

CONSTRUÇÃO DE ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO E GESTÃO DE ANDAIME EM OBRA COM RECURSO À METODOLOGIA BIM

CAROLINA JOÃO CUNHA CARDOSO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor João Pedro Poças Martins

JUNHO DE 2021

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2020/2021

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 - 2020/2021 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021*.

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.

Às grandes mulheres.

"You must do the things you think you cannot do."

Eleanor Roosevelt

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que me apoiaram, direta ou indiretamente, na concretização deste trabalho e ao longo de todo o meu percurso académico:

Ao Professor Doutor João Pedro Poças Martins por me ter incentivado e motivado a percorrer um caminho novo e surpreendente, por toda a orientação e apoio prestados ao longo deste percurso.

Ao Eng.º João Ferreira e Fábio Araújo por todo o acompanhamento ao longo deste semestre, pelos conselhos e incentivos constantes. À Nancy Gameiro e Joana Carvalho por todo o apoio e conhecimentos transmitidos fundamentais para este trabalho. À ACA pela oportunidade de desenvolver esta dissertação e a todos os colaboradores que me apoiaram.

Ao Miguel por todo o apoio, paciência, cumplicidade e amizade. Por todos os conselhos e sabedoria que foram imprescindíveis para tornar esta dissertação uma realidade.

Às mulheres da minha vida, Catarina, Cristiana, Mafalda, Tânia, Rita e Rosário, pela coragem, força, conforto e amor. Por todas as lágrimas, zangas, risos e loucuras, que marcaram a minha passagem pela FEUP, de uma forma inexprimível e inigualável. Um muito obrigado por tudo.

Ao Bairro Social, por me ensinarem que tudo é possível, mesmo nos momentos mais difíceis, com a devida moderação. Pela companhia, convívio, noites passadas, jantares e outros tantos episódios inesquecíveis que levo guardado para sempre, num lugar especial.

A todos os meus amigos por toda a motivação e amizade, com um especial agradecimento ao Diogo Dias.

À minha família pelo apoio e carinho incondicional.

RESUMO

A inovação no setor da construção civil encontra-se atualmente numa trajetória crescente. A procura e aposta em tecnologias mais avançadas e eficientes tem contribuindo para uma gradual inovação das técnicas tradicionais e dos métodos de trabalho. Ainda assim, a existência de desperdícios instigados por erros de cálculos é ainda uma realidade e a sua resolução assume-se como primordial e necessária para mitigar os efeitos desses desperdícios nos custos das obras.

Tal como se sucede em outros elementos em obra, o processo de estimação de soluções de andaimes tem vindo a apresentar uma grande ineficiência, sendo este responsável por um prejuízo significativo nas receitas da empresa. A abordagem tradicional envolve processos manuais pouco eficazes e realistas, uma vez que não têm em conta certas variáveis inerentes ao problema. Assim, urge a necessidade de proporcionar um método de apoio aos profissionais envolvidos que solucione esta ineficiência do processo.

O método proposto, através da metodologia BIM e conceitos de programação, quantifica e estima a quantidade necessária de solução de andaimes numa obra, bem como o respetivo custo. Esta estratégia encara-se como uma alternativa à abordagem tradicional, disponibilizando, de forma intuitiva e rápida, resultados coerentes dos vários elementos, que permitem uma maior eficácia e precisão nas soluções encontradas.

O código proposto é capaz de, através de um modelo BIM, estimar para cada elemento a intervir, uma possível solução de andaimes, discriminando as dimensões e quantidades envolvidas na modelação de andaimes encontrada. Simultaneamente, é também apresentada uma estimativa dos custos envolvidos com base nessas quantidades e nos rendimentos de cada elemento.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Andaimes, Preparação de Obra, Programação, Otimização

ABSTRACT

Innovation in the construction industry is currently on an upward trajectory. The search and investment in more advanced and efficient technologies have contributed to a gradual development of traditional techniques and working methods. Even so, the existence of waste, instigated by miscalculations, is still a solid reality and its resolution is essential and required to decrease the effects in the estimated costs.

As with other elements on-site, the process of estimating scaffolding solutions has come to represent a major inefficiency, being responsible for a significant loss on company revenues. The traditional approach involves manual processes which are not very efficient and realistic since they do not consider certain variables inherent to this exact problem. Thus, there is an urgent need to provide a support method for professionals to be able to solve these inefficiencies and minimize wastage in the process.

The proposed method, in virtue of BIM methodology and programming concepts, quantifies and estimates the necessary amount of scaffolding solutions and the respective cost. This strategy performs as an alternative method to the traditional approach, making available, in an intuitive and fast way, coherent results of the various elements involved, allowing a higher efficiency and precision of the final solutions.

The proposed code is able, through a BIM model, to estimate for each element involved, a possible scaffolding solution, discriminating the dimensions and quantities of each scaffolding model, and provide the specific costs based on those quantities and the respective incomes.

KEYWORDS: BIM, Scaffolding, Site Preparation, Programming, Optimization

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO GERAL	1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO	2
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	2
2 ESTADO DE ARTE	5
2.1. BUILDING INFORMATION MODELING	5
2.1.1. ENQUADRAMENTO DO BIM NO SETOR AEC	5
2.1.2. CONCEITO BIM	6
2.1.3. MÉTODO TRADICIONAL Vs METODOLOGIA BIM	6
2.2. INTEROPERABILIDADE	7
2.2.1. CONCEITO	7
2.2.2. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES -IFC	7
2.3. DIMENSÕES BIM	8
2.4. BIM 4D	9
2.4.1. BENEFÍCIOS DO BIM 4D	10
2.4.2. LIMITAÇÕES DOS MODELOS BIM 4D	11
2.4.3. AUTODESK NAVISWORKS	11
2.5. BIM EM PORTUGAL	13
2.5.1. INICIATIVAS DO BIM A NÍVEL NACIONAL	14
2.5.2. CT197-BIM	14
2.6. IMPLEMENTAÇÃO NAS EMPRESAS PORTUGUESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL	15
2.6.1. AVALIAÇÃO DA MATURIDADE NO SETOR NACIONAL	15
2.6.2. BIM NO GRUPO ACA	16
2.6.3. LIMITAÇÕES DA IMPLEMENTAÇÃO NAS EMPRESAS	18
2.7. PREPARAÇÃO E PLANEAMENTO EM OBRA	19
2.7.1. PREPARAÇÃO DE OBRA	19
2.7.2. ORÇAMENTAÇÃO E REORÇAMENTAÇÃO	20
2.7.3. PLANEAMENTO E CONTROLO EM OBRA	21
2.7.4. CONTRIBUTOS DO PLANEAMENTO E CONTROLO EM OBRA	22

2.7.5. APLICAÇÃO DO BIM NO PLANEAMENTO E CONTROLO DE OBRAS	23
3 PREPARAÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIMES	25
3.1. ENQUADRAMENTO.....	25
3.2. ORIGEM DOS DESVIOS.....	25
3.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ELEMENTOS EM OBRA.....	26
3.4. DESCRIÇÃO DA ABORDAGEM TRADICIONAL E INTRODUÇÃO AOS ANDAIMES	27
3.4.1. COMPONENTES DE UM ANDAIME	27
3.4.2. TIPOS DE ANDAIME.....	28
3.4.3. IMPORTÂNCIA DA CORRETA INSTALAÇÃO DE ANDAIMES EM OBRA	31
3.4.4. PROCESSO DE CÁLCULO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME.....	33
3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO TRADICIONAL.....	35
3.5.1. OBRAS EM ANÁLISE.....	35
3.5.2. ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS	37
3.5.3. INFLUÊNCIA DOS DESVIOS PARAMÉTRICOS NOS CUSTOS	42
3.5.4. PROBLEMÁTICA DA ABORDAGEM TRADICIONAL	44
3.5.5. REQUISITOS GERAIS PARA COLOCAÇÃO DE ANDAIMES	45
3.5.6. INFLUÊNCIA DOS CONDICIONALISMOS.....	46
3.6. MÉTODO PROPOSTO VS ABORDAGEM TRADICIONAL	49
3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	50
4 PROPOSTA DE UM ALGORITMO PARA GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME.....	51
4.1. ENQUADRAMENTO.....	51
4.2. ESTRUTURA E PREPARAÇÃO INICIAL DA PROPOSTA	51
4.2.1. PREPARAÇÃO DO MODELO	52
4.2.2. DESENVOLVIMENTO EM DYNAMO	52
4.2.3. ESPECIFICAÇÕES A CONSIDERAR NOS CÁLCULOS.....	54
4.3. DESCRIÇÃO DO CÓDIGO IMPLEMENTADO	55
4.3.1. SELEÇÃO DOS ELEMENTOS.....	55
4.3.2. FASE 1: PROCESSO DE QUANTIFICAÇÃO.....	56
4.3.3. FASE 2: CRIAÇÃO FICHEIRO CSV PARA NAVISWORKS	65
5 APLICAÇÃO DO ALGORTIMO PARA GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME.....	71
5.1. GRUPO ACA.....	71

5.2. ALIADOS PLAZA HOTEL.....	72
5.2.1. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	72
5.2.2. DESENVOLVIMENTO DA OBRA	74
5.2.3. DESCRIÇÃO DO MODELO REVIT	77
5.2.4. CÓDIGO DYNAMO.....	79
5.2.5. LIGAÇÃO AO NAVISWORKS.....	81
5.3. ERPI BONFIM	84
5.3.1. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	84
5.3.2. DESENVOLVIMENTO DA OBRA	85
5.3.3. MODELO REVIT	86
5.3.4. CÓDIGO DYNAMO.....	87
5.3.5. LIGAÇÃO AO NAVISWORKS.....	89
5.4. PALMARES RESORT	90
5.4.1. DESCRIÇÃO DO EMPREENDIMENTO	90
5.4.2. MODELO REVIT	92
5.4.3. CÓDIGO DYNAMO.....	93
5.4.4. LIGAÇÃO AO NAVISWORKS.....	95
6 RESULTADOS	97
6.1. ALIADOS PLAZA HOTEL.....	97
6.2. ERPI BONFIM	98
6.3. PALMARES RESORT	100
6.4. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGORITMO PROPOSTO E. MÉTODO TRADICIONAL	101
6.4.1. ANÁLISE DOS CUSTOS.....	101
6.4.2. ANÁLISE DAS DURAÇÕES.....	102
6.4.3. ANÁLISE DAS ÁREAS	103
6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	104
7 CONCLUSÕES FINAIS	105
7.1. CONCLUSÕES GERAIS.....	105
7.2. DIFICULDADES SENTIDAS	107
7.3. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
ANEXOS	I
ANEXO A.....	III
ANEXO B.....	XIII

