre 0 e 1, uma função de classificação pode ser aplicada para categorizar os resultados em y $(i) \in \{1,-1\}$, como é demonstrado:

$$\mathrm{y}^{(\mathrm{i})} = \begin{cases} 1 \;if\; h\left(x^{(i)}\right) \geq 0.5 \\ -1 \;if\; h\left(x^{(i)}\right) < 0.5' \end{cases}. \tag{3}$$

Sendo todos os conjuntos de dados classificados num plano unidimensional, é necessário separar cada categoria, e os respetivos conjuntos de dados, através de margens. Estas margens são definidas por:

$$\max_{r,\boldsymbol{\omega},\mathrm{b}} \frac{r}{\|\boldsymbol{\omega}\|_2} \quad \text{em que} \quad \mathrm{y}^{(i)}\left(\boldsymbol{\omega}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{x}^{(i)} + b\right) \geq r, \tag{4}$$

para todos os conjuntos de dados i.

Utilizando estas equações para um classificador binário, uma categoria é classificada. Para classificar as quatro categorias, é utilizado o método OVA, simplificando significa "um contra todos", extraindo-se assim os parâmetros otimizados para as quatro categorias [Fig. 39]. O resultado da classificação ficará nos moldes daquele conduzido pelos estudos de Cho et al., demonstrado de seguida para quatro conjuntos de dados associados a cada uma das condições.

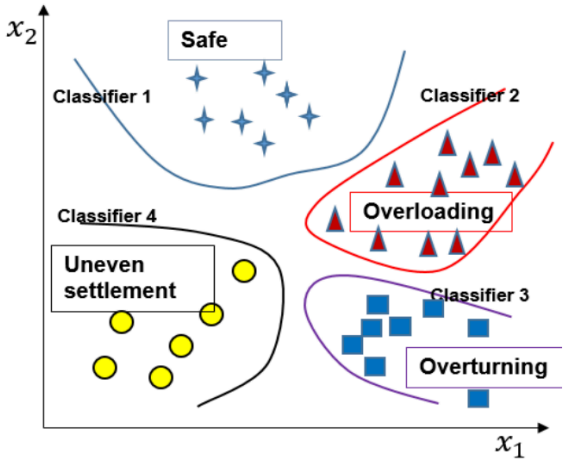


Fig. 39 – Exemplo da apresentação dos dados resultantes das equações para aplicação do SVM [17]

4.3.2. Aplicação à obra da Passagem superior de Águas Santas

Relativamente à obra à qual se propõe aplicar esta metodologia, será necessário testar as condições de estabilidade em tempo real das estruturas em ambiente real da obra a decorrer. Para o efeito, são colocados sensores de deformação Arduino em todas as colunas montadas para efeito de elevação de trabalhadores e material.

Este processo é bastante direto visto já termos acesso a uma base de dados compreensiva das condições possíveis e os respetivos parâmetros. Cabe então à ferramenta de Machine Learning *Support Vector Machine* classificar as estruturas segundo a condição real.

De modo a garantir o correto funcionamento da ferramenta, uma fiscalização humana deve ser conduzida durante as primeiras utilizações para verificar se os resultados em tempo real são consistentes com a análise visual. Após a verificação das condições calculadas pelo SVM e aquelas aferidas pela fiscalização, deve ser calculada a percentagem de Precisão da ferramenta.

Os parâmetros para avaliação da Precisão são:

- TP - Positivo Verdadeiro;
- FP - Positivo Falso;
- TN - Negativo Verdadeiro;
- FN – Negativo Falso;

E assim, a fórmula para o cálculo da Precisão é:

$$\text{Precisão} = \frac{\text{TP} + \text{TN}}{\text{TP} + \text{TN} + \text{FP} + \text{FN}} \times 100 \quad (5)$$

Uma Precisão acima dos 90% irá garantir às estruturas uma fiabilidade nunca antes atingida, permitindo reduzir o número de acidentes no local da obra. O cálculo deste parâmetro deve ser conduzido periodicamente para garantir que o sistema não está a oferecer grandes flutuações, e os dados recolhidos em todas as medições deverão ser adicionados ao sistema para uma melhoria continua do mesmo.

4.3.3. Análise crítica à utilização de sensores Arduino na estabilização de plataformas de elevação

A implementação e regular uso de sensores de deformação elástica e treino de um algoritmo de Machine Learning, nomeadamente o SVM, para garantir uma aprendizagem contínua do sistema e uma análise automática das condições de segurança é, na minha opinião, um avanço importante na matéria de segurança em obra. A sua utilização traz inúmeros benefícios, já discriminados anteriormente, a um preço residual e com a utilização de uma fórmula de fácil implementação.

Na obra específica da obra da Passagem superior de Águas Santas, em que duas torres elevatórias de altura considerável serão construídas e montadas, assim como uma estrutura metálica a vários metros do nível do solo, a utilização do sistema tem utilidade redobrada. É mais importante que nunca avançar a indústria em matéria de segurança, e ter uma solução de baixo custo para uma atividade de elevado risco é uma adição bem vinda ao setor.

Dada a altura da torre elevatória, de 10.80 metros, esta terá ligação por um andaime durante todo o decurso da sua construção. Com a sua largura de 2.15 metros, esta poderá facilmente ser acedida por um único andaime. Assim, após treinado o SVM, a instalação dos sensores Arduino de deformação elástica em cada uma das quatro colunas da plataforma de elevação irá reduzir drasticamente o perigo associado a quedas e acidentes. Para mais, a sua presença irá mapeá-los e melhor demonstrar ao empreiteiro como estão montadas todas as plataformas de elevação lançadas em obra.

A passagem pedonal superior, por sua vez, será construída ao nível do solo, em fábrica, e será apenas transportada para o local e içada para a sua posição final através de uma empilhadora ou grua. As placas laterais, no entanto, poderão também usufruir desta segurança associada às plataformas de elevação, visto que serão um dos últimos elementos a ser colocado e, já posteriormente à colocação correta da passagem superior nos pórticos metálicos que irão segurar a estrutura e garantir a integridade estrutural da obra, serão objeto de trabalhos a vários metros de altitude [Fig. 40].

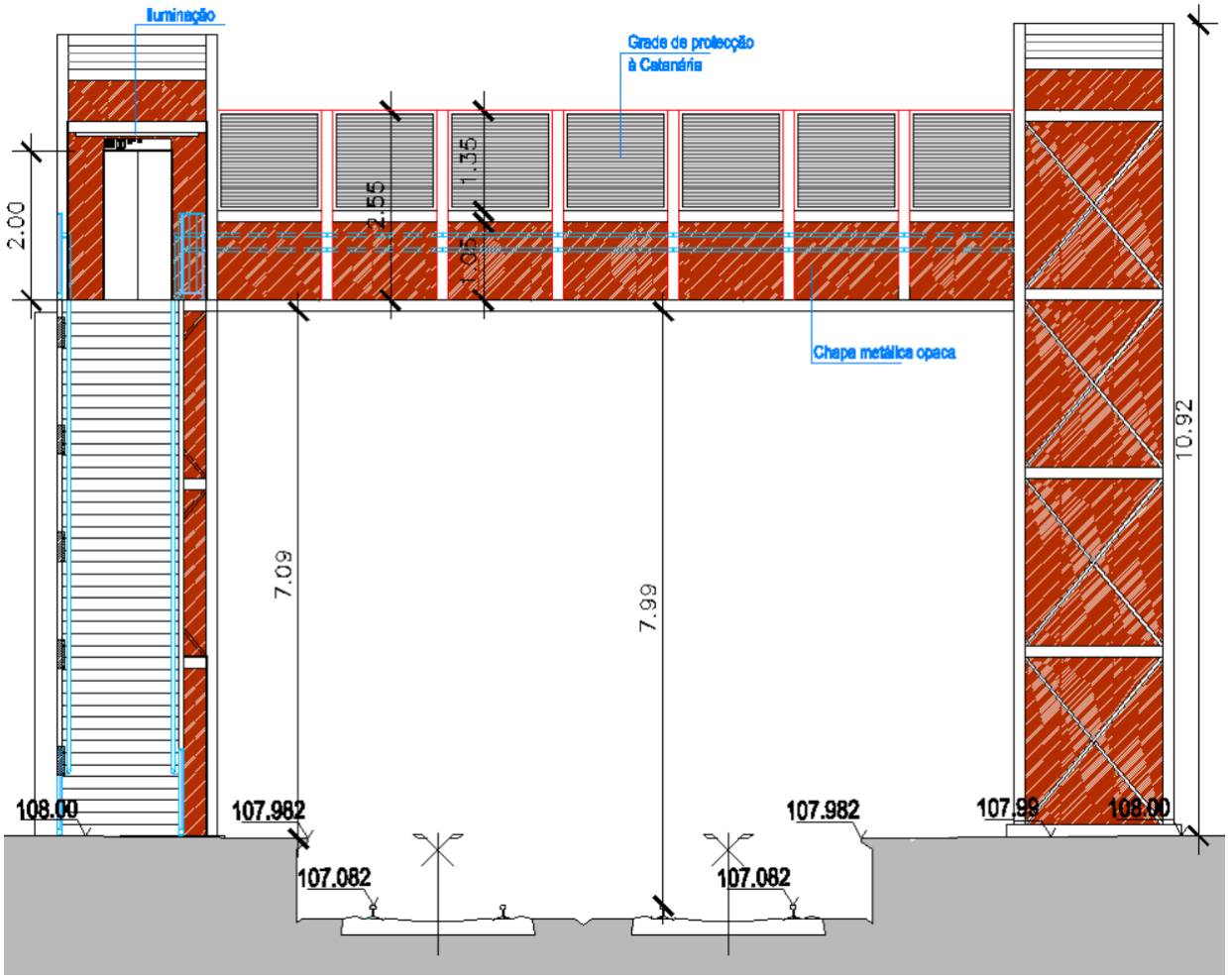


Fig. 40 – Corte frontal da estrutura final, com todos os elementos devidamente posicionados

Assim, o empreiteiro sairá beneficiado, pois evitará custos associados a lesões e atrasos na construção. O dono de obra e os investidores saem beneficiados exatamente devido a essa prevenção de atrasos no decurso normal da obra. Já os trabalhadores, os maiores beneficiados se tivermos em consideração que a saúde vem antes do dinheiro, irão evitar lesões danosas para a sua integridade física e para o sustento normal das suas famílias. Tudo isto é conseguido a um preço inferior a 100€, tornando esta solução um investimento que não deixa dúvidas acerca da sua natureza positiva.