ANEXO CXVIII

ANEXO DXXIII

ANEXO EXXVII

ANEXO G XXXVI

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Comparação entre Método Tradicional e Metodologia BIM, adaptado de [9]	7
Figura 2.2 - BIM 3D a 7D, adaptado de [15]	8
Figura 2.3 - Função <i>Clash Detective</i> do Navisworks, caso prático 1	12
Figura 2.4 - Ferramenta <i>TimeLiner</i> do Navisworks, caso prático 2	13
Figura 2.5 -- Análise de respondentes que conhecem o conceito BIM e fonte desse conhecimento, adaptado de [5]	15
Figura 2.6 - Análise Comparativa em função da faixa etária, adaptado de [5]	16
Figura 2.7 - Faseamento do Projeto de Implementação BIM	17
Figura 2.8 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 1	17
Figura 2.9 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 2	18
Figura 2.10 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 3	18
Figura 2.11 - Processo de Estimativas de Custo, adaptado de [45]	21
Figura 3.1 - Desvio Orçamental, entre Real e Comercial, de vários equipamentos	26
Figura 3.2 - Constituição de uma estrutura de andaime [54]	27
Figura 3.3 - Cargas de cálculo para plataformas de trabalho das 6 classes [55]	29
Figura 3.4 - Andaime de fachada - Obra: Ed. Carnaxide, ACA	30
Figura 3.5 - Exemplo andaime multidirecional, METALUSA [56]	30
Figura 3.6 - Distribuição dos acidentes de trabalho não mortais referente a três anos, adaptado de [58]	31
Figura 3.7 - Distribuição dos acidentes de trabalho não mortais referente aos últimos 4 anos	32
Figura 3.8 – Orçamento Comercial de andaimes	34
Figura 3.9 - Ficha de obra, obra Complexo Residencial Ed. Carnaxide	37
Figura 3.10 - Comparação entre o valor comercial e real	38
Figura 3.11 - Diferença Orçamental entre Real e Comercial	38
Figura 3.12 - Comparação entre a variação da área e a variação do prazo nas 8 obras	39
Figura 3.13 - Influência dos Condicionaismos	41
Figura 3.14 – Diferenças nos custos unitários entre fase comercial e real: a) Custos unitários montagem/desmontagem b) Custo unitário de Aluguer	42
Figura 3.15 - Tabela Excel influência dos parâmetros nos custos	43
Figura 3.16 - Influência dos parâmetros, em valores globais	44
Figura 3.17 - Exemplo de andaimes em saliências na fachada [63]	48
Figura 3.18 – Exemplo de andaime para instalação de monta cargas [64]	48

Figura 4.1 - Editor Python Script (default)	53
Figura 4.2 - Alturas e comprimentos dos andaimes: (a) Corte transversal (b) Planta	54
Figura 4.3 - Node Dynamo para selecionar elementos	55
Figura 4.4 - Node Dynamo de filtragem	56
Figura 4.5 - Código de identificação dos elementos em Dynamo	56
Figura 4.6 - Fluxograma da Metodologia: Fase 1	57
Figura 4.7 - Fluxograma: Estimação das quantidades em altura	58
Figura 4.8 - Fluxograma: Estimação das quantidades em comprimento	59
Figura 4.9 - Folha Excel dos resultados	65
Figura 4.10 - Fluxograma: Fase 2	66
Figura 4.11 - Node Dynamo de atribuir valor a elementos	67
Figura 4.12 - Project Parameter Properties	67
Figura 4.13 - Nodes Dynamo para criação de linhas temporais	68
Figura 4.14 - Ficheiro CSV exemplo com formato para importação no Navisworks	68
Figura 4.15 - Preenchimento dos campos de importação	69
Figura 4.16 - Comando de ligação automática entre tarefas e elementos	69
Figura 4.17 - <i>Rule Editor</i> configurado para permitir uma ligação automática de elementos às tarefas 70	
Figura 4.18 - Preenchimento automático do campo <i>Attached</i>	70
Figura 5.1 - Delimitação do lote obra Aliados Plaza Hotel	72
Figura 5.2 - Fachadas principais da obra Aliados Plaza Hotel	72
Figura 5.3 - Corte Longitudinal do Edifício, obra Aliados Plaza Hotel	73
Figura 5.4 - Planta Piso 0, obra Aliados Plaza Hotel	74
Figura 5.5 - Macro Planeamento da Obra Aliados Plaza Hotel	74
Figura 5.6 - Interior do edifício, pormenor escadas, obra Aliados Plaza Hotel	75
Figura 5.7 - Interior do edifício, pormenor teto, obra Aliados Plaza Hotel	75
Figura 5.8 - Fase de demolição e contenção das fachadas, obra Aliados Plaza Hotel	76
Figura 5.9 - Modelo inicial Revit, obra Aliados Plaza Hotel	77
Figura 5.10 - Modelo pós preparação para aplicação do código, obra Aliados Plaza Hotel	78
Figura 5.11 - Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra Aliados Plaza Hotel	79
Figura 5.12 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em altura, obra Aliados Plaza Hotel	80
Figura 5.13 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra Aliados Plaza Hotel	80
Figura 5.14 - Segmento do ficheiro Excel dos resultados do código proposto, obra Aliados Plaza Hotel	81

Figura 5.15 - Tabela de Propriedades Revit	81
Figura 5.16 - Workspace Navisworks, obra Aliados Plaza Hotel	82
Figura 5.17 - Código Dynamo: Dados TimeLine Construct, obra Aliados Plaza Hotel.....	82
Figura 5.18 - Código Dynamo: Dados TimeLine Temporary, obra Aliados Plaza Hotel.....	83
Figura 5.19 - Código Dynamo: Dados TimeLine Demolish, obra Aliados Plaza Hotel	83
Figura 5.20 - Ficheiro CSV final, obra Aliados Plaza Hotel	83
Figura 5.21 -Alçado Rua dos Navegantes, obra ERPI Bonfim	84
Figura 5.22 - Planta Piso 0, obra ERPI Bonfim.....	84
Figura 5.23 - Corte Longitudinal, obra ERPI Bonfim.....	85
Figura 5.24 - Macro Planeamento da Obra, obra ERPI Bonfim.....	85
Figura 5.25 - Modelo inicial, obra ERPI Bonfim	87
Figura 5.26 - Modelo pós-preparação, obra ERPI Bonfim.....	87
Figura 5.27 - Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra ERPI Bonfim	88
Figura 5.28 - Código Dynamo: Quantificação no número de andaimes em altura, obra ERPI Bonfim	88
Figura 5.29 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra ERPI Bonfim.....	89
Figura 5.30 – Ficheiro Excel com os resultados do código proposto, obra ERPI Bonfim	89
Figura 5.31 - Ficheiro CSV final, obra ERPI Bonfim	89
Figura 5.32 - Simulação Navisworks: Fase Construção, obra ERPI Bonfim	90
Figura 5.33 - Simulação Navisworks: Fase temporário e demolição, obra ERPI Bonfim	90
Figura 5.34 -Obra Palmares Resort	91
Figura 5.35 - Fotografia retirada na obra Palmares Resort	91
Figura 5.36 - Vista aérea de alguns apartamentos da obra Palmares Resort.....	92
Figura 5.37 - Modelo Final, obra Palmares Resort	92
Figura 5.38 -Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra Palmares Resort	93
Figura 5.39 - Código Dynamo: Quantificação no número de andaimes em altura, obra Palmares Resort	93
Figura 5.40 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra Palmares Resort	94
Figura 5.41 - Segmento do ficheiro Excel dos resultados do código proposto, obra Palmares Resort	94
Figura 5.42 – Ficheiro CSV final, obra Palmares Resort	95
Figura 5.43 - Workspace Navisworks, obra Palmares Resort	95
Figura 5.44 - Simulação Navisworks: Fase Construção, obra Palmares Resort	96
Figura 5.45 - Simulação Navisworks: Fase Demolição, obra Palmares Resort	96

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição Informativa das Obras.....	36
Tabela 2 – Listagem de parâmetros recolhidos	36
Tabela 3 – Identificação da incorreta consideração dos parâmetros nas 8 obras	40
Tabela 4 - Incidência da presença de certos condicionalismos nas 8 obras.....	40
Tabela 5 - Características em obra que resultem na necessidade de uma estrutura de andaimes	45
Tabela 6 - Condicionalismos identificados no estudo de diversas obras	46
Tabela 7 - Distância entre plataformas verticais consoante o tipo de andaime	54
Tabela 8 - Comprimentos das plataformas	54
Tabela 9 - Categorias atribuídas aos comprimentos das plataformas.....	62
Tabela 10 - Rendimentos a considerar consoante o tipo de acabamento	63
Tabela 11 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 1	97
Tabela 12 - Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado	98
Tabela 13 - Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado	98
Tabela 14 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado .	98
Tabela 15 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 2	99
Tabela 16 -Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado	99
Tabela 17 - Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado	99
Tabela 18 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado	100
Tabela 19 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 3	100
Tabela 20 - Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado	100
Tabela 21 -Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado	101
Tabela 22 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado	101
Tabela 23 - Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza	101
Tabela 24 – Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim	102
Tabela 25 - Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort	102

Tabela 26 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza	102
Tabela 27 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim	102
Tabela 28 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort	103
Tabela 29 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza	103
Tabela 30 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim	103
Tabela 31 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort	103

GLOSSÁRIO E ABREVIATURAS

ACT – Autoridade para as Condições do Trabalho

AEC- Arquitetura, Engenharia e Construção

ANN – Artificial Neural Networks

APMEP - Associação Portuguesa dos Mercados Públicos

BIM – Building Information modeling

CAD – Computer Aided Design

CDE – Common Data Environment

CSV – Comma-separated Values

CT – Comissão Técnica

ERPI – Estruturas Residenciais Para Idosos

IFC – Industry Foundation Classes

IPQ- Instituto Português da Qualidade

LOD – Level of Development

n*D – Dimensão

PTPC- Plataforma Portuguesa Tecnológica da Construção

SRV - Support Vector Machines

TI- Tecnologias de Informação

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO GERAL

A partilha de informação dentro dos diversos setores do mercado é, cada vez mais, essencial para garantir e melhorar o desempenho das empresas. Nomeadamente no setor AEC, que é caracterizado por um elevado número de intervenientes e especialidades dentro de um só projeto, e, por isso, torna-se um processo complexo. Desta forma, é fundamental que a partilha desta informação seja feita de forma eficiente, garantindo uma correta gestão da mesma, para que sejam evitados erros e incongruências em desenvolvimentos futuro.

As tecnologias de informação (TI), no setor da construção, surgem como resposta à necessidade de inovação e competição com outros setores mais evoluídos tecnologicamente, permitindo uma mudança nos métodos utilizados pelas empresas, revolucionando o modo como a informação é partilhada e gerida, bem como potencia o trabalho colaborativo. A implementação destas tecnologias no setor da construção tem-se demonstrado um processo lento e conservador devido ao grande investimento inicial necessário e aos riscos associados à respetiva implementação, comparativamente a outros setores [1].

A introdução da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM) na comunidade AEC veio inovar os métodos tradicionais, oferecendo ao utilizador uma variedade de potencialidades e soluções que automatizam e simplificam alguns dos processos mais desafiantes e trabalhosos que o setor enfrenta, possibilitando assim um incremento na produtividade e rentabilidade do mesmo. Simultaneamente, esta adoção por parte das empresas e dos utilizadores tem-se revelado fraca e limitativa, dado que a maioria destes utilizadores apenas usa as capacidades gráficas do BIM. No entanto, o paradigma tem vindo a alterar-se com a utilização mais abrangente da gama de potencialidades que esta tecnologia oferece, particularmente na redução de custos associados ao projeto e na otimização das quantidades estimadas [2]. Há, no entanto, uma menor incidência destes usos em questões diretamente relacionadas com o desenvolvimento e controlo da obra, especificamente no planeamento e gestão de tarefas.

O estímulo e aposta na aplicação desta metodologia, a fim de reconhecer novos contributos e outras gamas de aplicabilidade no setor e solucionar falhas e ineficiências do mesmo, contribui para uma exposição das vantagens da inclusão desta metodologia nas práticas e modos de trabalho da empresa.

1.2.OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

A ineficiência do setor da construção a nível nacional persiste em virtude de certas características que vão sendo identificadas em todas as fases e por todos os intervenientes ao longo de todo o ciclo de vida de uma obra, podendo ser estimulada desde atrasos na tomada de decisão, tanto pelo dono de obra como por outro interveniente, até à escassez de material disponível em obra provocada por atrasos dos fornecedores ou por um planeamento e preparação de obra inadequado.

A escassez de informatização nos processos de trabalho, a ausência de métodos automatizados a utilizar nos processos, a identificação de erros e omissão de informação nos projetos e o baixo nível de produtividade dos trabalhadores representam também fortes indicadores desta ineficiência que acabam por denegrir a reputação do setor AEC, prejudicando a rentabilidade, confiança e qualidade das empresas e das suas obras.