Do ponto de vista ético, é necessário documentar e discriminar muito bem os termos de responsabilidade relativos à utilização deste sistema. Em caso de acidentes no local de uma obra que implementou o sistema de sensores nas plataformas de elevação, é necessário averiguar culpas. O algoritmo SVM poderá ter sido mal programado pelo seu programador principal, este poderá ter utilizado informação existente fornecida por uma entidade terceira, o que levanta essa mesma questão de impunidade, ou a incidência poderá ter ainda sido causada pela utilização irresponsável por parte dos trabalhadores envolvidos ou implementação errada por parte dos mesmos. É necessário ter todas estas possibilidades claramente detalhadas, os processos devidamente descritos e os sistemas fiscalizados de modo a evitar problemas de responsabilidade associados à utilização do sistema.

Em suma, trata-se de uma solução apropriada à obra da Passagem superior de Águas Santas, dados os seus trabalhos que envolvem a elevação de trabalhadores a uma altura considerável durante largos períodos de tempo. Os índices de segurança que o sistema irá trazer são um contrapeso decisivo face aos custos e logística associados à implementação do mesmo.

Nenhum outro sistema do meu conhecimento produz resultados tão instantâneos e decisivos no que toca à garantia estrutural da utilização de plataformas de elevação em obra. Este conforto na elevação a altitudes elevadas irá evitar fortes constrangimentos no normal decorrer da obra associados a acidentes, lesões e traumas.

4.4. UTILIZAÇÃO DE *BUILDING MANAGEMENT SYSTEMS* DE MODO A GARANTIR A SUSTENTABILIDADE E MANUTENÇÃO DA ESTRUTURA

4.4.1. Proposta de Guia de Implementação

Uma parte importante da utilização de BMS é a manutenção presente e futura do ambiente da obra que foi construída. De modo a fazer uma sugestão de implementação de *Building Management Systems*, a melhor forma de o fazer é para efeitos da instalação num sistema AVAC. Um sistema AVAC consiste na monitorização, controlo e automatização de todos os mecanismos associados ao calor, ventilação e ar condicionado.

O primeiro passo na implementação de um sistema AVAC é o cálculo da capacidade necessária. Tendo em conta que a obra em questão pode estar situada tanto no clima húmido e quente do Texas, EUA quanto no clima frio e seco de Moscovo, Rússia, é necessário quantificar as necessidades de refrigeração e aquecimento/arrefecimento de um espaço. Para o efeito, é necessário medir as diferentes divisões onde o sistema será instalado, tanto em comprimento como em largura e altura [Fig. 41]. A área da divisão será diretamente proporcional à capacidade de aquecimento/ar necessária.

Área a climatizar (square feet)	Capacidade necessária (BTU/hora)
100 a 150	5.000
150 a 250	6.000
250 a 300	7.000
300 a 350	8.000
350 a 400	9.000
400 a 450	10.000
450 a 550	12.000
550 a 700	14.000
700 a 1.000	18.000
1.000 a 1.200	21.000
1.200 a 1.400	23.000
1.400 a 1.500	24.000
1.500 a 2.000	30.000
2.000 a 2.500	34.000

Fig. 41 – Estimativa da capacidade necessária do sistema AVAC

O BTU é uma medida britânica para quantificação de energia. Esta corresponde à energia necessária para aquecer uma libra de água em um grau Fahrenheit. A conversão para Joule corresponde a 1 BTU = 1,055 Joule, a energia aproximada que é libertada através da queima de um fósforo.

Outras condições que irão limitar a quantidade de BTUs necessários para aquecer uma divisão sãos as seguintes:

- Ocupação média do espaço – consoante o número de pessoas que residem ou normalmente utilizam a divisão em questão, a quantidade de energia variará. Sendo que o corpo humano dissipa calor à atmosfera naturalmente, a maior utilização significará uma quantidade superior necessária de BTUs para arrefecer o espaço e inferior para o aquecer;
- Colocação do sistema – este deve estar colocado numa zona sombria do espaço de modo a não estar exposto diretamente à radiação solar, ou seja, normalmente nas paredes a Norte ou a Este. Esta exposição aumentará a temperatura envolvente do sistema, aumentando o consumo de BTUs;
- Cor da envolvente e da cobertura – as superfícies de cor mais escura irão absorver mais energia irradiada que as superfícies de cor clara. Até um telhado que foi escurecido pela sujidade se destaca nesta caraterística de um telhado recente, limpo e de cor clara;
- Uso do sistema – com o passar do tempo, a eficiência do sistema irá naturalmente decrescer, assim como a de qualquer outro aparelho doméstico.

Após a instalação do correto sistema AVAC, é ligado um microprocessador aos diferentes *hardwares* que comunicará a um computador central as condições climatéricas de cada divisão. A este computador ou nuvem central deve ser conectado um *interface* intuitivo, onde o utilizador sem experiência nem estudos de engenharia poderá controlar todos os *hardwares* ou automatizá-los remotamente para, por exemplo, manter todas as divisões a uns agradáveis 19º C mesmo perante todas as alterações.

Quanto à instalação das componentes do sistema BMS, os passos a seguir são:

- Instalar o software em unidades de controlo e torres de operação. Implementar todas as capacidades dos programas com os requerimentos específicos e apropriados à operação em questão;
- Conectar e configurar o equipamento e *software* para lograr a ligação entre operações;
- Verificar a localização de termostatos e outros sensores de controlo exposto nos desenhos de projeto e no local antes da instalação. Instalar os equipamentos 1,22 metros acima do nível do chão, ficando os seus regularizadores em condutas no interior da parede num padrão em zig-zag;
- Instalar proteções em todos os termostatos expostos ao público, como entradas, áreas públicas ou outras delineadas em projeto;
- Instalar amortecedores automáticos de acordo com os desenhos de projeto;
- Instalar motores de amortecimento no exterior da conduta em zonas quentes, nunca em zonas expostas à temperatura exterior;
- Instalar etiquetas e placas de identificação para identificar as diferentes componentes de acordo com as especificações de projeto;
- Instalar poços e válvulas hidráulicas e de refrigeração, assim como outros acessórios, de acordo com as especificações de projeto;
- Instalar amortecedores de controlo de volume em condutas de acordo com os desenhos e especificações de projeto;
- Instalar cabos elétricos e de fibra ótica de acordo com os desenhos e especificações de projeto.

Já os testes de inspeção a conduzir para a verificação dos BMS segundo padrões otimizados de segurança são os seguintes:

- Teste operacional: Após correr eletricidade pelos circuitos, iniciar os sistemas de modo a verificar o seu normal funcionamento;
- Testar e ajustar os controlos de segurança;
- Teste de fugas: Após a instalação, energizar a rede e testar para a possível existência de fugas. Reparar as ditas fugas e voltar a testar até não permanecer nenhuma;

- Testar a calibração dos controladores elétricos ao desligar os sensores de *input* e estimular a operação com um gerador de sinal compatível;
- Testar cada sistema para o seu funcionamento com a sequência de operação;
- Testar os *interfaces*, tanto o seu *software* como o *hardware*.

No que toca aos sensores de humidade e controlo de dióxido de carbono presente na atmosfera, o seu controlo deve ser feito da seguinte forma:

- Configurar as definições de *input/output* no programa DDC, um programa de controlo digital direto de sistemas para controlo da atmosfera;
- Fazer *download* do programa DDC para o controlador DDC;
- Verificar os sensores de temperatura e humidade exterior nos gráficos BMS;
- Verificar a temperatura do ar fornecido nos gráficos BMS;
- Verificar a temperatura das condutas nos gráficos BMS;
- Verificar a operação dos atuadores de válvula de acordo com as temperaturas definidas;
- Verificar o nível do sensor de C02 e o *feedback* nos gráficos BMS.

4.4.2. Aplicação à obra da Passagem superior de Águas Santas

Perante a obra na qual se pretende implementar estes *Building Management Systems*, e sendo que se trata de uma obra de reduzida escala, só existem três espaços distintos: as escadas, os elevadores e a passagem superior pedonal. Sendo que as escadas não requerem qualquer estrutura adicional e a passagem superior pedonal apenas é tapada por uma chapa lateral e, portanto, exposta aos elementos envolventes, a implementação destes sistemas é proposta apenas para os espaços dos dois elevadores [Fig. 42].

Assim, para os elevadores, deve ser instalado um sensor com captação de temperatura e humidade em cada um, de modo a manter a climatização adequada e a qualidade do ar intacta. Deve ainda ser colocada uma conduta e respetiva válvula com controlador no interior da caixa elevatória, entre esta e o mecanismo ou na zona inferior, para que através de um microprocessador essa informação captada pelo recetor (sensor) seja comunicada ao computador central para que a ajuste de acordo com as suas necessidades, inclusive de forma automatizada se assim for desejado e projetado.