Por sua vez, a abordagem, através de métodos tradicionais, torna-se cada vez menos praticável à medida que as exigências no setor vão sendo cada vez maiores, contrastando com os recursos disponíveis que, por sua vez, vão sendo progressivamente menores.

A esfera de aplicabilidade desta dissertação consiste na procura de uma resposta aos indicadores de ineficiência instigados pelos métodos tradicionais através da elaboração de um algoritmo que permita, recorrendo às aptidões da metodologia BIM, auxiliar, em tempo real, o papel dos profissionais na tomada de decisões, em fase de preparação de obra, fundamentando e apoiando a adequabilidade e eficácia da adoção de determinadas estratégias em obra. Esta proposta pretende também incidir no contributo de uma melhoria do controlo da gestão dos recursos em obra e dos custos respetivos, através da implementação de uma metodologia de cálculo mais exata, melhorando também a produtividade dos trabalhos ao adotar ferramentas mais inovadoras e otimizadas.

O objetivo central deste processo visa facilitar o trabalho dos intervenientes na obtenção de soluções que se adequem de forma mais precisa às características e necessidades em obra. Consequentemente, torna-se possível a previsão correta dos elementos necessários, contribuindo para que, em fase de execução, não surjam imprevistos que possam comprometer o desenvolvimento futuro da obra. Do mesmo modo, esta estratégia irá também permitir obter um maior controlo dos custos envolvidos e minimizar os desperdícios causados por uma preparação inadequada e ineficiente.

1.3.ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação apresenta-se estruturada em seis capítulos, seguindo o seguinte formato:

O capítulo 2, *Estado de Arte*, acompanha uma apresentação e explicação aprofundada das temáticas circundantes ao tema, esclarecendo alguns dos conceitos base envolvidos em termos de: *o que consiste? o que permite fazer? quais os contributos*, prosseguindo para uma sensibilização do estado atual da implementação do BIM a nível nacional e nas empresas portuguesas de construção. Adicionalmente, estabelece-se um ponto de ligação entre a metodologia BIM e a fase de preparação e controlo em obra, permitindo alcançar o *core* da temática principal deste estudo, ou seja, aplicação do BIM em fase de preparação e controlo.

O capítulo 3, *Preparação e Orçamentação de Soluções de Andaime*, procura esclarecer o método tradicional utilizado, pela empresa em estudo, na determinação de soluções de andaime e expressar a necessidade de elaborar um processo mais adequado face à ineficiência do método tradicional, expondo as principais falhas envolvidas neste processo.

O capítulo 4, *Proposta de um Código para Gestão e Otimização de Soluções de Andaime*, concentra-se na descrição detalhada da estrutura e modo de aplicabilidade do processo automatizado, apresentando o modo de funcionamento das diversas componentes do algoritmo, bem como o que permite determinar.

O capítulo 5, *Aplicação do Código para Gestão e Otimização de Soluções de Andaime*, procura analisar a viabilidade da adoção do algoritmo proposto na obtenção de resultados relativos à solução proposta da estrutura de andaime, através da sua aplicação em três casos de estudo reais.

O capítulo 6, *Conclusões Finais*, reúne as principais conclusões que foram sendo retiradas ao longo da realização deste estudo, bem como as principais dificuldades encontradas e, ainda, uma observação quanto à potencialidade de trabalhos futuros relativamente ao desenvolvimento e aperfeiçoamento desta proposta.

Adicionalmente, em anexo encontram-se as fichas de obra analisadas, os scripts de código que compõem o algoritmo proposto e ainda os resultados finais do algoritmo para cada caso de estudo.

2 ESTADO DE ARTE

2.1. BUILDING INFORMATION MODELING

2.1.1. ENQUADRAMENTO DO BIM NO SETOR AEC

Inicialmente, os métodos práticos utilizados na indústria AEC consistiam em representações a 2D em suporte de papel. De facto, uma construção, por mais simples que seja, está sempre sujeita a contribuições multidisciplinares que, geralmente elaborados, de forma independente e por diversos autores. A evidência desta fragmentação e desorganização no setor, em conjunto com uma ineficiência de partilha de informação, leva a que surjam erros na fase de projeto e conceção, desperdícios, altos custos de produção e uma baixa qualidade do produto final [3].

Da mesma forma, o facto de os projetos de construção serem cada vez mais complexos de gerir e mais exigentes, em termos de rentabilidade e qualidade no setor, surge como resposta a estas carências, o desenvolvimento e adoção de várias tecnologias inovadoras de forma a minimizar os impactos negativos provocados pelo modelo tradicional.

Por sua vez, os desafios que o setor atualmente enfrenta, em termos de otimização, sustentabilidade, preocupações energéticas e contributo da sensibilização das práticas Lean no setor AEC, contribuíram para o despoletar de uma reforma dos métodos tradicionais e criação de novos métodos.

A evolução das tecnologias de informação impulsionou o desenvolvimento de ferramentas de trabalho, particularmente relacionadas com o desenvolvimento de projetos e desenhos, como o CAD. Este software, comparativamente ao método de desenho manual, proporciona mais qualidade, eficiência e agilidade aos trabalhos [4].

As ferramentas CAD permitiram uma maior automatização de algumas tarefas de desenho, através da manipulação de elementos geométricos e massas arquitetónicas para a criação de modelos digitais tridimensionais. Ainda assim, os elementos modelados não possuíam a informação necessária para permitir mais do que a representação gráfica. O registo e a gestão da informação referente ao projeto continuavam a não estar integrados no próprio modelo.

O método representativo CAD assume-se assim, como um processo sujeito a falhas e incapacidades consideradas limitativas. Este aspeto levou ao impulsionamento da evolução desta tecnologia, convergindo numa metodologia que concilia as exigências e requisitos do setor com as capacidades informáticas em falta, concretizando as necessidades já sentidas, tendo sido designada por *Building Information Modeling* [4].

2.1.2. CONCEITO BIM

O BIM, por definição, é um modelo de informação digital, constituído por um conjunto de representações de elementos individuais devidamente parametrizados e com as devidas propriedades. Os modelos BIM incorporam um conjunto de informações, podendo abranger todas as fases de uma obra, desde a sua conceção e projeção à respetiva construção e manutenção.

O BIM estabelece um marco na evolução das competências de desenho e visualização tridimensional disponíveis, permitindo a incorporação de um vasto leque de informações relevantes ao estudo, enriquecendo o modelo, permitindo uma simplificação do processo de análise, compreensão e de informação do modelo, independentemente da fase da obra. Estas informações remetem à implantação da própria construção, topografia, dimensionamento, geometria, características e propriedades dos materiais e a identificação visual destes materiais, quantidades, custos, planificação da obra, prazos, sustentabilidade e ciclo de vida e manutenção [5].

Assim, torna-se progressivamente mais evidente o papel da contribuição da metodologia BIM na melhoria da capacidade e produtividade dos trabalhos a realizar no setor. A tecnologia BIM estimula uma nova metodologia de trabalho, incutindo no setor um novo paradigma que está a mudar o modo como se projeta e controla a construção.

Denota-se que, apesar dos benefícios evidentes do BIM, esta metodologia, à semelhança de outros softwares e programas, acarreta limitações e inabilidades, particularmente no contexto do setor da construção, onde as construções são distintas entre si e onde há um conjunto de imprevisibilidades que não conseguem ser antecipadas e/ou controladas. Estes obstáculos são, a título de exemplo, a ocorrência de imprevistos e atrasos causados por fatores, diretamente ou indiretamente, relacionados com a obra. Em particular, a dinamização da obra e do estaleiro, uma vez que estes não são estáticos e estão em constante movimentação ao longo de toda a obra e também a quantidade elevada de mão de obra e outras características do setor da construção civil, que tornam a indústria da construção num processo mais difícil de padronizar, em oposição a outros setores que são mais industrializáveis.

2.1.3. MÉTODO TRADICIONAL VS METODOLOGIA BIM

Ferreira [6] identifica a elevada quantidade de tempo e custo despendido para a recolha e gestão de informação como um dos problemas mais recorrentes do método de trabalho tradicional. A maioria dos erros identificados, abstraindo da fase da obra, são resultantes da falha de comunicação entre os intervenientes.

No método tradicional, a partilha de informação é caracterizada como pesada e desordenada. Por outro lado, a interação entre intervenientes no método BIM é flexível e simultânea, havendo uma partilha transparente entre todos. Esta reformulação no modo de partilha de informação permitiu um alívio e descomplicação no método de comunicação do setor, elemento-chave para uma gestão eficiente de todo o ciclo de vida de uma obra.

O trabalho colaborativo traduz-se na laboração em modelos “live”, no qual se pode analisar o impacto das graduais modificações no modelo pelos vários intervenientes [7]. O BIM facilita a comparação contínua, em tempo real, entre as várias alterações no projeto e a influência das mesmas, tanto em questões de quantidades envolvidas, como em termos de colisões dos elementos e custos associados[8]. Este autor reconhece também o BIM como sendo o método existente mais completo em questões de *Building design e facility information management*.

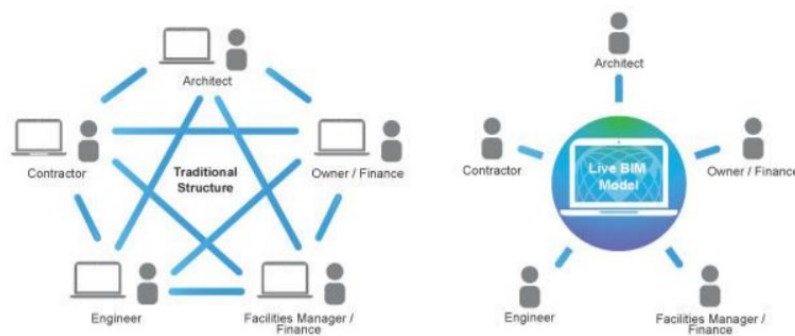


Figura 2.1 - Comparação entre Método Tradicional e Metodologia BIM, adaptado de [9]

2.2.INTEROPERABILIDADE

2.2.1.CONCEITO

O conceito BIM assenta numa metodologia de partilha de informação entre todos os intervenientes, durante todas as fases do ciclo de vida da edificação, materializando-se num modelo digital tridimensional [9].

Neste pressuposto, o conceito de interoperabilidade pode ser definido pela capacidade de transmissão de dados entre aplicações, partilha de informação e capacidade de várias aplicações trabalharem em conjunto.

Uma das principais causas de ineficácia sentida no setor está relacionada com o uso desordeiro de diversas ferramentas digitais num único projeto. O recurso a estes diferentes softwares, que por vezes são incapazes de permitir uma troca de informação segura e de confiança, agrava o processo de comunicação e compatibilização de todos os trabalhos das várias especialidades, resultando em erros e defeitos nos modelos, o que suscita um incremento nos custos do projeto [10].

A padronização da informação é um desafio técnico e organizacional que urge ser superado. Neste sentido, tem havido um grande esforço em solucionar esta problemática que retrata a necessidade de transferir informações entre aplicações, permitindo que múltiplos programas possam colaborar em conjunto e contribuir para o mesmo trabalho [11]. A resposta surgiu com a criação de um formato de troca informação denominado por IFC, desenvolvido pela BuildingSMART.

2.2.2.INDUSTRY FOUNDATION CLASSES -IFC

O IFC é um sistema de troca de dados baseado na geometria e na definição de relações entre diferentes propriedades dos objetos definidos [12]. Este sistema visa, essencialmente, a troca de informação entre sistemas e intervenientes, permitindo assim, que o BIM se mantenha, o mais possível, numa base aberta, para que se estabeleça uma independência entre o programa utilizado inicialmente no projeto e os posteriores utilizadores.

O modelo IFC representa diversos componentes, tais como elementos estruturais de construção, janelas e portas, mas também elementos mais abstratos como horários, espaços, custos e logística. Por sua vez, estes elementos possuem uma série de atributos, nomeadamente, identificação única, nome, geometria, materiais, inter-relacionamentos e outros [13].

A principal vantagem do uso destes modelos prende-se com a salvaguarda de toda a informação BIM durante a transferência de dados, tanto em questões geométricas como de parametrização [6]. O IFC designa um formato universal para a representação dos produtos da construção e troca de dados entre sistemas que, não sendo ainda um formato de interoperabilidade standard, já é recorrente em aplicações BIM.

2.3.DIMENSÕES BIM

Os modelos BIM possuem imensas funcionalidades que vão sendo ajustadas de acordo com a fase do projeto em análise, assim como a informação que vai sendo acrescentada ao modelo consoante a evolução do mesmo. Isto permite que, dentro do modelo BIM, sejam criados vários níveis de informação à medida que o modelo ganha complexidade e informação, materializando-se assim em várias dimensões [5]. O acréscimo de dimensão ao passo da evolução do modelo tem como denominação modelos “nD”.

Estes modelos multidimensionais surgem, numa fase mais inicial, como apenas modelos tridimensionais e vão evoluindo até modelos mais ambiciosos e complexos como modelos 7D. A evolução destes modelos, do 3D ao 7D, encontra-se representada na Figura 2.2.



Figura 2.2 - BIM 3D a 7D, adaptado de [15]

Numa primeira instância, é criado, em fase de projeto, um modelo tridimensional paramétrico, designado por **BIM 3D**. Este modelo permite uma visualização realista do projeto, possibilitando até a navegação e visualização dentro do próprio modelo e a identificação, visual, das várias componentes das diversas especialidades presentes no modelo. Esta dimensão contribui significativamente para a melhoria da troca de informação e comunicação entre todos os intervenientes, permitindo a geração diversificada de peças de desenhos e imagens, tais como, plantas, cortes, perspetivas e animações de soluções construtivas.

Adicionando a componente temporal ao modelo anteriormente descrito, atinge-se um novo nível: **BIM 4D**. A integração do planeamento com o modelo BIM permite, em termos genéricos, extrair e visualizar o progresso das atividades e o modo como se desenvolvem ao longo do processo construtivo.

Uma das principais utilidades deste nível diz respeito à contribuição do rigor e eficácia do planeamento das tarefas. A compatibilização entre quantidade de trabalho efetivamente necessária e a produtividade da equipa, permite definir, com maior exatidão, a duração das tarefas, tal como toda a logística de equipamentos e recursos em obra, por meio de recriação de múltiplos cenários possíveis em obra.

Esta dimensão do BIM possibilita, à medida que o projeto vai sendo desenvolvido, que sejam inseridas alterações e ajustes considerados necessários no desenvolvimento da obra, permitindo identificar o impacto dessas mudanças no planeamento e na duração geral da obra.

Posteriormente, contemplando o fator financeiro, surge o nível **BIM 5D**. Esta dimensão permite obter diversas simulações do projeto que, antes de iniciar a obra e na fase de projeto, viabilizam o estudo das possíveis adaptações ou alterações no projeto que contribuem para a obtenção da melhor solução económica, contribuindo para um controlo mais rigoroso de custos, fundamental na mitigação de derrapagens em obra.

Quanto à sexta dimensão, BIM 6D, é de realçar que a denotação desta dimensão não é consensual na comunidade AEC, sendo que alguns autores associam o nível 6D à gestão do edifício, posto que consideram o fator sustentabilidade como sendo transversal a todos os níveis. Outros autores já destacam a necessidade de haver uma dimensão própria para questões relacionadas com o ciclo de vida e sustentabilidade. Esta interpretação foi adotada neste estudo, como se pode compreender na Figura 2.2. Este nível viabiliza diferentes abordagens de análise relacionadas com questões associadas ao consumo de energia, emissões para a atmosfera, e certificados de edificação verde [4].

Por fim, a última e sétima dimensão, é referente à inclusão do fator de utilização do edifício: **BIM 7D**. Partindo do pressuposto que a fase de utilização é a mais longa e, por consequência, a mais dispendiosa, torna-se pertinente direcionar o estudo de modelos BIM também à gestão e manutenção de edifícios. Estes modelos abrangem informações relativas aos fabricantes, fornecedores, referências e garantias de equipamentos, bem como outros aspetos mais específicos que traduzem o que foi usado na construção.

2.4.BIM 4D

Os modelos 4D, conforme Gouveia [14], surgiram na década de 80, tendo sido desenvolvidos pelas principais empresas de construção de infraestruturas, energia e projetos onde se registavam continuamente atrasos e erros cujo impacto conduzia a elevados custos finais. Estes modelos eram elaborados de forma manual usando uma compatibilização entre modelos 3D e elementos fotográficos registados em cada fase do projeto. Este processo tornou-se mais automático na década de 90 com a criação destes modelos através de links de geometrias 3D. O BIM veio permitir aos intervenientes criar, rever e editar modelos 4D com uma maior facilidade e frequência.

Os modelos BIM 4D trazem, segundo Monteiro e Martins [15], uma nova abordagem ao planeamento e controlo da obra. O contributo mais significativo destes modelos refere-se à componente visual do modelo, uma vez que as suas capacidades contribuem para a clarificação da sequência de construção e para a diminuição da ambiguidade na perceção de constrangimentos espaciais. Outra particularidade deste modelo é a possibilidade de exploração de diversos cenários de forma a encontrar a melhor solução possível.

Estas competências do modelo BIM 4D são sobretudo utilizadas no âmbito da direção de obra e fase de projeto, por permitirem analisar e visualizar o projeto e desenvolvimento da obra, apoiando a tomada de decisão em questões de viabilidade das operações planeadas, planeamento da obra, estimativa e gestão de custos, comunicação e gestão contratual com clientes e fornecedores.

Atualmente, existem no mercado um conjunto diversificado de softwares BIM 4D, sendo que, no setor AEC, o mais recorrente é o Navisworks da Autodesk. Verifica-se também a existência de softwares que analisam não só a dimensão 4D como também a 5D. A colaboração destas duas dimensões complementa a análise temporal com o fator custo que acaba por estar correlacionado.

2.4.1. BENEFÍCIOS DO BIM 4D

As tecnologias BIM apresentam múltiplos benefícios na produtividade e qualidade do trabalho no setor da construção em comparação com os métodos tradicionais. Por sua vez, sobrepondo essas competências já conhecidas às capacidades adicionais da dimensão 4D, é possível destacar as seguintes vantagens da quarta dimensão BIM [11][16]:

1. Visualização de Cronogramas: A possibilidade de criar e visualizar de forma intuitiva o cronograma de um projeto é uma das competências mais utilizadas dos modelos 4D;
2. Comunicação: Os projetistas podem comunicar e informar visualmente a estratégia de desenvolvimento da obra a todas as partes envolvidas no projeto. Os modelos 4D têm a capacidade de combinar questões espaciais e temporais num cronograma que permite uma perceção mais clara e eficaz desse mesmo cronograma, em contraste com o método tradicional antes usado, o diagrama de Gantt;
3. Trabalho colaborativo: Os modelos 4D tornam-se adequados e contribuidores de um ambiente colaborativo de trabalho dentro da equipa, na medida em que facilitam e clarificam o meio de comunicação entre todos, conseguindo assim uma melhor coordenação entre todos os envolvidos;
4. Simulações 4D: A simulação do desenvolvimento do processo construtivo com o planeamento da obra permite avaliar a construtibilidade, bem como obter uma aproximação real das condições e disposição da construção e da implantação numa fase inicial. Esta capacidade funciona como a exploração de cenários “*what-if*”, permitindo antecipar riscos e incertezas associadas ao projeto;
5. Apoio à decisão: Numa construção, é frequente o surgimento de imprevistos e problemas que, se não forem acautelados atempadamente, acabam por afetar e condicionar o desenvolvimento da obra. De facto, existem inúmeras possibilidades e cenários possíveis, mas pouco tempo para estudar de forma aprofundada e responsável todos eles. Assim os modelos 4D permitem realizar esse estudo de forma rápida, melhorando assim a qualidade das decisões a ser tomadas no projeto;
6. Replaneamento: Estes modelos também permitem, de acordo com o desenvolvimento do projeto, avaliar o planeamento feito inicialmente e alterar ou modificar sempre que se mostrar necessário e benéfico para redirecionar o rumo do projeto para o objetivo final. Existe uma flexibilidade na introdução destas alterações no modelo, o que acaba por ser fundamental para não comprometer o projeto com atrasos de replaneamento;

7. Análise do projeto: Estes modelos apresentam também outras vantagens complementares como:
- Método para analisar e demonstrar certas implicações e constrangimentos afetos à construção de uma determinada obra, como o tipo de impacto da obra no tráfego envolvente e quais os melhores acessos à obra;
 - Detecção de conflitos no projeto entre especialidades que permite não só minimizar as quantidades necessárias de material, diminuindo por consequência os desperdícios materiais, como também evitar a necessidade de efetuar alterações na fase de construção, conseguindo-se assim ganhos temporais;
 - Dinâmica do estaleiro, permitindo assim gerir e posicionar os diversos elementos de estaleiro, assim como as alterações necessárias ao longo da obra, de forma eficiente.
 - Alocação dos recursos em obra, facilitando a identificação dos recursos existentes no local;
 - Saúde e Segurança na obra

2.4.2.LIMITAÇÕES DOS MODELOS BIM 4D

O conceito BIM introduziu, de forma geral, uma grande vantagem, comparativamente aos métodos tradicionais, no trabalho e nas tarefas a realizar no setor. No entanto, o conceito não prescinde de algumas limitações, acabando por se estender também às suas dimensões.

Uma das principais dificuldades deste modelo é referente à pormenorização requerida aos modelos 2D e 3D na modelação 4D para que estes espelhem realisticamente as características e pormenores do projeto. Este nível de detalhe exige, por sua vez, que os modelos tenham um elevado número de ligações paramétricas, dificultando a manipulação dos mesmos, tornando o processo moroso e demorado, o que requer o apoio de profissionais experientes e qualificados [17][15].

Por outro lado, o modelo 4D não consegue contabilizar e representar a influência de algumas atividades externas ao ambiente de trabalho 3D, tais como, aquisição e aprovação de terrenos, fabricação de materiais, que estimula, muitas vezes, uma obstrução significativa ao desenvolvimento e planeamento da obra. O modelo 4D também não está capacitado para analisar e quantificar a influência de atrasos e flutuações de durações e planeamento no caminho crítico existente [18].

Adicionalmente, os modelos 4D demonstram problemas na integração de diferentes ambientes de modelação, nomeadamente a baixa interoperabilidade entre softwares, dificuldades em automatizar a ligação entre objetos 3D e o planeamento, a baixa maturidade dos softwares e a limitação das ferramentas e funcionalidades do planeamento [19].

Por último, outras falhas evidenciadas remetem à limitação da visualização tridimensional do planeamento, não sendo este possível de visualizar continuamente. Por sua vez, a não representação das durações das atividades de forma quantitativa, sendo apenas apresentada a duração do tempo de simulação, a falta de uma distinção nítida entre atividades a executar em simultâneo e a concretização das relações entre atividades antecessoras e sucessoras representam aspetos que retratam a insuficiência deste modelo [15][20].

2.4.3.AUTODESK NAVISWORKS

O Navisworks da Autodesk é um software que integra modelos BIM e analisa modelos 3D, através das suas ferramentas de integração, análise e comunicação. Este programa promove a gestão e controlo de

prazos e custos de uma obra através da sua capacidade de melhoria da coordenação dos modelos BIM e controlo de cronogramas e custos por intermédio de simulações 4D e 5D.

Os principais objetivos deste software dizem respeito à coordenação entre as diferentes especialidades de um projeto e a deteção de conflitos entre as mesmas, à visualização do processo construtivo e ao cálculo de custos totais [21].