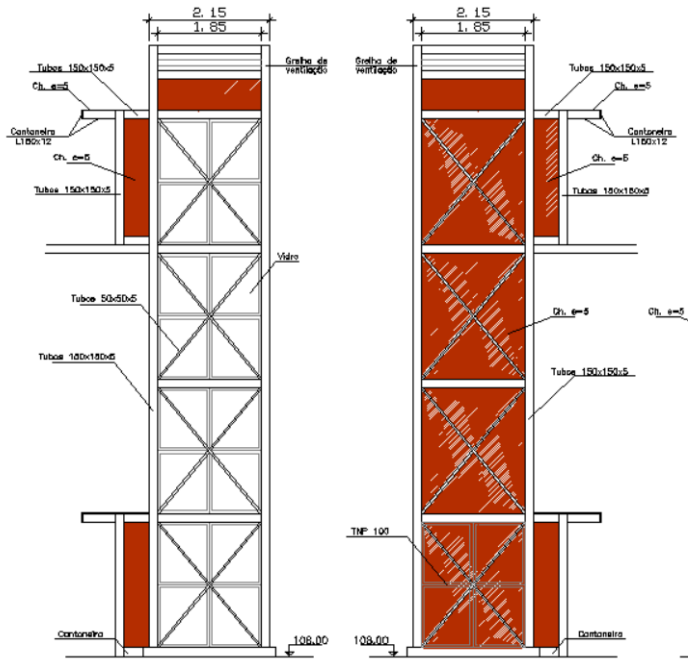


Fig. 42 – Desenho da caixa elevatória projetada para a Passagem superior de Águas Santas em duas vistas

4.4.3. Análise crítica à utilização de *Building Management Systems* de modo a garantir a sustentabilidade e manutenção da estrutura

Tendo analisado a possibilidade de implementar um conjunto de *Building Management Systems* na obra da Passagem superior de Águas Santas, chegou-se à conclusão de que esta implementação não se justifica para a obra em questão. Os BMS são melhor utilizados em obras de habituação ou de ambiente empresarial, onde as suas capacidades podem ser devidamente exploradas em várias divisões isoladas do ambiente exterior.

A obra da Passagem superior de Águas Santas não apresenta a necessidade de congregar espaços e unir os seus ambientes através de uma rede de controlo. Trata-se de uma obra com três elementos distintos, em que a passagem superior pedonal está exposta aos elementos, as duas escadarias igualmente, e apenas o elevador e a respetiva torre elevatória são espaços fechados com climatização e atmosfera próprias.

Assim sendo, no que toca às escadas e à passagem pedonal superior, os únicos aspetos que poderão ser atraentes de uma perspetiva de implementação dos BMS seria a iluminação e a rede de segurança (câmaras de vigilância), sendo que, pelos custos associados ao controlo, associação e automatização destes sistemas, não se torna uma opção atraente.

Uma opção mais em conta, e que seria a minha sugestão para os espaços, seria um sistema de iluminação programado para funcionar entre as 17h30 e as 8h no Inverno, entre as 20h e as 7h no Verão e entre as 18h e as 7h30 na Primavera e no Outono. Segundo os dados fornecidos pelo WeatherSpark [37] [Fig. 43], esta automatização deverá garantir a iluminação, solar ou elétrica, durante todo o dia.

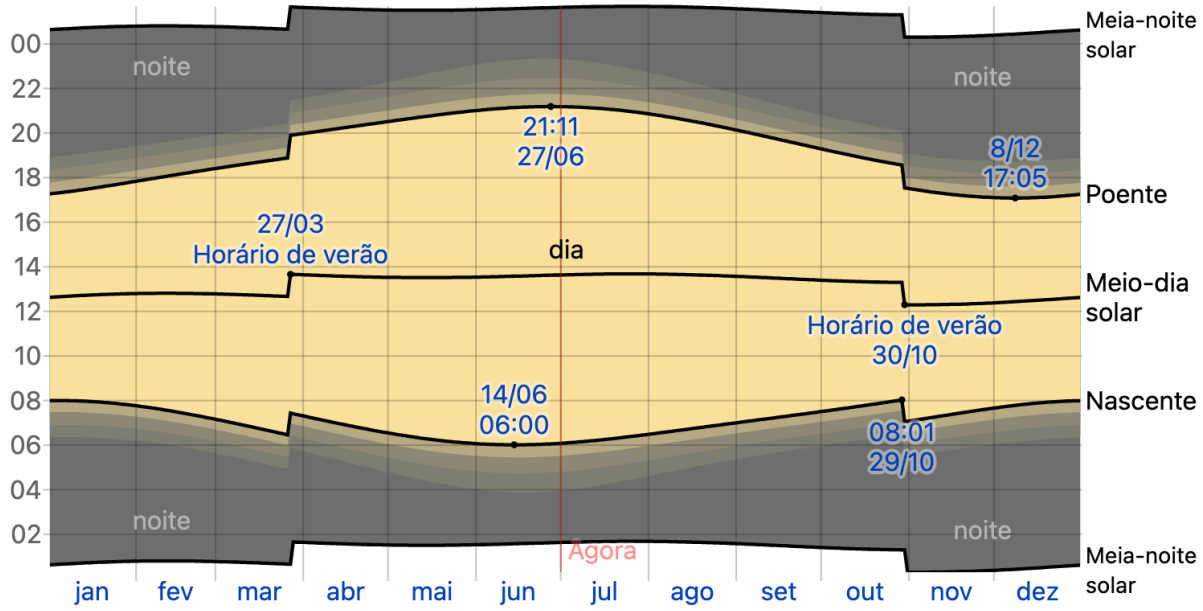


Fig. 43 – Dia solar durante o ano de 2022 em Águas Santas, segundo dados do WeatherSpark [37]

Já a climatização pode ser assegurada nos elevadores através de sistemas básicos de ar condicionado separados em cada um dos aparelhos. A manutenção dos elevadores ficará então a cargo de uma empresa contratada, que gerirá a iluminação, climatização e segurança a seu belo prazer, retirando este fardo das mãos do empreiteiro aquando da entrega da obra.

Mais uma vez, do ponto de vista ético, a questão da segurança dos equipamentos levanta-se. É necessário assegurar que o controlo dos sistemas se mantém completamente no domínio local, de modo a evitar que alguma entidade maligna tome posse, controlando os elevadores ou acedendo às câmaras de segurança. Para o efeito, barreiras de segurança com identificação visual ou informação pessoal da entidade responsável devem ser criadas para garantir a segurança e coesão do sistema.

A utilização de *Building Management Systems* é, então, algo que não recomendo para esta obra especificamente. Apesar das suas inúmeras vantagens em ambientes controlados e de acesso rotineiro por parte dos utilizadores, no caso da Passagem superior de Águas Santas seriam supérfluos, tornando o seu investimento um custo desnecessário ao bom funcionamento da estrutura.

6
CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

O trabalho desenvolvido teve como objetivo analisar as diferentes soluções e avanços no campo da utilização de Machine Learning quando implementados em casos de estudo no setor da Construção, entender a sua funcionalidade e as ramificações associadas, de modo a propor um guia de implementação dos mecanismos que, no meu entender, melhor funcionarão no sentido de avançar e melhorar a indústria da Engenharia Civil.

Ao longo da investigação, foi possível entender que o ML se pode estender a vários aspetos da obra, desde segurança a deteção de patologias na construção, melhorias na sustentabilidade e manutenção da obra, calendarização de tarefas, gestão de custos e treino de profissionais. Trata-se de um conjunto de ferramentas com inúmeras aplicabilidades que têm vindo a ser exploradas na Engenharia Civil e que discriminei na minha dissertação, analisando os custos associados, necessidades de formação e resultados benéficos da sua utilização apropriada. Com o conhecimento adquirido pela minha investigação, propus-me a implementar as soluções mais benéficas analisadas a uma obra real em Portugal, a obra da Passagem superior de Águas Santas.

Foi, então, possível concluir que as aplicações mais significativas e de elevado custo-benefício prendem-se com o ramo da segurança em obra. Dentro desta categoria, destaco a monitorização do ambiente da obra através de drones munidos de sensores LiDAR e câmaras de alta resolução e a localização de trabalhadores e equipamentos através de dispositivos RFID. Ambas, assim como a utilização de SVM na estabilização de andaimes, apresentam resultados claros na mitigação de incidentes na construção, tornando-se decisivos na preservação da segurança e sistemas eficazes na atenuação de atrasos e desvios orçamentais no projeto.

É também de salientar o papel do BIM 360 5D, quando associado ao MS Project, na gestão cronológica de tarefas e conhecimento coletivo por parte de todos os elementos envolvidos. Trata-se de um sistema que poderá ser aplicado de forma eficiente a qualquer obra de construção, independentemente do seu tamanho ou duração, e que apresenta um rácio de custo-benefício satisfatório. Aos meus olhos, este sistema faz parte do caminho para a automatização do setor, visto que traz não só uma atualização cronológica constante dos trabalhos como também uma visão real da comparação entre os trabalhos planeados e os trabalhos executados a qualquer dado momento.

Uma outra vertente ainda onde o ML demonstra resultados prometedores é na criação de jogos de realidade virtual baseados em sistemas ciber-físicos. Estes sistemas têm demonstrado enorme promessa, sendo que optei por não os explorar ostensivamente nesta dissertação pois não iriam poder ser aplicados à obra em questão, visto que são melhor utilizados numa fase anterior à de construção. Para mais, estes justificam uma investigação mais objetiva e pormenorizada dada a quantidade de possibilidades que apresentam, sendo esta desajustada ao cômputo mais alargado de soluções que me propus a abordar nesta tese.

É necessário, além de fazer uma análise ao funcionamento dos sistemas de Machine Learning utilizados assim como à sua praticidade e lógica dos pontos de vista financeiro e temporal, debruçarmo-nos ainda sobre as implicações éticas que a implementação destes sistemas terá no ambiente da obra. Para o efeito, existem diretivas impostas pelo *Web Machine Learning Working Group*, grupo este que

lista um conjunto de princípios éticos [38] a seguir, assim como formas de o lograr através de considerações gerais assim como medidas concretas. Este documento é considerado na dissertação e de grande importância para gerir os impactes negativos desta forma de inteligência artificial e maximizar os seus benefícios à indústria.