Contrariamente ao software Revit, que deteta conflitos de um modo mais simplista, o Navisworks, permite conciliar e compatibilizar, num único modelo, os diversos dados e modelos das especialidades envolvidas. Por consequência, a sobreposição de modelos possibilita a avaliação da existência de conflitos durante todo o processo construtivo e resolução de problemas de interferências.

Do mesmo modo, após identificados os conflitos, as ferramentas do Navisworks permitem analisar as causas e as respetivas soluções, que podem ser visualizadas a partir das capacidades tridimensionais do software. Procede-se então à introdução de alterações que sejam necessárias até que todos os conflitos condicionantes sejam resolvidos.

Na Figura 2.3. está representada a função *Clash Detective* do software que, uma vez identificadas as interferências de forma instantânea, permite, em fase de projeto, corrigir e efetuar as modificações necessárias para que não ocorram atrasos e/ou desperdícios em fase de construção.

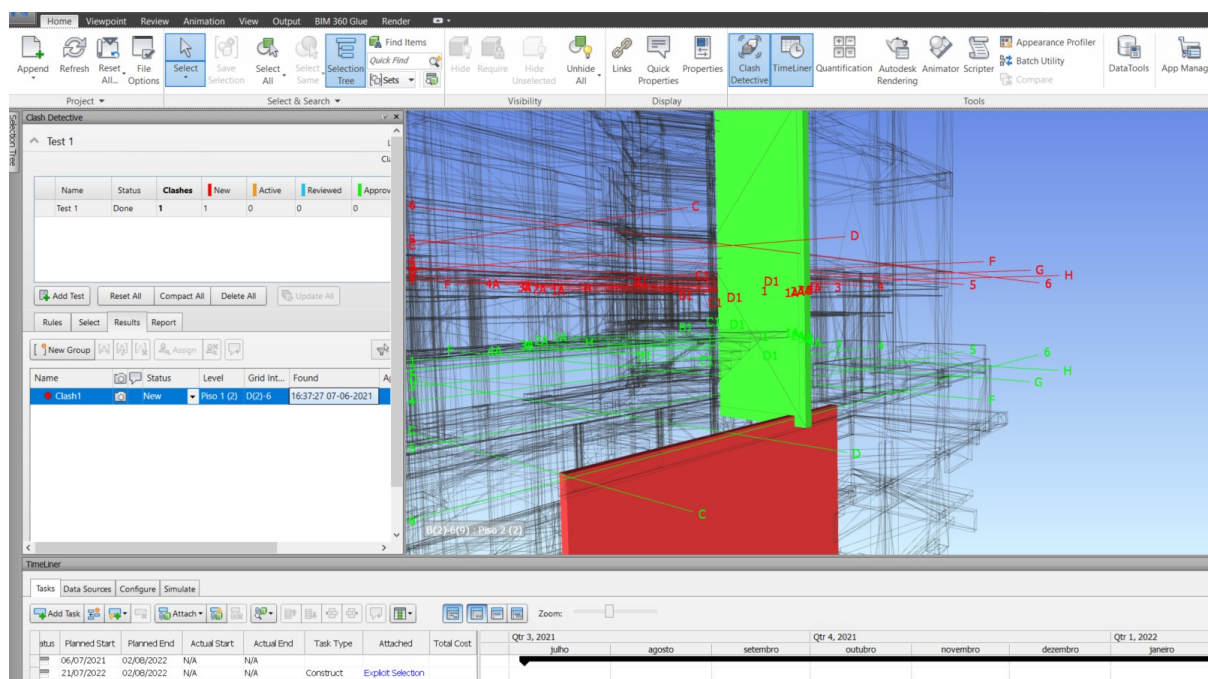


Figura 2.3 - Função *Clash Detective* do Navisworks, caso prático 1

Por outro lado, a sua ferramenta de simulação em 4D permite o acompanhamento da evolução da obra através de simulações das tarefas no *TimeLiner* do Navisworks, representado na Figura 2.4, introduzidas de forma manual ou através de outros softwares como o MsProject. Este modelo 4D, onde está representado todo o cronograma da obra, permite, em tempo real, observar todas as fases e logística necessária, acompanhando e controlando o desenvolvimento da obra, de forma evitar atrasos, custos de mão de obra parada e perda de material.

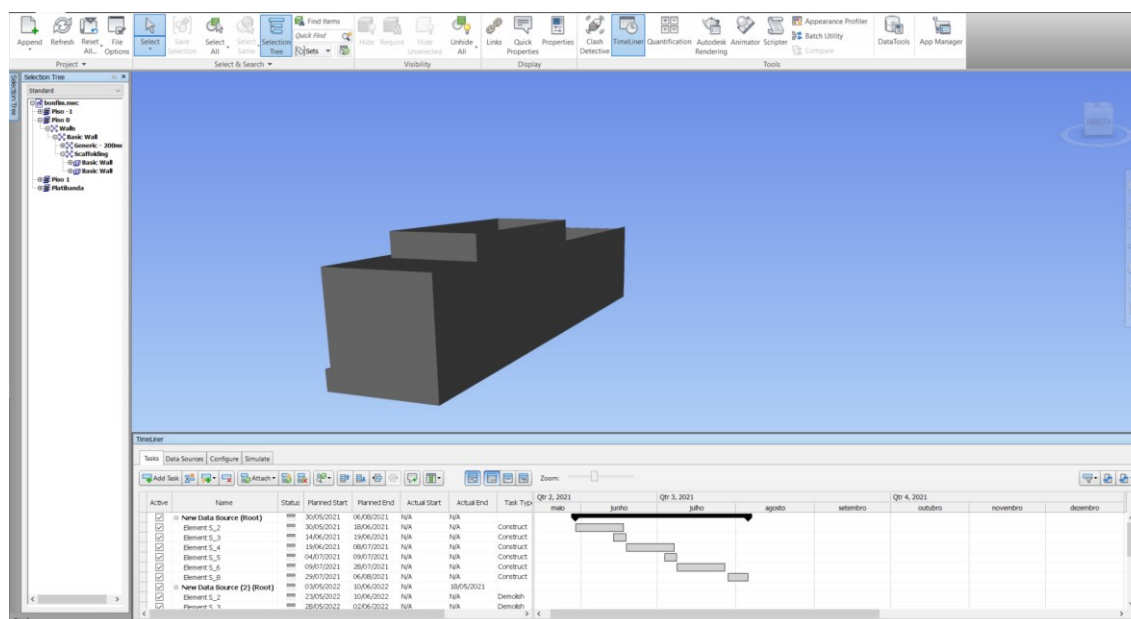


Figura 2.4 - Ferramenta *TimeLiner* do Navisworks, caso prático 2

2.5.BIM EM PORTUGAL

A metodologia BIM, a nível nacional, tem vindo a ser alvo de interesse pelos profissionais do setor AEC, havendo cada vez mais uma crescente consciencialização da potencialidade e benefícios para o setor.

A normalização do conceito BIM em Portugal deve ser encarada como uma oportunidade de reorganização do setor e uma otimização dos processos e fluxos de informação envolvidos. A sua implementação permite não só potenciar sinergias entre diversos agentes, como também dar oportunidade para incentivar a inovação como mecanismo que incrementa a produtividade no setor [22].

Com a contenção de despesas e o financiamento europeu, verificou-se uma redução do volume de negócios em infraestruturas e obras públicas e uma maior exigência do mercado, o que obrigou a que as empresas repensassem a sua própria filosofia e estratégia. Esta adaptação passa pela modernização e inovação da empresa [23].

Alguns dos fatores que contribuem para a baixa produtividade no setor dizem respeito à inadequação das tecnologias utilizadas e à quase inexistência de inovação nos métodos de trabalho utilizados [24]. Este estímulo na inovação das empresas do setor da construção reflete-se como um aumento na vantagem competitiva e na melhoria da eficiência das organizações [25].

Assim, o futuro da construção advém da adoção de tecnologias digitais, como o BIM, que proporcionam eficiência, qualidade e satisfação dos *stakeholders*. Os trabalhadores do conhecimento terão também um papel fundamental na gestão de projetos e processos, como recurso à realidade mista e inteligência artificial e na automação da construção [26].

A adoção dos conceitos BIM no setor nacional têm sido aplicados a um conjunto de áreas, com uma maior expressão na fase de projeto e preparação de obra, uma vez que uma das suas principais vantagens é a antecipação das decisões do projeto, quantificação de elementos e identificação de erros que têm grande relevância na orçamentação [27].

Apesar de todas as indicativas e projetos criados no setor, há uma grande premência na criação e adoção de normas BIM nacionais. De facto, a normalização nacional é uma temática frequentemente abordada em estudos e a sua necessidade é cada vez mais indubitável. O processo de normalização em Portugal está ainda em fase embrionária, havendo, no entanto, um grupo da Comissão de Normalização Europeia, representado no Instituto Português da Qualidade (IPQ) com o objetivo de desenvolvimento de uma norma BIM europeia. Este grupo pretende garantir que há uma convergência de esforços, tanto nacionais como europeus, para gerar o conhecimento base necessário para a formalização de um documento de âmbito nacional [22]

2.5.1. INICIATIVAS DO BIM A NÍVEL NACIONAL

Algumas iniciativas como o grupo de trabalho BIM (GTBIM) da Plataforma Portuguesa Tecnológica da Construção (PTPC) representam um contributo valioso para as dinâmicas de normalização, auscultando a indústria e gerando uma visão integrada, que será considerada numa estratégia *bottom-up* e que permitirá atingir um mais rápido consenso. Esta plataforma pretende promover a reflexão sobre o setor, apoiar as iniciativas e projetos de investigação, impulsionando a inovação e o desenvolvimento do setor para que haja uma contribuição significativa na competitividade do mesmo.

Outras iniciativas, como a Comissão BIM da Associação Portuguesa dos Mercados Públicos (APMEP), estão também a contribuir ativamente, especialmente no que diz respeito à participação numa rede BIM europeia de entidades públicas e ao trabalho de integração do BIM nos processos de contratação pública que, aliás, recebe especial atenção nas novas diretivas europeias da contratação pública [28].

Em 2014 foi publicada a diretiva europeia 2014/24/EU que recomenda a utilização de BIM em concursos públicos, o que acabou por influenciar o surgimento de uma comissão técnica europeia, denominada de CEN/TC442. Esta comissão pretende definir guias, normas e apoiar na criação de estratégias para apoiar e incentivar a implementação do BIM no setor. A presença de representação portuguesa nesta comissão refletiu-se na Comissão Técnica 197 (CT197 – BIM) [29].

Por sua vez, em 2016 foi organizada a primeira edição do Congresso PTBIM que atualmente já regista a sua 3ª Edição. Esta iniciativa objetiva promover um fórum de discussão técnico-científica, envolvendo a participação ativa de várias comunidades, profissionais e académicas, dentro do setor AEC, destacando problemas e incentivos relativos à implementação do BIM na indústria da construção e enfatizar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.

Vinagre [30], realça a importância do envolvimento de todas as entidades no processo de implementação do BIM no setor, particularmente o papel do Estado, não só na imposição da obrigatoriedade dos usos BIM em obras públicas, à semelhança dos exemplos de outros países com um nível mais elevado de implementação, mas também no incentivo e contribuição para a criação de uma normalização deste usos.

2.5.2. CT197-BIM

A criação e desenvolvimento de guias e normas são cruciais para que o setor funcione como um todo e para que o trajeto de implementação do BIM no setor seja traçado de forma consistente. Neste sentido, a CT197-BIM tem trabalhado nesse propósito, tendo já produzido documentação relevante como o Guia de Contratação BIM e Plano de Execução BIM [31].

A comissão técnica de Normalização, CT, é um órgão técnico que visa a elaboração de documentos normativos e a emissão de pareceres normativos, em determinados domínios, no qual podem participar

as entidades interessadas nas matérias em causa, traduzindo, tanto quanto possível, uma representação equilibrada dos interesses socioeconómicos, para que os documentos normativos possam representar um consenso alargado, ser aceites pelo mercado e efetivamente implementados [28].