Concluindo, a investigação e análise produzidas ao longo desta dissertação demonstram, de forma clara e justificada, que existe uma crescente importância no uso de ferramentas de Machine Learning no setor da Engenharia Civil e da Construção. O desenvolvimento das mesmas permite uma evolução em diversas componentes da obra, avançando alguns dos processos rudimentares atuais e trazendo a Engenharia Civil para a vanguarda tecnológica. A adaptação poderá ser desafiante, e as mentalidades difíceis de mudar, mas considero que através do trabalho desenvolvido consegui demonstrar de uma forma prática, devidamente fundamentada, aplicada e implementada que os proveitos a colher da adaptação para alguns destes sistemas irá, a médio e a longo prazo, justificar o caminho percorrido.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após as observações e conclusões retiradas ao longo desta dissertação, constata-se que o Machine Learning apresenta inúmeras possibilidades ao desenvolvimento gradual da indústria da Engenharia Civil e da Construção, das quais se destacam as quatro previamente implementadas. De modo a desenvolver a investigação e os métodos propostos num trabalho futuro, estes sistemas devem ser implementados em diferentes obras do setor e o seu progresso acompanhado e devidamente registado.

Porque se trata de uma indústria tão prática, onde muitas vezes a decisão rápida e a mudança constante se sobrepõem ao planeamento, é necessário ver estes sistemas em funcionamento no dia a dia de várias obras reais de modo a conseguir criar um padrão de melhoria. Apenas entendendo os desafios que a implementação dos mecanismos visados poderá transpirar no local de obras com caraterísticas variáveis e distintas, registando esses acontecimentos e os dados recolhidos, e adaptando os sistemas se poderá conseguir harmonizá-los. Sendo a automatização um avanço tecnológico relativamente recente, a melhoria terá de ser contínua e sustentada.

Destaca-se ainda os possíveis avanços a verificar na utilização de Machine Learning no treino de sistemas cíber-físicos adaptados ao treinos de profissionais da construção. Considero que se trata de uma aplicação com um grande potencial de desenvolvimento que trará enormes benefícios à qualificação da mão de obra, que poderá desenvolver as suas capacidades assim como posições adequadas em diferentes especialidades no ambiente laboral. Deste modo, quando certas dificuldades ou perigos se apresentarem em obra, os formandos terão conhecimento prévio acerca da melhor forma de lidar com estes acontecimentos tendo já estado expostos a essas mesmas condições sem os riscos associados.

A utilização de Machine Learning na indústria da Engenharia Civil e da Construção está apenas a começar. As ferramentas tornar-se-ão mais precisas e os sistemas mais sofisticados, e cabe ao Engenheiro Civil ser capaz de se manter atualizado e entender que não se pode evoluir ao ignorar o desafio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Tixier, A., Hallowell, M., Rajagopalan, B. e Bowman, D. (2016). *Application of machine learning to construction injury prediction*, **Automation in Construction**, 01/09/2016, 102-114, Miroslaw J. Skibniewski, 14/11/2021.

[2] Kim, E., Ji, H., Kim, J. e Park, E. (2021). *Classifying apartment defect repair tasks in South Kore: a lachine learning approach*, **Journal of Asian Architecture and Building Engineering**, 19/10/2021, Xilin Lu, Seul, 12/12/2021.

[3] Ellis, G. (2022). ***How Machine Learning Is Making Construction More Human***, Digital Builder, https://constructionblog.autodesk.com/machine-learning-construction/, 04/01/2022.

[4] Son, H., Kim, C. e Cho, Y (2017). *Automated Schedule Update using As-Built Data and 4D Building Information Model*, **ASCE Journal of Management in Engineering**, 01/07/2017, Young Hoon Kwak, Washington, 06/01/2022.

[5] Park, J., Kim, K., e Cho, Y. (2016). *Framework of Automated Construction-Safety Monitoring using Cloud-enabled BIM and BLE Mobile Tracking Sensors*, **ASCE Journal of Construction Engineering and Management,** 01/02/2017, Jesus M. de la Garza, Washington, 06/01/2022.

[6] GhaffarianHoseini, A., Zhang, T., Nwadigo, O., GhaffarianHoseini, A., Naismith, N., Tookey, J. e Raahemifar, K. (2017). *Application of nD BIM Integrated Knowledge-based Building Management System (BIM-IKBMS) for inspecting post-construction energy efficiency*, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 01/05/2017, Aoife Foley, London, 08/01/2022.

[7] Hwang, J., Kim, J., Chi, S. e Seo, J. (2022). *Development of Training Image Database using Web Crawling for Vision-based Site Monitoring*, **Automation in Construction,** 01/03/2022, Miroslaw J. Skibniewski, 11/01/2022.

[8] Huang, L., Pradhan, R., Dutta, S. e Cai, S. (2022). *BIM4D-based scheduling for assembling and lifting in precast-enabled construction*, **Automation in Construction**, 01/01/2022, Miroslaw J. Skibniewski, Singapura, 20/01/2022.

[9] Szewczyk, B. e Radziszewska-Zielina, E. (2020). *IT-based control and assessment of partnering relations in construction projects*, **Automation in Construction**, 01/08/2020, Miroslaw J. Skibniewski, Cracóvia, 04/02/2022.

[10] Tsay, Y., Yeh, C., Chen, Y., Lu, M. e Lin, Y. (2021). *A Machine Learning-Based Prediction Model of LCCO2 for Builidng Envelope Renovation in Taiwan*, **Sustainability,** 22/07/2021, Marc A. Rosen, Taiwan, 06/02/2022.

[11] Sierla, S., Pourakbari-Kasmaei, M. e Vyatkin, V. (2022). *A taxonomy of machine learning applications for virtual power plants and home/building energy*, **Automation in Construction**, 01/04/2022, Miroslaw J. Skibniewski, Washington, 11/04/2022.

[12] Gagliordi, N. (2019). ***Autodesk previews Construction IQ, a machine learning service for job site safety*****,** https://www.zdnet.com/article/autodesk-previews-construction-iq-a-machine-learning-service-for-job-site-safety/, 26/02/2019, 13/04/2022.

[13] Caso de Estudo da Lettire Construction no site oficial da Triaxtec (https://www.triaxtec.com/wp-content/uploads/2020/04/LettireConstruction-CaseStudy.pdf). 06/02/2022, 22/04/2022.

[14] Saurabh, L. (2018). ***Introducing Artificial Intelligence for Construction Productivity*****,** https://medium.com/@doxel/introducing-artificial-intelligence-for-construction-productivity-38a74bbd6d07, 24/01/2018, 02/05/2022.

[15] Valpeters, M., Kireev, I. e Ivanov, N. (2018). *Application of machine learning methods in big data analytics at management of contracts in the construction industry*, International Science Conference SPbWOSCE-2017 "Business Technologies for Sustainable Urban Development" (Ilin, I. e Kalinina, O.), 20/12/2017-22/12/2017, National Research Tomsk Polytechnic University, 01106, **MATEC Web of Conferences**, Moscovo, 12/05/2022.

[16] Jafari, P., Mohamed, E., Pereira, E., Kang, S. e Abourizk, S. (2019). *Leading Safety Indicators: Application of Machine Learning for Safety Performance Management*, **36th International Simposium on Automation and Robotics in Construction** (Al-Hussein, M.), 21/05/2019-24/05/2019, Banff Alberta, 501-506, University of Alberta, Alberta, 12/05/2022.

[17] Cho, C., Park, J., Kim, K. e Sakhakarmi, S. (2018). *Machine Learning for Assessing Real-Time Safety Conditions of Scaffolds*, **36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction** (Teizer, J., König, M. e Hartmann, T.), 20/07/2018-25/07/2018, 56-63, Humboldthain campus, Berlin, 14/05/2022.

[18] Zima, K. (2015). *The Case-based Reasoning Model of Cost Estimation at the Preliminary Stage of a Construction Project*, **Procedia Engineering,** 57-64, Oleg Kaplinski, Cracóvia.

[19] Sawhney, A., Riley, M. e Irizarry, J. (2020). ***Construction 4.0 – An Innovation Platform for the Built Environment.*** Routledge, Nova Iorque, 15/05/2022.

[20] Witten I.H., Frank E., Hall M.A. e Pal C.J (2016). *Data mining: Practical machine learning tools and techniques*, Morgan Kaufmann Publishers, Burlington, Massachusetts, 15/05/2022.

[21] Site oficial da MonkeyLearn (https://monkeylearn.com/pricing/). 21/05/2022.

[22] Site oficial da Arduino, Página do Arduino Sensor Kit Bundle (https://store.arduino.cc/products/arduino-sensor-kit-bundle?utm_medium=product_page&utm_source=store). 23/05/2022.

[23] Castro, J. (2020). *Análise Extensométrica com Arduino*, **18º Congresso Nacional de Iniciação Científica** (Capelato, R.), 30/11/2018-01/12/2018, Universidade Paulista, São Paulo, 23/05/2022.

[24] Site oficial da Autodesk, página do produto Revit (https://www.autodesk.pt/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription). 23/05/2022.

[25] Site da Method Statement HQ (https://methodstatementhq.com/method-statement-for-installation-of-bms-building-management-system.html). 25/05/2022.

[26] Mulakala, J. (2019). ***Measurement Accuracy of the DJI Phantom 4 RTK & Photogrammetry*, Drone Deploy** (https://www.gim-international.com/files/23b0ad77f81a0aa56e8c83f8c4300270.pdf), 04/ 04/2022, 30/05/2022.

[27] Site oficial da DJI, Secção de Specs (https://www.dji.com/pt/matrice-300/specs). 04/04/2022.

[28] Site oficial da Siemens (https://new.siemens.com/global/en/products/buildings/hvac.html). 31/05/2022.

[29] Site oficial da Domótica Sgta (http://www.domotica.pt/indexING.php). 31/05/2022.

[30] Site oficial da Ten Six Consulting, **Using the Network Diagram in Microsoft Project** (https://tensix.com/using-the-network-diagram-in-microsoft-project/). 28/07/2022.

[31] Site oficial da BimPortale, **La pianificazione BIM 4D e il Virtual Design nella gestione di commessa com Synchro PRO** (https://www.bimportale.com/la-pianificazione-bim-4d-virtual-design-nella-gestione-commessa-synchro-pro/). 28/07/2022.