A missão da CT197 tem como fundamento o desenvolvimento de sistemas de classificação, modelação de informação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção, pressupondo uma inevitável mudança no setor com vista a indústria 4.0 e uma modernização da mesma [32].

2.6.IMPLEMENTAÇÃO NAS EMPRESAS PORTUGUESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O processo de implementação das metodologias BIM é demorado e complexo, em particular a nível nacional devido à relutância das empresas em mudar de paradigma e ao pouco conhecimento do conceito no setor AEC. Neste pressuposto, torna-se essencial perceber o nível de maturidade nas empresas do setor e da empresa em estudo.

2.6.1.AVALIAÇÃO DA MATURIDADE NO SETOR NACIONAL

Em 2015, Venâncio [5] realizou um estudo relativo ao conhecimento e implementação do BIM por parte de um conjunto de profissionais do setor, no qual evidenciou a existência de um número elevado de profissionais que desconhece o conceito BIM. A Figura 2.5, retrata esse estudo, no qual se pode verificar que apenas 52,5% conhece o termo BIM, dos quais 46,7% teve conhecimento através de pesquisa e 45,8% através de formação.

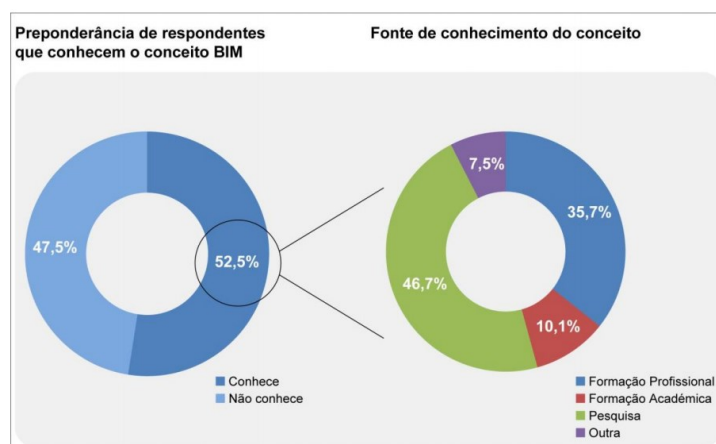


Figura 2.5 -- Análise de respondentes que conhecem o conceito BIM e fonte desse conhecimento, adaptado de [5]

Neste mesmo estudo, quando averiguada a faixa etária dos participantes, verificou-se, como se pode constatar na Figura 2.6, que o conhecimento da metodologia, à data, tende a diminuir com o aumento da faixa etária.

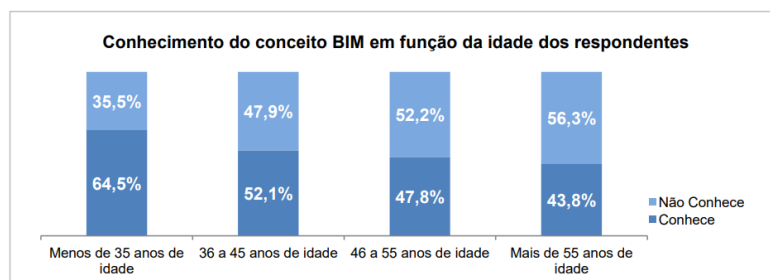


Figura 2.6 - Análise Comparativa em função da faixa etária, adaptado de [5]

Este estudo veio reforçar a ideia de que o BIM em Portugal está numa fase embrionária, mas que existe um forte interesse e vontade na implementação no setor. As instituições de ensino representam um maior conhecimento na matéria, tendo-se evidenciado que a aposta em formações e guias de procedimento são um fator determinante para o sucesso da implementação do BIM.

2.6.2.BIM NO GRUPO ACA

O grupo ACA tem vindo a expandir a sua área de intervenção para além do conceito primordial de construção e engenharia, intervindo também sobre questões de ecologia, sustentabilidade, eficiência e otimização, que nos dias de hoje são de carácter fundamental em qualquer setor.

O desenvolvimento tecnológico e digital cada vez mais presente no mercado nacional e o crescente mercado de trabalho com projetos em BIM, impulsionou a criação de uma equipa de profissionais responsáveis pelo investimento da metodologia BIM na empresa, de forma a garantir uma capacidade de resposta face a esses projetos e também de forma a expandir a área de negócios da empresa.

A implementação do BIM no grupo ACA é um processo recente que tem vindo a acompanhar um Plano de Implementação do BIM, criado pela consultoria BIMMS. A implementação irá ocorrer em três empresas do grupo, ACA Engenharia, AMBIÁGUA e IELAC, encontrando-se atualmente na fase de Formação, enquadrada no plano de faseamento do projeto de implementação BIM, ilustrado na Figura 2.7. Esta fase resume-se na participação dos elementos da empresa em formações e aulas de aprendizagem contínua da metodologia BIM.

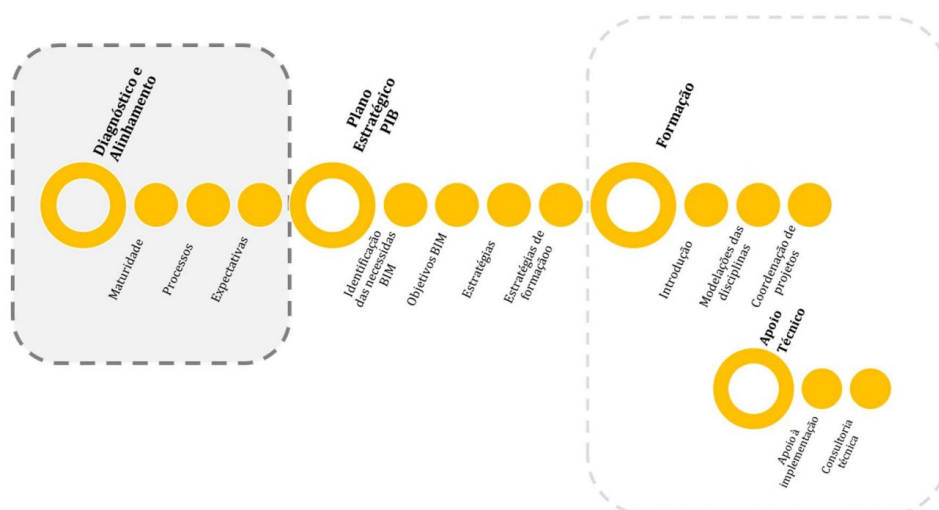


Figura 2.7 - Faseamento do Projeto de Implementação BIM

Um estudo realizado dentro do grupo ACA pela mesma consultoria, em 2020, objetivou coletar informações subjetivas e pontuais dentro das várias empresas, com o objetivo de perceber a percepção dos 64 colaboradores envolvidos quanto à implementação BIM na empresa, a sua aceitação e a disponibilidade para as futuras mudanças que o BIM pode introduzir na empresa.

Este estudo permitiu evidenciar que o conhecimento do conceito BIM dentro da empresa é ainda baixo, uma vez que mais de 50% das respostas classificaram o respetivo conhecimento como sendo inferior ou igual a 2/5. Por sua vez, apenas 18,8% dos colaboradores inquiridos classificou o seu conhecimento como superior ou igual a 4/5. Os valores concretos podem ser analisados na Figura 2.8.

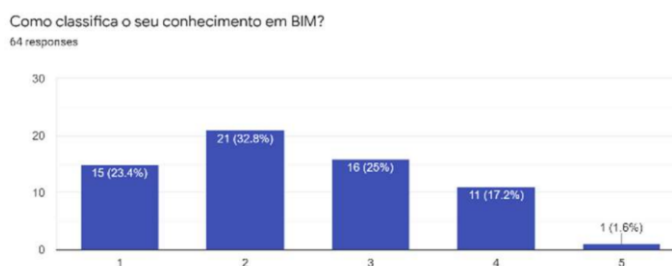


Figura 2.8 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 1

No entanto, quando inquirida a pergunta “Que importância atribui à implementação do BIM na empresa?” e “Qual o nível de impacto na empresa que lhe parece que poderá ter este processo de implementação BIM?”, os resultados foram maioritariamente favoráveis, como é possível verificar na Figura 2.9 e Figura 2.10, o que traduz a forte motivação dos trabalhadores em relação à implementação do BIM na empresa e a percepção do impacto favorável que a implementação da metodologia pode trazer à empresa.

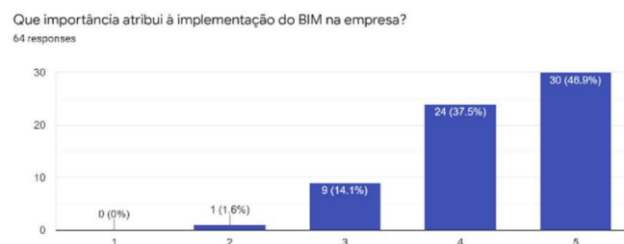


Figura 2.9 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 2

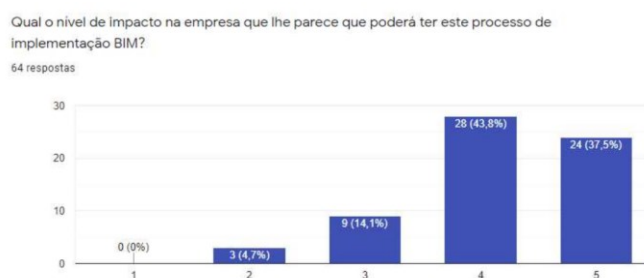


Figura 2.10 - Resultados Inquérito de Diagnóstico ACA 3

Este estudo permitiu identificar que o atual estado de maturidade na empresa é iniciático, mas que a disponibilidade e predisposição para a mudança é elevada. Na perspetiva deste relatório, comparativamente com o panorama nacional e com estudos prévios, o grupo ACA não se encontra desfasado da média das empresas de construção em que se insere, existindo, no entanto, alguns casos de pioneirismo no setor AEC, em que a maturidade BIM, em particular em algumas especializações, já é bastante avançada.

2.6.3.LIMITAÇÕES DA IMPLEMENTAÇÃO NAS EMPRESAS

A implementação do conceito BIM está sujeita a inúmeros constrangimentos que remetem para a existência de um grande número de empresas e organizações que resistem à mudança, à falta de preparação do mercado em adotar estas metodologias e à dificuldade sentida pelas empresas em encontrar parceiros que utilizem os métodos BIM [33].

Os processos utilizados na indústria AEC foram, e casualmente ainda são, métodos tradicionais, não havendo um apoio da indústria em processos automáticos e industriais a que metodologia se propõe. Assim como a falta implementação de processos de colaboração entre vários intervenientes e a criação de parcerias especializadas.

Um outro aspeto que tem vindo a ser evidenciado e representa, na ótica dos utilizadores e das empresas, um fator crucial, é o grande investimento necessário para formações e obtenção de licenças e que gera falta de incentivo das empresas em assumir esses riscos, desviando-se do principal propósito que é o alcance dos benefícios desta implementação a médio e longo prazo. Por outro lado, também se destaca como um constrangimento à adoção do BIM, a demorada adaptação de formação, tanto académica como profissional [34].

O papel do governo no processo de implementação é também essencial, podendo até ser um fator diferenciador entre o sucesso e o insucesso desta adoção, uma vez que compete às entidades

governamentais, providenciar ferramentas e meios de passagem de informação ao setor e apoiar donos de obras e empresas da indústria [35].

A inexistência de uma regularização e regulamentação dos usos BIM representa outra limitação, uma vez que permite, no mercado AEC, que sejam aceitos quaisquer tipos de “modelos”, não havendo uma distinção clara entre o que pode ou não ser corretamente considerado um modelo BIM.

Por outro lado, a criação de *standards* técnicos torna-se um fator imprescindível para a regularização dos usos BIM. Estes *standards* definem parâmetros e características mínimas que os modelos BIM deverão satisfazer de forma a garantir e contribuir para um maior controlo na qualidade e certificação dos modelos.

2.7.PREPARAÇÃO E PLANEAMENTO EM OBRA

Uma obra de construção civil, que não tenha em consideração a sua natureza, características ou dimensões, está permanentemente sujeita a processos de reavaliação e análise, com o propósito de fundamentar e encaminhar as tomadas de decisão, em prol do objetivo final.

A pormenorização exigida, a grande intervenção de especialidades dentro de um único projeto, a realização dos trabalhos em simultâneo e a movimentação e necessidade constante de material e equipamentos, correspondem a fatores que condicionam e colocam em risco o desenvolvimento expectável de uma obra, podendo ser responsáveis por atrasos e desperdícios, prejudiciais para o custo final da obra.

O setor da construção civil representa um dos setores com uma menor competitividade e uma maior produção de desperdício, sendo que, geralmente se verifica uma ultrapassagem nos prazos de entrega e um excedente orçamental, o que, de forma a compensar os gastos em excesso, leva a uma depreciação da qualidade da obra e do processo construtivo [36].

Assim, a preparação e o planeamento e gestão em obra assumem grande importância para garantir o cumprimento dos objetivos propostos, respeitando o cumprimento de prazos de entrega, o orçamento atribuído e o trabalho colaborativo em obra, sem prescindir da qualidade da mesma.

2.7.1. PREPARAÇÃO DE OBRA

O processo de preparação surge após conclusão da fase de concurso, adjudicação e consignação de uma dada obra. Por se verificar que as propostas são feitas sob pressão e com pouca precisão, torna-se indispensável uma revisão global e cuidada antes de se iniciar a execução dos trabalhos, de forma a evitar e minimizar erros e gastos desnecessários [37].

A preparação de obra compreende a organização de um conjunto de elementos que permitem executar a obra nas melhores condições de qualidade, segurança, prazo e custo. Este processo de preparação de obra, segundo [38], deve assentar nas seguintes etapas:

- Compilação e estudo de toda a documentação do projeto, de modo a completar eventuais elementos em falta;
- Organização dos planos de execução dos trabalhos;
- Revisão rigorosa das medições e do orçamento apresentado, estabelecendo retificações;
- Realização do planeamento da obra, atendendo às disponibilidades de equipamento do empreiteiro e aos programas de execução.

Por sua vez, de acordo com Faria [39], a preparação de uma obra engloba também uma análise e um estudo dos seguintes aspetos:

- Revisão Orçamental Comercial;
- Orçamento para a produção;
- Mapa de Produção;
- Previsão de Custos da Obra;
- Previsão de Receitas;
- Programa de Trabalhos;
- Organização Física do estaleiro;
- Organização do Trabalho e chefias;
- Organização geral administrativa da Obra;
- Análise do projeto, revisão do projeto, preparação técnica do trabalho;

A preparação de obra tem como principal incidência a eliminação de dúvidas, erros e omissões, a análise de peças escritas e desenhadas para a definição das fases e métodos de execução, a elaboração de eventuais desenhos e pormenores construtivos que sejam necessários e a medição e retificação de quantidades de trabalho [38].

A análise comparativa entre quantidades nos projetos e o mapa de quantidades é crucial, visto se verificarem, com regularidade, discrepâncias significativas, havendo assim uma necessidade de retificar essas diferenças de forma a não se registarem custos não previstos.

Complementarmente, a revisão dos custos envolvidos e o processo de reorçamentação, assume uma grande importância para a obra, na medida em que permitem prever com maior fiabilidade os custos e gastos de todo o curso da obra, possibilitando a identificação de erros que, depois de corrigidos, contribuem para a minimização dos custos finais e para o objetivo económico ideal da empreitada [37].

De acordo com Silva [40], verifica-se a existência de uma associação entre a preparação e o planeamento da obra, sendo ambas indissociáveis e complementares. Para além da sequenciação de tarefas, a preparação de obra exige o planeamento da execução da obra e respetivo modo de execução, os materiais e outros recursos a incorporar, antevê o custo, estabelece os seus objetivos e suporta a execução de tarefas subsequentes.

2.7.2. ORÇAMENTAÇÃO E REORÇAMENTAÇÃO

O conceito de orçamento entende-se como sendo o cálculo de custos para executar uma obra ou um empreendimento, sendo que, quanto mais detalhado o orçamento for, mais se aproxima do real [41].

O propósito de um orçamento é levantar, qualificar e quantificar os custos (diretos, indiretos e tributários), tendo em conta o lucro pretendido. A orçamentação permite efetuar uma análise crítica em prol de uma melhoria constante, passando pelo levantamento de materiais e serviços, nivelamento de recursos usados, imposição de indicadores de desempenho, geração de cronogramas físico-financeiro, e por fim, a análise da viabilidade económico-financeira do projeto [42].

Por outro lado, o reorçamento pode ser definido como sendo o orçamento ideal da obra, visto que se traduz na adaptação do orçamento comercial à obra, com o objetivo de minimizar os custos envolvidos. Assim, o orçamento comercial deve ser ajustado, procurando aplicar processos construtivos e materiais que se apresentem mais vantajosos e eficientes, bem como a utilização dos equipamentos que melhor se adequam aos trabalhos a executar, de modo a otimizar o planeamento e por consequência, o orçamento final da obra [38].

A elaboração de um reorçamento pode ser justificada, evidenciado por Dias e Martins [41], por vários aspetos ao longo da obra e cuja influência corresponde à mutação dos custos associados. Ao princípio devido ao período significativo entre a proposta e a data de início da obra, uma vez que, durante esse intervalo, pode surgir uma necessidade de efetuar alterações. Em segundo lugar, um estudo mais pormenorizado do projeto pode remeter à deteção de erros ou métodos menos eficazes que sejam considerados menos praticáveis e mais dispendiosos em comparação com outras soluções.

O método de orçamentação tradicional consiste na quantificação das tarefas necessárias em obra, sendo este um processo demorado e sujeito a falhas, tais como, erros e incompatibilidades do projeto, planeamento inadequado, erros no levantamento de quantidades e falha de informação relativa aos índices de dimensionamento. Estas falhas podem comprometer o valor orçamental real da obra, levando a um aumento significativo dos custos e a um processo de compra inadequado [9].

Em contraste, o BIM, em virtude das suas dimensões, veio facilitar o processo de quantificação e orçamentação, permitindo extrair diretamente do modelo a informação necessária para uma estimativa dos custos mais precisa e continuamente atualizada, integrando custos em todas as fases da obra [43]. Esta estimativa, ilustrada na Figura 2.11, depende da fase do projeto e é tão fidedigna quanto maior for o nível de detalhe do modelo.

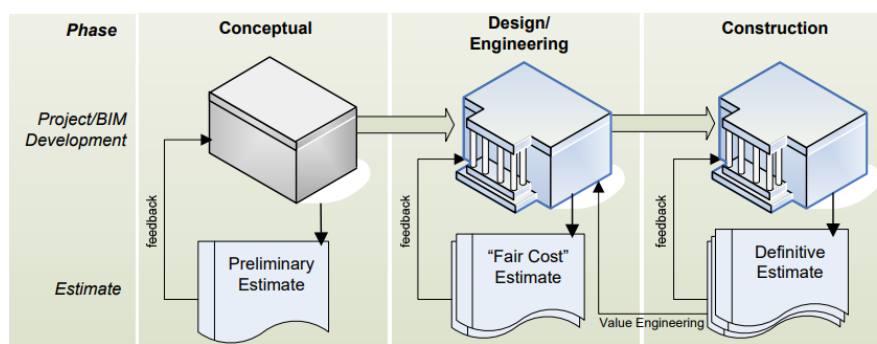


Figura 2.11 - Processo de Estimativas de Custo, adaptado de [45]

2.7.3. PLANEAMENTO E CONTROLO EM OBRA

Entende-se por planeamento todo o ato de planear, organizar, projetar, arquitetar e programar, de forma a atingir-se uma gestão e mobilização eficiente de recursos, no cumprimento de prazos estabelecidos para uma determinada obra. O planeamento assume como principal objetivo a realização do projeto com o mínimo de gastos possível, a nível de recursos, sem que isso afete a qualidade e a segurança da obra [44].

O planeamento pode ser definido como sendo um instrumento teórico de gestão que, na realidade, só adquire uma dimensão significativa se for aplicado adequadamente à situação [45]. Este deve percorrer e considerar todas as soluções possíveis, de forma a encontrar o caminho ideal para a concretização dos objetivos finais pretendidos para que, numa fase posterior, não se verifiquem deficiências e incompatibilidades, representativas de uma fraca gestão e planeamento da obra [46].

Denote-se que, a relação entre planeamento e vantagens para a obra não é uma correspondência linear, devendo haver uma constante atualização do plano de trabalhos e do próprio planeamento, ao passo dos avanços em obra, em efeito de todos os imprevistos que possam surgir e impossíveis de controlar. Assim,

torna-se clara a primordialidade de assegurar a adequabilidade e eficácia do planeamento adotado em obra.

O processo de planear é, essencialmente, a decomposição da obra em “tarefas” ou “atividades” elementares e definir, para cada uma, datas de início, fim e a respetiva folga de realização [39]. Assim, um planeamento deve envolver as seguintes etapas [47]:

- Identificação das atividades;
- Estimação da duração das atividades;
- Definição das dependências entre atividades;
- Identificação dos recursos;
- Definição das capacidades disponíveis dos recursos.

Um planeamento eficiente é essencial para o desenvolvimento da obra e deve ser acompanhado pelo controlo do mesmo, permitindo retirar quaisquer informações da obra que sejam necessárias. Isto possibilita atualizar os planos em vigor e fornecer dados pertinentes para o desenvolvimento futuro dos restantes trabalhos. Assim, o controlo assume uma fase fundamental do planeamento, dado que, tudo o que foi objeto de planificação deve ser também objeto de controlo, possibilitando atribuir, para cada desvio, uma causa responsável e uma medida corretiva [48].

O controlo de custo em obra é igualmente importante ao reorçamento, referido em 2.7.2, pois permite retratar o panorama económico da obra em qualquer momento. Este controlo não é mais do que uma comparação entre o reorçamento e o estado atual da obra [49]. Este processo passa pelo controlo orçamental com objetivo de avaliar a influência das condicionantes impostas durante as várias fases do empreendimento e quantificar os impactos possíveis no orçamento, visando a minimizar esses efeitos [50].

Por sua vez, o controlo deve ser realizado desde o início do projeto, devendo ter em conta um orçamento realista e de confiança. Este procedimento deverá estimular a pesquisa de soluções técnicas adequadas, detetar e corrigir desvios de forma cíclica, bem como relatar periodicamente o custo atual face ao final [51].

O processo de controlo torna-se ainda mais viável, de um ponto de vista prático e eficiente, se for auxiliado por ferramentas digitais que agilizem o processo, uma vez que manualmente torna-se um processo pouco rentável e inconclusivo. Estão atualmente disponíveis softwares como o MsProject, Excel ou Primavera Sure Trak que consistem em ferramentas de comunicação entre os intervenientes, acerca dos relatórios referentes ao plano de trabalhos.

2.7.4.CONTRIBUTOS DO PLANEAMENTO E CONTROLO EM OBRA

O acompanhamento da obra permite avaliar e analisar as estratégias e processos adotados no começo da obra, conseguindo-se assim, validar essas estratégias caso o resultado seja otimista e identificar os aspetos que falharam e o modo como falharam, caso o resultado não seja o esperado. Este acompanhamento facilita a elaboração de um registo que fundamente e valide as tomadas de decisão relativamente aos procedimentos a adotar numa próxima obra.