[32] Site oficial da Wingtra, **Drone photogrammetry vs LiDAR: what sensor to choose for a given application** (https://wingtra.com/drone-photogrammetry-vs-lidar/). 28/07/2022

[33] Site oficial da Wingtra, **Why and how to use drones in construction and infrastructure** (https://wingtra.com/drone-mapping-applications/drones-in-construction-and-infrastructure/). 28/07/2022

[34] Duarte, A. (2021). ***Utilização de drones: atenção ao novo Regulamento Euopeu*,** E-konomista (https://www.e-konomista.pt/utilizacao-de-drones/), 18/08/2021, 02/06/2022.

[35] Site oficial da Associação Nacional de Aviação Civil (https://www.anac.pt/vPT/Generico/drones/categoria_especifica/Paginas/CategoriaEspecifica.aspx). 04/06/2022.

[36] Base de Dados Jurídica - Formulário de Caderno de Encargos Relativo aos Contratos e Empreitadas de Obras Públicas (http://bdjur.almedina.net/citem.php?field=item_id&value=1445278). 04/06/2022.

[37] WeatherSpark – Clima e condições metereológicas médias e Águas Santas no ano todo (https://pt.weatherspark.com/y/32493/Clima-caracter%C3%ADstico-em-%C3%81guas-Santas-Portugal-durante-o-ano). 02/07/2022.

[38] Fletcher, J. e Kostiainen, A. (2022). *Ethical Principles for Web Machine Learning*. 28/06/2022. W3C Group Draft Note (https://www.w3.org/TR/2022/DNOTE-webmachinelearning-ethics-20220628/#responsibility-and-accountability). 13/07/2022.

GLOSSÁRIO

Artificial Intelligence (AI): inteligência artificial, define-se como a capacidade de dispositivos eletrónicos de processar de forma similar ao pensamento humano.

Bag-of-Words (BoW), Term Frequency-Inverse Document Frequency (TF-IDF): métodos de análise linguística e extração de caraterísticas para utilização em modelos de Machine Learning ou visão computacional.

BIM Integrated Knowledge-based BMS (BIM IK-BMS): sistema conceitual que concentra a informação recebida por diferentes equipamentos e a traduz a uma única linguagem reproduzida em BIM, com o intuito de gerir a manutenção da obra através de Building Management Systems.

BIM4D-based Intelligent Assembly Scheduler (BIAS): sistema de planeamento cronológico automatizado auxiliado pela utilização de BIM4D.

Bluetooth Low Energy (BLE): variação do sistema de partilha de dados por Bluetooth padrão sem fios, projetado para baixo consumo de energia.

British Thermal Unit (BTU): unidade equivalente à energia necessária para aquecer 1 Lb de água em 1 grau Fahrenheit. É equivalente a 1055, 056 Joule.

Building Information Modeling (BIM): software de bases de dados, em formato digital, que contém todos os aspetos a considerar numa construção, permitindo a criação de um modelo visual 3D que auxilia à visualização do projeto final, calendarização de atividades, gestão de custos, entre outras funcionalidades.

Building Management System (BMS): sistema de controlo utilizado para monitorizar e gerir todos os serviços elétricos, eletrotécnicos e mecânicos instalados numa obra de construção.

Case-Based Reasoning (CBR): processo de análise e resolução de novos problemas com base nas soluções aplicadas a problemas similares anteriores. É o princípio no qual o Machine Learning se apoia.

Computer-Aided Design (CAD): utilização de computadores para ajudar na produção, modificação e análise de um desenho a duas dimensões.

Computer-Aided Lifting Planner (CALP): planeamento da sequência ótima de trabalhos de uma empilhadora com auxílio tecnológico.

Critical Path Method (CPM): técnica de projeto onde são identificadas as tarefas necessárias para a conclusão de um projeto. O caminho crítico na gestão do projeto é a sequência mais longa de atividades que devem ser concluídas a tempo para completar o projeto.

Cyber-Physical System (CPS): sistema que interage com o ambiente circundante no qual um ou vários mecanismos são monitorizados e/ou controlados por um algoritmo computacional.

Distributed Energy Resource (DER): sistema de pequena escala para geração de energia, normalmente instalado na propriedade do consumidor. Inclui painéis fotovoltaicos, turbinas elétricas, reservatórios, entre outros.

Executive Information System (EIR): sistema de informação construído para auxiliar o utilizador no processo de tomada de decisão, oferecendo toda a informação disponível sob formas simplificadas como comparativamente ou graficamente.

Graphical User Interface (GUI): tipo de janela que um sistema disponibiliza e que permite ao utilizador a interação com o dispositivo através de elementos gráficos.

Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC): traduzido em português para a sigla AVAC, refere-se às funções primordiais dos sistemas de climatização de um edifício – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado.

High Definition (HD): refere-se a vídeo de alta resolução e qualidade, superior à standardizada.

Inertial Measurement Unit (IMU): dispositivo eletrónico que mede a velocidade, rotação livre e orientação de um corpo utilizando um conjunto de giroscópios, acelerómetros e, por vezes, magnetómetros.

Integrated Knowledge (IK): é o processo de sintetizar múltiplos modelos de conhecimento num só modelo comum simplificado.

Internet-of-Things (IoT): conceito que se refere à interligação entre diferentes aparelhos tecnológicos, partilhando e reunindo informação aproveitada das funcionalidades e capacidades de cada um para criar um sistema sem fios compartilhado.

Life-Cycle CO2 emissions (LCCO2): emissão total de gases de dióxido de carbono emitidos por uma obra durante o seu ciclo de vida.

Light Detection and Ranging (LiDAR): trata-se de uma tecnologia de deteção remota que mede propriedades da luz refletida de modo a medir a distância a um dado objeto, através de laser pulsado. Funciona de forma semelhante à tecnologia radar, que utiliza ondas de rádio.

Machine Learning (ML): ramo da Inteligência Artificial, é um método de análise de dados que automatiza a construção de modelos analíticos e tem como objetivo programar o sistema para aprender com dados, identificar padrões e tomar decisões com o mínimo de intervenção humana.

Mechanical, Eletrical and Plumbing (MEP): traduzido em português para a sigla MEC, refere-se a todos os sistemas de Mecânica, Eletricidade e Canalização.

Mining: processo de utilização de técnicas de Data mining para descobrir e extrair informações automaticamente de documentos e páginas de internet.

Natural Language Processing (NLP): ramo da inteligência artificial que confere ao computador a capacidade de entender texto ou voz da mesma forma que os humanos o entendem.

One-vs-All (OVA): método heurístico que utiliza algoritmos de classificação binária para a classificação em múltiplas classes.

Radio Frequency Identification (RFID): sistema de identificação de objetos assente na transmissão de dados sob a forma de ondas de radio-frequência.

Random Access Memory (RAM): peça física de um computador responsável por armazenar toda a memória de curto prazo a ser utilizada em tempo real pelo computador.

Random Forest (RF), Stochastic Gradient Tree Boosting (SGTB), Support Vector Machine (SVM), Decision Tree (DT), Naive Bayes (NB), K-Nearest Neighbor (KNN): algoritmos de aprendizagem e tomada de decisão associados ao Machine Learning.

Unmanned Aerial Vehicle (UAV): veículo voador não dotado de piloto nem passageiros.

Virtual Power Plant (VPP): sistema de energia elétrica descentralizado da usina elétrica tradicional, composto por baterias de geração de energia de média escala, reservatórios para armazenamento e uma rede de distribuição.

Virtual Reality (VR): experiência visual, simulada em computador, onde é criado um ambiente envolvente diferente do real.

Web Crawling: processo de procura de informação com auxílio de um motor de pesquisa programado e automatizado.

Wireless Sensor Network (WSN): rede de sensores sem fios utilizados com o objetivo de monitorizar as condições num espaço.

ANEXO A1

Mapa de Quantidades de Trabalho

EMPREITADA: **Linha do Minho. Apeadeiro de Águas Santas**
Passagem Superior de Peões

Valor total **0,00 €**

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
1	**ESTALEIRO**				
1.1	Encargos com a mão de obra, instalações, equipamentos e consumíveis, afetos à montagem e manutenção do estaleiro, durante o período de execução da obra e sua desmontagem.				
1.1.1	Encargos com a montagem	un	1		0,00 €
1.1.2	Encargos com a manutenção				
1.1.2.1	Mês 1	un	1		0,00 €
1.1.2.2	Mês 2	un	1		0,00 €
1.1.2.3	Mês 3	un	1		0,00 €
1.1.2.4	Mês 4	un	1		0,00 €
1.1.2.5	Mês 5	un	1		0,00 €
1.1.3	Encargos com a desmontagem do estaleiro no final da empreitada	un	1		0,00 €
2	**SEGURO DE OBRA**				0,00 €
2.1	Encargos com o seguro de obra	un	1		0,00 €
3	**SEGURANÇA E SAÚDE**				0,00 €
3.1	Implementação do Plano de Segurança e Saúde	un	1		0,00 €
4	**PLANO DE PREVENÇÃO E GESTÃO DE RESÍDUOS**				0,00 €
4.1	Encargos com a implementação do PPGRCD de obra (Plano de Prevenção e Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição)	un	1,00		0,00 €
5	**PASSAGEM SUPERIOR DE PEÕES**				
5.1	**DEMOLIÇÕES**				
5.1.1	Demolição de betão da fundação dos muros de tardoz dos cais, nas zonas em que interfere com as sapatas de fundação da passagem superior	m3	9,00		0,00 €
5.1.2	Demolição de pavimento em betão das plataformas, na zona de execução das fundações, incluindo a remoção dos produtos sobrantes a destino final licenciado.	m2	234,00		0,00 €
5.2	**MOVIMENTO DE TERRAS**				
5.2.1	Escavação em solos e rochas brandas, para abertura de caboucos de sapatas e vigas de fundação , incluindo todas as entivações, bombagens e drenagens necessárias à execução a seco das fundações, incluindo a remoção das terras sobrantes a destino final licenciado, conforme projeto e nas condições do Caderno de Encargos.	m3	96		0,00 €
5.2.2	Reposições e reaterros com aproveitamento de terras de escavação, com compactação no preenchimento dos caboucos das fundações, conforme projeto e nas condições do Caderno de Encargos.	m3	37		0,00 €
5.3	**FUNDAÇÕES**				
5.3.1	Betão de limpeza, (C16/20), com uma dosagem mínima de cimento de 200 kg/m3, para regularização e limpeza de leitos de sapatas e lintéis, aplicado numa camada de 0.10 m de espessura, conforme projeto e condições do Caderno de Encargos.	m3	5,3		0,00 €
5.3.2	Execução de sapatas, pilaretes e linteis de fundação, de acordo com os pormenores do projeto.				0,00 €
5.3.2.1	Betão C30/37	m3	52		0,00 €
5.3.2.2	Cofragem	m2	221		0,00 €
5.3.2.3	Armaduras de aço A 500 NR SD	kg	5000		0,00 €
5.3.2.4	Pintura das superfícies de betão enterradas, com três demãos cruzadas de emulsão betuminosa tipo "flintkote".	m2	285		0,00 €
5.3.2.5	Aço A 500 ER em chumbadouros	kg	427		0,00 €
5.3.2.6	Execução de microestacas com o diâmetro de 180 mm, reforçadas com tubo de aço de ¢ 88.9x9,5	m	620		0,00 €
5.4	**ESTRUTURA METÁLICA**				
5.4.1	Fornecimento e montagem de elementos metálicos, em aço S275, incluindo ligações e acessórios, decapagem ao grau Sa 2.1/2 , incluindo ligações, acessórios e tratamento de acordo com as Condições Técnicas e Definição de Preços Unitários				
5.4.1.1	Aço enformado				
5.4.1.1.1	Perfil oco de secção circular de diâmetro 610 mm e espessura de 8,8 mm	kg	1846		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.4.1.1.2	Perfil oco de secção circular de diâmetro 273 mm e espessura de 6,3 mm	kg	1139		0,00 €
5.4.1.1.3	Perfil oco retangular 150x150x10	kg	1724		0,00 €
5.4.1.1.4	Perfil oco retangular 150x150x5	kg	6650		0,00 €
5.4.1.1.5	Tubo oco de secção quadrada 50x50x5	kg	1280		0,00 €
5.4.1.1.6	Tubo de Ø 50 mm em corrimão	kg	320		0,00 €
5.4.1.1.7	Tubo de Ø 40 mm em corrimão	kg	20		0,00 €
5.4.1.2	Aço em elementos laminados				
5.4.1.2.1	Perfil UPN 180	kg	1400		0,00 €
5.4.1.2.2	Perfil UPN 160	kg	512		0,00 €
5.4.1.2.3	Perfil TNP 90	kg	2600		0,00 €
5.4.1.2.4	Cantoneira LNP 150x150x12	kg	336		0,00 €
5.4.1.2.5	Cantoneira LNP 80x80x8	kg	483		0,00 €
5.4.1.2.6	Cantoneira LPN 50x50x5	kg	1516		0,00 €
5.4.1.2.7	Cantoneira LPN 40x40x4	kg	99		0,00 €
5.4.1.2.8	Barra 70x20	kg	1339		0,00 €
5.4.1.2.9	Barra 70x10	kg	1049		0,00 €
5.4.1.2.10	Varão de Ø 12 mm	kg	311		0,00 €
5.4.1.2.11	Chapa de 25 mm de espessura	kg	1064		0,00 €
5.4.1.2.12	Chapa de 20 mm de espessura	kg	835		0,00 €
5.4.1.2.13	Chapa lisa de 16 mm de espessura	kg	630		0,00 €
5.4.1.2.14	Chapa lisa de 15 mm de espessura	kg	35		0,00 €
5.4.1.2.15	Chapa lisa de 12 mm de espessura	kg	68		0,00 €
5.4.1.2.16	Chapa lisa de 10 mm de espessura	kg	110		0,00 €
5.4.1.2.17	Chapa lisa de 8 mm de espessura	kg	3322		0,00 €
5.4.1.2.18	Chapa lisa de 6 mm de espessura	kg	320		0,00 €
5.4.1.2.19	Chapa lisa de 5 mm de espessura, nas paredes, cobertura e palas das caixas dos elevadores, de acordo com desenho de pormenor.	kg	4311		0,00 €
5.4.2	Fornecimento e montagem dos pavimentos, em aço S275, em chapa de aço lisa, com lixagem de toda a superfície e uma limpeza ao grau Sa 2 1/2 , com tratamento e acabamento de acordo com as Condições Técnicas e Definição de Preços Unitários.				
5.4.2.1	Chapa lisa de 8 mm de espessura, no pavimento do tabuleiro	kg	2565		0,00 €
5.4.3	Fornecimento e montagem de elementos metálicos, em aço S275, incluindo ligações e acessórios, decapagem ao grau Sa 2.1/2 e tratamento e acabamento de acordo com o definido nas Condições Técnicas e Definição de Preços Unitários.				
5.4.3.1	Chapa gota (folha de oliveira), de 4/6 mm de espessura, no pavimento das escadas	kg	7191		0,00 €
5.5	**DIVERSOS**				
5.5.1	Reconstrução das sapatas dos muros de tardoz				
5.5.1.1	Betão C30/37	m3	9		0,00 €
5.5.1.2	Cofragem	m2	20		0,00 €
5.5.1.3	Armaduras de aço A 500 NR SD	kg	100		0,00 €
5.5.2	Vidro laminado, com 6 mm de espessura numa das paredes da caixa do elevador, incluindo todos os acessórios e materiais necessários.	m2	34		0,00 €
5.5.3	Fornecimento e montagem, no topo das caixas dos elevadores, de grelhas de ventilação, com lâminas inclinadas, com 0,30 x 1,85 m, em chapa de 5 mm de espessura, de acordo com desenho de pormenor e nas condições de 5.4.1	un	8		0,00 €
5.5.4	Fornecimento e montagem de painéis de rede eletrosoldada, do tipo Securifor, ou equivalente, em malha de 12,7x76,2 mm, arame de 4 mm de diâmetro, em aço galvanizado por imersão, com revestimento eletrostático de poliester, incluindo fixação às cantoneiras L50x50x5	m2	27		0,00 €
5.5.5	Placas de "Perigo de Morte" modelo grande	un	4		0,00 €
5.5.6	Fornecimento e montagem de "teflon " com 5 mm de espessura na ligação do tabuleiro aos pilares	m2	2,5		0,00 €
5.5.7	Pintura com as cores de segurança das faces do plinto, do pilar P2, no caminho de acesso à plataforma da via ascendente	m2	2		0,00 €
5.6	**DRENAGEM**				
5.6.1	Caleiras, com 2,00 m de comprimento, de receção de águas pluviais, junto às portas dos elevadores, ao nível do solo, incluindo grelhas, escavação e remoção de produtos sobrantes a destino final licenciado	un	2		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.6.2	Caleiras de 2,00 m de comprimento, junto às portas dos elevadores, ao nível do tabuleiro	un	2		0,00 €
5.6.3	Caleiras de 2,50 m de comprimento, no tabuleiro	un	2		0,00 €
5.6.4	Tubos de queda em aço galvanizado, com o diâmetro de 90 mm	m	26		0,00 €
5.6.5	Caixa de visita para drenagem, com as dimensões de 0,50 x 0,50 x 1,00 m, incluindo tampa pré-fabricada, todos os materiais e trabalhos necessários.	un	2		0,00 €
5.6.6	Caixa de visita para drenagem, tronco- cónica em anéis de betão, com 1,00 m de diâmetro e profundidade de 1,50 m, incluindo tampa em ferro fundido, todos os materiais e trabalhos necessários.	un	1		0,00 €
5.6.7	Fornecimento e instalação de coletor de águas pluviais, em tubo de PVC, de 125 mm, de diâmetro incluindo abertura de vala.	m	6		0,00 €
5.6.8	Execução de drenagem das soleiras das portas dos elevadores através de tubo de ligação à caleira de águas pluviais contígua.	un	4		0,00 €
5.6.9	Fornecimento e montagem de tubo PVC rígido de diâmetro 50 mm, com o comprimento de 3,50 m, para drenagem do fosso dos elevadores, incluindo válvula de anti-retorno.	un	2		0,00 €
5.7	**SINALÉTICA**				
5.7.1	Fornecimento e montagem de painéis de sinalética em chapa de alumínio termolacado, de acordo com o desenho específico e respeitando as características do Manual de Snalética - Guia para aplicação gráfica de sinalética em estações ferroviárias REFER MN.CCA.001, e Condições Técnicas incluindo suportes, fixações, pictogramas e texto em vinil autocolante e todos os restantes acessórios e trabalhos complementares, de acordo com desenho de projeto				0,00 €
5.7.1.1	Painel tipo P1, com as dimensões 600 x 300 mm e modulação 300 x 300 mm, dupla face, com fixação em bandeira	un	1		0,00 €
5.7.1.2	Painel tipo P2, com as dimensões 600 x 300 mm e modulação 300 x 300 mm, dupla face, com fixação em bandeira	un	1		0,00 €
5.7.1.3	Painel tipo P3, com as dimensões 900 x 300 mm e modulação 300 x 300 mm, uma face, com fixação em poste	un	2		0,00 €
5.7.1.4	Painel tipo P4, com as dimensões 900 x 150 mm e modulação 150 x 150 mm, uma face, com fixação em parede	un	1		0,00 €
5.7.1.5	Painel tipo P5, com as dimensões 900 x 150 mm e modulação 150 x 150 mm, uma face, com fixação em parede	un	1		0,00 €
5.7.1.6	Painel tipo P6, com as dimensões 900 x 150 mm e modulação 150 x 150 mm, uma face, com fixação em parede	un	1		0,00 €
5.7.1.7	Painel tipo P7, com as dimensões 900 x 150 mm e modulação 150 x 150 mm, uma face, com fixação em parede	un	1		0,00 €
5.8	**INSTALAÇÕES ELÉTRICAS -** Fornecimento e montagem de todo o equipamento de acordo com o definido na Memória Descritiva, Condições Técnicas e Peças Desenhadas. Todo o equipamento a remover será colocado à disposição da REFER para inspeção e avaliação. Todo o material que for classificado como resíduo ou material não aproveitável será transportado para depósito final licenciado, por conta do Adjudicatário, sendo todo o material classificado como "reaproveitável" transportado para o Complexo Logístico do Entroncamento ou outro a indicar pelo Dono da Obra.				
5.8.1	**INTERVENÇÃO NA INFRAESTRUTURA EXISTENTE / SERVIÇOS AFECTADOS**				
5.8.1.1		vg	1		0,00 €
5.8.1.2	Trabalhos de substituição dos cabos das colunas existentes, de modo a serem constituidos dois níveis de iluminação e que a avaria de um dos circuitos não coloque a iluminação das plataformas fora de serviço.				
5.8.1.2.1	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV5G4 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação protegidos por mangas termoretrácteis quando necessárias.	m	1210		0,00 €
5.8.1.2.2	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV3G2.5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	250		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.8.1.3	Ripagem de caixa de visita existente, incluindo a sua demolição parcial ou total e reconstrução da mesma (o mais perto possível do seu local original) em alvenaria rebocada interiormente, provida de fundo roto. Inclui nova cantoneira galvanizada por imersão a quente e tampa em betão armado com acabamento concordante com o da plataforma/pavimento circundante. Para efeitos de orçamentação, deverá ser considerada uma dimensão média de 1.0 x 1.0 x >1.50m.	un	2		0,00 €
5.8.1.4	Trabalhos de ripagem, decorrentes do reposicionamento das caixas referidas no artigo anterior, dos respectivos tubos e cabos que as atravessam. Inclui fornecimento e aplicação de extensões em tubo PEAD90, quando necessário, nos tubos que não tenham folga.	un	1		0,00 €
5.8.1.5	Trabalhos de desmontagem, transporte, armazenamento durante o período da obra e posterior reinstalação na nova posição, de coluna de iluminação existente assinalada na Peça Desenhada IE/01. NOTA: Este trabalho terá o acompanhamento de representante do Dono d'Obra, sendo imputável ao Adjudicatário todos os danos causados por falta de cuidado com os referidos materiais.	un	1		0,00 €
5.8.1.6	Trabalhos de remoção e reinstalação dos altifalantes da sonorização existentes, decorrente do reposicionamento da coluna de iluminação, incluindo respetiva cablagem (quer extensões, quer novos cabos, consoante as necessidades). **NOTA: Estes trabalhos poderão, por indicação do Dono d'Obra, ter que ser executados pela REFER Telecom, obrigando-se o Adjudicatário à subcontratação dos mesmos.**	vg	1		0,00 €
5.8.1.7	Execução, para coluna existente a reposicionar, de maciço de assentamento com respectivos chumbadores, anilhas de borracha, cabeçotes em PVC anti-par galvânico. Inclui negativos para tubagem (2 PEAD 40 + 1 PEAD 50 + 1 PEAD 32) e todos os trabalhos de construção civil associados.	un	1		0,00 €
5.8.2	**ALIMENTADORES**				
5.8.2.1	Execução da infraestrutura enterrada necessária à constituição do ramal de entrada, incluindo abertura e selagem de valas (com reposição primorosa dos pavimentos existentes), tubagem PEAD110mm, caixas de visita e atravessamento de via de circulação rodoviária, com o traçado a acordar em obra junto do Distribuidor. Estes trabalhos poderão não virem a ser executados, se se optar por integrar os mesmos nos encargos do ramal. **NOTA: A execução dos trabalhos referidos, por administração directa do Requisitante, implicará que os mesmos sejam executados por empresa instaladora certificada pelo Distribuidor.**	un	1		0,00 €
5.8.2.2	Fornecimento e montagem, totalmente equipado, de armário de passeio dimensionado de modo a integrar dois compartimentos fisicamente separados, um albergando a portinhola e outro a equipa de contagem e o limitador de potência do Distribuidor. Será dotado de porta dupla (uma delas com visor para leitura de contagem de energia) com fechadura. Será construído e eletrificado de acordo com as disposições das RTIEBT, sendo fornecido com todos os acessórios de ligação e fixação, platinas de montagem (para contador e limitador de potência), acessórios de selagem e pedestal de implantação semi-enterrado.	un	1		0,00 €
5.8.2.3	Fornecimento e montagem de Quadro Geral de Entrada (QGE), Classe II, em armário de passeio fabricado em poliéster prensado e reforçado a fibra de vidro. Será construído e eletrificado de acordo com o esquema unifilar da peça desenhada IE/05 e com as disposições das RTIEBT, sendo fornecido com todos os acessórios de ligação e fixação e pedestal de implantação semi-enterrado.	un	1		0,00 €
5.8.2.4	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV4x70.	m	95		0,00 €
5.8.2.5	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV5G10.	m	140		0,00 €
5.8.2.6	Fornecimento e montagem, embebido em roço ou à vista fixo por braçadeiras, de tubo do tipo VD 63 (1250N).	m	2		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.8.3	**CAMINHO DE CABOS -** Inclui o fornecimento e montagem de todos os acessórios e trabalhos complementares necessários, nomeadamente, uniões, braçadeiras plásticas, guias, abertura e selagem de valas e/ou roços, transporte de material excedente para depósito final licenciado do Adjudicatário, fitas de sinalização, lajetas/placas PPC, assim como os trabalhos de construção civil associados.				
5.8.3.1	Abertura e selagem de vala (com reposição primorosa do pavimento existente, se aplicável) com largura mínima de 0.60m e profundidade de 0.80m, para instalação de tubos, cabos ou outros equipamentos, em terreno de qualquer natureza.	m	90		0,00 €
5.8.3.2	Execução de atravessamento ferroviário por escavação sob a via (toupeira mecânica). Inclui o fornecimento e montagem de todos os acessórios e trabalhos complementares necessários, nomeadamente, guias, abertura e selagem de valas e/ou roços, contenção de terras, transporte de material excedente para depósito final licenciado do Adjudicatário, assim como os trabalhos de construção civil associados. A execução do atravessamento ferroviário será devidamente planeada junto da Fiscalização, de modo a não perturbar a circulação dos comboios e, em particular, de modo a serem garantidas todas as medidas de segurança.	un	1		0,00 €
5.8.3.3	Fornecimento e montagem de caixa de visita do tipo B (1.00 x 1.50 x >1.50m), em alvenaria rebocada interiormente, provida de fundo roto. Inclui cantoneira galvanizada por imersão a quente, tampa em betão armado com acabamento concordante com o da plataforma/pavimento circundante e degraus chumbados na parede interior.	un	2		0,00 €
5.8.3.4	Fornecimento e montagem de caixa de visita do tipo D (0.60 x 0.60 x >0.80m), em alvenaria rebocada interiormente, provida de fundo roto. Inclui cantoneira galvanizada por imersão a quente e tampa em betão armado com acabamento concordante com o da plataforma/pavimento circundante.	un	1		0,00 €
5.8.3.5	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou estabelecido na escavação do atravessamento, de tubo do tipo PEAD 110.	m	200		0,00 €
5.8.3.6	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou estabelecido na escavação do atravessamento, de tubo do tipo Tritubo PEAD 3xØ40.	m	18		0,00 €
5.8.3.7	Fornecimento e montagem, enterrado em vala, de tubo do tipo PEAD 90.	m	265		0,00 €
5.8.3.8	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou embebido em roço, de tubo do tipo PEAD 50.	m	36		0,00 €
5.8.3.9	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou embebido em roço, de tubo do tipo PEAD 40.	m	12		0,00 €
5.8.3.10	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou embebido em roço, de tubo do tipo PEAD 32.	m	2		0,00 €
5.8.3.11	Fornecimento e montagem, à vista fixo por braçadeiras metálicas, de tubo de aço galvanizado com diâmetro de 63mm, pintado na cor dos pilares / estrutura da PSP.	m	58		0,00 €
5.8.4	**TERRA DE PROTEÇÃO** - Inclui, mesmo quando não referido, o fornecimento e montagem de todos os acessórios e trabalhos complementares necessários, nomeadamente, ligadores de cravamento/aperto (piquet/cabo, cabo/cabo, fita/fita ou fita/cabo), ligadores bimetálicos Cu/Al, mangas termoretrácteis, ponteiras e batentes para piquet's de terra, terminais de ligação, soldaduras aluminotérmicas e abertura e selagem de valas e/ou roços (em troços em que não seja possível utilizar as valas dos caminhos de cabos previstas).				
5.8.4.1	Fornecimento e montagem, enterrada em vala, de fita de aço cobreado 30x3,5mm/70µ, incluindo ligadores multiusos fita/fita ou fita/cabo (bimetálicos, quando necessário) e/ou soldaduras aluminotérmicas.	m	144		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.8.4.2	Fornecimento e montagem, enterrado a uma profundidade mínima de 0.80m, de varão de aço cobreado com 2000x15x0.7mm, incluindo todos os acessórios, nomeadamente batente, ponteira, abraçadeiras, terra vegetal para beneficiação do valor de terra (se necessário), etc. **NOTA: Admite-se a redução das dimensões dos eléctrodos, desde que, estes sejam executados com tecnologia adequada e sujeitos a aprovação prévia da Direção Geral de Energia e Geologia.**	un	13		0,00 €
5.8.4.3	Fornecimento e montagem, chumbada diretamente no interior das caixas de visita, de barra coletora de terra em alumínio, com dimensões de 490x60x10mm.	un	3		0,00 €
5.8.4.4	Fornecimento e montagem, no interior do armário de passeio (QGE), de caixa equipada com ligador amovível e tampa com símbolo de terra normalizado em relevo.	un	1		0,00 €
5.8.4.5	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XV1G70 (isolamento verde/amarelo), incluindo ligadores de terminação (bimetálicos quando necessário).	m	15		0,00 €
5.8.4.6	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XV1G35 (isolamento verde/amarelo), incluindo ligadores de terminação (bimetálicos quando necessário).	m	3		0,00 €
5.8.4.7	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de condutor do tipo LXV1x70 (0.6/1KV) com isolamento na cor preta, incluindo ligadores de terminação (bimetálicos quando necessário).	m	54		0,00 €
5.8.4.8	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de condutor do tipo LXV1x50 (0.6/1KV) com isolamento na cor preta, incluindo ligadores de terminação (bimetálicos quando necessário).	m	81		0,00 €
5.8.4.9	Fornecimento e montagem de trança de cobre estanhada 14x5,1mm (16mm^2).	m	10		0,00 €
5.8.4.10	Fornecimento e montagem, enterrado em vala ou embebido em roço, de tubo do tipo PEAD 32.	m	70		0,00 €
5.8.4.11	Fornecimento e montagem, à vista fixo por abraçadeiras, de tubo do tipo VD 40 (1250N).	m	15		0,00 €
5.8.5	**ILUMINAÇÃO** - Inclui o fornecimento e montagem de todos os acessórios e trabalhos complementares necessários, nomeadamente, bucins, lâmpadas, driver's, balastros eletrónicos, cablagem, acessórios de fixação e ligação.				0,00 €
5.8.5.1	Fornecimento e montagem de armadura de iluminação do tipo F1.	un	6		0,00 €
5.8.5.2	Fornecimento e montagem de armadura de iluminação do tipo F1+K.	un	8		0,00 €
5.8.5.3	Fornecimento e montagem de armadura de iluminação do tipo F2+k.	un	4		0,00 €
5.8.5.4	Fornecimento e montagem de armadura de iluminação de segurança, permanente, do tipo E1. Inclui pictograma normalizado - SAÍDA DE EVACUAÇÃO PARA A ESQUERDA, aplicado em fábrica na luminária.	un	1		0,00 €
5.8.5.5	Fornecimento e montagem de armadura de iluminação de segurança, permanente, do tipo E1. Inclui pictograma normalizado - SAÍDA DE EVACUAÇÃO PARA A DIREITA, aplicado em fábrica na luminária.	m	45		0,00 €
5.8.5.6	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV5G2,5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	45		0,00 €
5.8.5.7	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XAV3G2.5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	95		0,00 €
5.8.5.8	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XV5G2,5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	95		0,00 €
5.8.5.9	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XV3G2,5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	65		0,00 €
5.8.5.10	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo XV2x2,5 (0.6/1KV), incluindo ligadores de terminação.	m	2		0,00 €
5.8.5.11	Fornecimento e montagem, à vista fixo por braçadeiras metálicas, de tubo de aço galvanizado com diâmetro de 25mm, pintado na cor dos pilares / estrutura da PSP.	m	145		0,00 €
5.8.5.12	Fornecimento e montagem de caixa de derivação saliente estanque, para transição de cabo XAV/XV.	un	2		0,00 €
5.8.5.13	Fornecimento e montagem de caixa de derivação saliente estanque.	un	7		0,00 €
5.8.6	**SINALIZAÇÃO DE SEGURANÇA**				

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
5.8.6.1	Fornecimento e montagem de placa sinalizadora fotoluminescente para indicação de não utilização dos elevadores em caso de incêndio.	un	4		0,00 €
5.8.7	**INFRAESTRUTURA ITED -** Inclui todos os trabalhos de construção civil complementares necessários.				
5.8.7.1	Trabalhos a executar no Bastidor/ATI existente localizado na Sala de Equipamento de Telecomunicações, para ligação das tomadas dedicadas ao Sistema de Comunicação Bi-direcional dos elevadores. Estes trabalhos terão o acompanhamento da REFER Telecom.	vg	1		0,00 €
5.8.7.2	Fornecimento e montagem, em caixa de aparelhagem saliente do tipo I1, de tomada com 1 conector RJ45-Cat.6 de 8 terminais.	un	2		0,00 €
5.8.7.3	Fornecimento e montagem, enfiado em tubo, de cabo do tipo UTP 4/ Cat. 6.	m	125		0,00 €
5.8.7.4	Fornecimento e montagem, à vista fixo por braçadeiras metálicas, de tubo de aço galvanizado com diâmetro de 25mm, pintado na cor dos pilares / estrutura da PSP.	m	23		0,00 €
5.8.8	**INSTALAÇÕES MECÂNICAS**				
5.8.8.1	Fornecimento e montagem completa de ascensor de 630 Kg / 8 pessoas, do tipo panorâmico (face lateral do lado da via), de acordo com o especificado no Caderno de Encargos (especial atenção aos requisitos de robustez/resistência contra acções mecânicas para a porta do quadro de manobra, alvo frequente de vandalismo), incluindo a respetiva certificação/inspeção.	un	2		0,00 €
5.8.8.2	Celebração de contrato de manutenção completa (incluindo peças de substituição e com cobertura a atos de vandalismo) durante os primeiros 6 meses.	un	2		0,00 €
5.8.8.3	Integração com o sistema de monitorização e supervisão técnica de elevadores da REFER, conforme especificado nas Condições Técnicas e na IT.CCI.006, incluindo todos os equipamentos, cablagens e trabalhos necessários.	vg	1		0,00 €
6	**CAIS DE PASSAGEIROS**				
6.1	**DEMOLIÇÕES**				
6.1.1	Demolições na área para implantação dos muros necessários ao desenvolvimento das novas plataformas e acessos.	vg	1		0,00 €
6.2	**MOVIMENTAÇÃO DE TERRAS**				
6.2.1	Escavação em terreno de qualquer natureza para abertura de fundações dos Muros Cais M1,M2,M3 e M4, incluindo entivação das terras quando necessária, todos os materiais e trabalhos complementares.	m3	45		0,00 €
6.2.2	Fornecimento e execução de aterro com solos seleccionados, provenientes da escavação realizada e empréstimo, em camadas com espessura máxima de 0,30 m, devidamente regadas e compactadas ao longo do desenvovimento das novas plataformas, incluindo entivação das terras quando necessária, todos os materiais e trabalhos complementares.	m3	76		0,00 €
6.2.3	Fornecimento e execução de camada de aterro em agregado britado de granulometria extensa, com 0,25 m de espessura, devidamente regada e compactada, ao longo da totalidade das áreas das novas plataformas, incluindo todos os trabalhos e materiais complementares.	m3	41		0,00 €
6.3	**BETÃO ARMADO E OUTROS**				
6.3.1	Fornecimento e aplicação de Muro Cais e alteamento do muro de tardoz, existente na plataforma descendente, em betão armado (C25/30, A500NR SD), conforme desenhos de pormenor, ao longo do desenvovimentos, no lado da via, definidos nas Peças Desenhadas. Inclui betão de regularização, cofragem, boeiros, impermeabilização com emulsão betuminosa. Todos os materiais e trabalhos complementares.	m3	46		0,00 €
6.3.2	Fornecimento e execução de camada de massame com espessura de 10 cm, armado com malhasol CQ38, conforme desenhos de pormenor, ao longo das área da nova plataforma da Linha 1 e da zona a intervencionar . Todos os materiais e trabalhos complementares.	m3	26		0,00 €
6.3.3	remoção e reaplicação das bordaduras de muro existentes, nas zonas do novos muros.	m	29		0,00 €

CAP.	IDENTIFICAÇÃO DOS TRABALHOS	UNID.	QUANT.	PREÇOS UNIT.	SOMATÓRIO
6.3.4	Fornecimento e execução de camada de betonilha com espessura de 5 cm, com 400 Kg cimento/m3 e traço 1:3 de areia , de modo a servir com camada superior de pavimentação das plataforma e rampas, ao longo da totalidade das áreas a intervencionar incluindo pintura de faixa de segurança com tinta apropriada de cor amarela. Todos os materiais e trabalhos complementares.	m2	261		0,00 €
6.3.5	Fornecimento e montagem de guarda corpos a instalar no topo das plataformas em aço galvanizado e tratado nas condições de 5.4.1, com 1,20 m de altura				0,00 €
6.3.5.1	Barra 70x20	kg	27		0,00 €
6.3.5.2	Barra 70x10	kg	22		0,00 €
6.3.5.3	Varão de Ø 12 mm	kg	15		0,00 €
6.3.5.4	Chapa lisa de 10 mm de espessura	kg	4		0,00 €
6.4	**OBRAS PROVISÓRIAS**				
6.4.1	Fornecimento e instalação de sinalética provisória de encaminhamento dos passageiros incluindo a sua posterior remoção.	vg	1		0,00 €
6.4.2	Levantamento do estrado da passagem de nível pedonal em borracha tipo strail existente e transporte para o novo local da PN e incluindo transporte de materiais, trabalhos de via e outros necessários, conforme definido na DPU	un	1		0,00 €
6.4.3	Construção de muros de blocos de alvenaria de argamassa de cimento de contenção na rampa de acesso, da plataforma da via descendente à passagem de nívewl pedonal provisória	m2	9		0,00 €
6.4.4	Transferência de sinal luminoso e acústico da PN atual para a nova PN, incluindo desmontagem do equipamento e respetivos maciços, transporte para o novo local e sua reaplicação e fixação	un	2		0,00 €
6.4.5	Desmontagem de labirinto em estrutura tubular metálica e montagem na nova PN, a norte, incluindo transporte e a sua adaptação ao novo local da PN, a definir pela Fiscalização, e transporte dos produtos sobrantes para instalações da REFER situadas no Entroncamento	vg	1		0,00 €
6.4.6	Reaplicação do estrado de PN no novo local, incluindo a preparação deste, e todos os trabalhos de construção civil e da especialidade de via necessários para a sua colocação em serviço, conforme definido na DPU	un	1		0,00 €
6.4.7	Levantamento do estrado da passagem de nível existente e transporte a local situado a 50 km, incluindo todos os trabalhos referidos na definição de preços unitários	un	1		0,00 €