Pela mesma razão, um processo contínuo de identificação e registo de deslizamentos entre o planeamento inicial e o atual da obra permite intervir atempadamente na abordagem adotada, efetuando as devidas alterações a fim de encaminhar novamente a obra na trajetória prevista. Por conseguinte, esta rápida deteção de alertas de deslizamentos da obra, permite prever e estimar quantitativamente e qualitativamente as consequências que poderão surgir numa fase posterior da obra.

O potencial da gestão em obra também proporciona, numa fase mais inicial, uma análise detalhada de todos os procedimentos e processos que irão, posteriormente, ser utilizados em todas as fases da obra a fim de potencializar o rendimento e produtividade da mesma, otimizando o mais possível a concretização e a própria obra. Este processo de otimização implica o estudo de várias tentativas com o objetivo de afinar a gama de possibilidades à solução ótima.

A materialização destas potencialidades é um processo complexo, pelo que há sempre margem para erros e incompatibilidades. Nesse sentido, é recorrente recorrer-se à colaboração de outras ferramentas e metodologias que facilitam e contribuem para a eficiência destas análises, como é o exemplo do BIM.

2.7.5. APLICAÇÃO DO BIM NO PLANEAMENTO E CONTROLO DE OBRAS

A adoção das competências da metodologia BIM permitiu resolver e solucionar vários problemas recorrentes no setor da construção, particularmente na fase de projeto e orçamentação. Como já referido anteriormente, com o auxílio das capacidades BIM foi possível otimizar os projetos, diminuindo por consequente a matéria desnecessária e o aparecimento de incongruências e erros em fase de execução.

Por sua vez, o conceito BIM tem também as suas aplicabilidades em outras fases da obra que permitem tornar mais eficiente a estratégia implementada e os processos adotados. Neste contexto, os usos BIM permitem abordar o planeamento e o controlo da obra de duas formas.

Primeiramente, a dimensão 4D da metodologia BIM permite conjugar os vários cenários e possibilidades a seguir no planeamento da obra, visualizar e validar, de forma intuitiva, a solução mais eficiente e otimizada, em questões de necessidade de mão de obra, materiais e equipamentos, permitindo traçar o caminho crítico último.

Por outro lado, a metodologia BIM permite uma melhor otimização do modo como os processos construtivos e logísticos se desenvolvem em obra. Isto possibilita, tanto numa fase inicial como em fase de construção, aferir a rentabilidade desses processos e identificar ineficiências e pontos de otimização. De facto, estudos evidenciados por Coelho [43], destacam potencialidades destes usos em fase de planeamento relativamente à avaliação dos métodos construtivos e na fase de construção, quanto à análise de execução, deteção de conflitos e monitorização da obra.

Adicionalmente, para além da contribuição do BIM em otimizar quantidades necessárias numa obra, a dimensão 5D, que está relacionada com os custos associados, permite acompanhar a evolução dos custos, bem como manipular os possíveis gastos durante toda a obra. A análise de custos extraídos do modelo 5D também possibilita a medição do desempenho financeiro do estado atual da construção [9].

As competências dos usos BIM, relacionadas com o controlo e gestão de obras, assumem um papel essencial para o cumprimento dos objetivos propostos em obra, especialmente nos dias de hoje em que se verifica um incremento de complexidade das obras e da respetiva gestão e planeamento, tal como, uma maior responsabilidade nas decisões a tomar. Assim, é crucial a adoção de ferramentas que agilizem o trabalho e garantam, com segurança, a viabilidade e eficiência do planeamento a implementar.

Esta temática tem sido abordada em diversos estudos que pretendem analisar o contributo das ferramentas BIM e compreender a viabilidade das mesmas quando aplicadas a situações correntes ligadas ao planeamento e controlo de obra. Coelho [43] avaliou a contribuição do BIM 4D e 5D como metodologia para o planeamento, preparação e monitorização de obra, tendo destacado uma clara melhoria face à abordagem tradicional que, apesar das vantagens enumeradas, sobretudo na estimação de uma redução de cerca de 7% no custo final da obra para a fase de concurso, apresenta ainda algumas

dificuldades relativas à limitação dos softwares BIM utilizados e a fraca interoperabilidade entre os mesmos.

Adicionalmente, a análise de Gouveia [14] quanto à integração de ferramentas BIM na gestão de obra, aponta outros desafios mais direcionados para o software Navisworks. Este software mostrou insuficiências de interoperabilidade, uma vez que, na exportação de um elemento do Revit para o Navisworks, este perde grande parte das suas propriedades, revelando uma dificuldade de integração dos custos no modelo Navisworks devido às escassas capacidades do software nesse aspeto.

Por fim, outros autores indicam como principais dificuldades à aplicação das metodologias BIM 4D e 5D ao planeamento e controlo em obra, problemas estes já evidenciados na própria metodologia do BIM, sendo estes: a importância relacionada com a falta de regras de modelação e regulamentação, o grande investimento associado, a importância do nível de detalhe dos elementos para a obtenção mais rápida e eficiente de resultados e, mais uma vez, a falta de interoperabilidade entre softwares visto que nem todas as entidades recorrem aos usos BIM [9][52].

3

PREPARAÇÃO E ORÇAMENTAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIMES

3.1. ENQUADRAMENTO

A componente financeira de uma obra representa um ponto fundamental da mesma, uma vez que influencia a eficiência e confiança da estratégia de gestão, interferindo também no poder de competitividade da própria empresa.

A importância em garantir que os custos estimados para a execução de uma empreitada são o mais precisos possível, torna-se vital, tanto na fase de adjudicação, onde o preço de venda proposto pela empresa deve ser competitivo e, simultaneamente, suficiente para cobrir os gastos reais, como também na fase de produção, permitindo um maior e melhor controlo dos gastos.

Para isto, o processo de orçamentação assume um papel fulcral na contribuição para uma maior rentabilidade das obras e minimização do desperdício das mesmas. Assim, urge a necessidade de que, cada vez mais, as ferramentas utilizadas para estimar e prever os custos sejam mais precisas e eficientes.

Com efeito, o tempo atribuído para a elaboração dos orçamentos, de acordo com a empresa, é um dos principais causadores da existência de erros e falha, acabando por influenciar de forma prejudicial a precisão dos valores obtidos. Estes valores vão sendo corrigidos e atualizados com o desenvolvimento da obra, levando à obtenção de valores finais superiores aos esperados.

A estimativa dos custos difere entre os vários equipamentos em obra, visto que, as condicionantes envolvidas e o respetivo impacto também variam. A quantidade de equipamento, a logística do equipamento em obra, a dependência com outras fases ou recursos, a quantidade de trabalho a realizar em obra, bem como outros fatores, interferem na precisão dos custos determinados. Assim, torna-se indispensável contornar esta barreira, implementando uma abordagem mais eficiente, visando um melhor controlo e uma melhor previsão dos custos envolvidos.

Neste capítulo apresenta-se uma descrição detalhada do método tradicional utilizado pela empresa, os valores orçamentais, em diversas fases, recolhidos de uma amostra de obras da empresa, e uma análise aprofundada dos fatores e variáveis envolvidas e das ineficiências encontradas nesta abordagem.

3.2. ORIGEM DOS DESVIOS

A elaboração de uma obra está continuamente sujeita a erros, com diferentes impactos e consequências, que podem ser ou não previstos, controlados e resolvidos. O tipo de erro e a sua grandeza varia também consoante o tipo de elemento ou tarefa em obra, isto porque os fatores e condicionalismos envolvidos

diferem, assim como o peso dos mesmos. Existem assim dois tipos de erros, os que não são passíveis de controlo e os que podem ser controlados.

Por um lado, a coexistência de vários intervenientes numa obra e o difícil controlo dos mesmos, em termos de produtividade e absentismo, bem como outros problemas que não se conseguem prever antecipadamente, como acidentes, roubos, mudanças de preço, atrasos de entrega, falta de mão de obra e outros, podem traduzir-se em desvios significativos para a obra.

A adoção de um planeamento e gestão inadequado de uma obra e dos recursos da mesma, pode também justificar a presença de desvios em obra. Independentemente da causa, a sua identificação é de extrema importância assim como a rápida implementação de medidas preventivas de forma a compensar os danos causados.

3.3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ELEMENTOS EM OBRA

O setor da construção civil não é, como é culturalmente conhecido, um setor com pouco desperdício. Este é tanto referente à componente material, como à temporal e monetária. O processo de preparação e orçamentação em fase comercial está sempre sujeito a determinadas limitações, independentemente de o elemento em estudo ser ou não andaimes.

Ao longo do conjunto de obras da empresa, tem-se vindo a verificar uma tendência de deteção de desvios significativos no estudo de estruturas de andaime. Ainda assim, torna-se relevante avaliar e comparar os resultados financeiros dos restantes equipamentos mais recorrentes em obra.

Numa obra corrente de construção civil, os orçamentos, para certos elementos de apoio à obra são, na sua maioria, incorretamente estimados, fruto do pouco tempo disponível para realizar esta tarefa. Estas estimativas acabam, numa fase mais avançada da obra, por se verificar insuficientes e irrealistas, implicando um aumento significativo nos custos da obra.

Para isso, efetuou-se uma recolha dos dados financeiros registados pela empresa de um conjunto de equipamentos provisórios igualmente habituais numa obra de edificação, sendo estes gruas e contentores, tendo-se obtido os desvios médios, entre real e fase comercial, presentes na Figura 3.1.

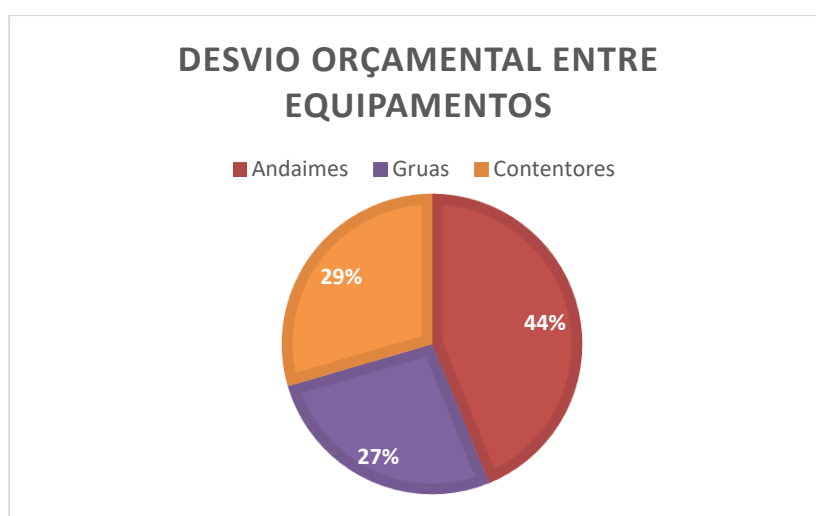


Figura 3.1 - Desvio Orçamental, entre Real e Comercial, de vários equipamentos

Através desta análise, constata-se que, apesar de se verificarem desvios no orçamento entre fase comercial e real em outros equipamentos, a dimensão dos mesmos, face ao desvio registado nos andaimes, é relativamente inferior, sendo primordial o seu solucionamento.

3.4.DESCRICÃO DA ABORDAGEM TRADICIONAL E INTRODUÇÃO AOS ANDAIMES

O processo de orçamentação de um elemento de construção ou arte pode ser realizado de diversas formas, dependendo da abordagem da empresa e dos conceitos que esta adota. Existe, atualmente, uma grande variedade de metodologias disponíveis, desde as mais rudimentares a softwares avançados de cálculo e estimação de custos.

Os orçamentos, em fase comercial, são realizados, no contexto empresarial, pelo departamento responsável, como sendo um elemento integrante de toda a documentação necessária a ser fornecida em fase de concurso. Este processo, como outrora referido, está subjugado, recorrentemente, a uma limitação do tempo disponível para a elaboração dos mesmos, havendo assim uma necessidade de acelerar o processo, levando a consequências pejorativas. Estes orçamentos são elaborados, pelo método convencional, através de peças escritas e desenhadas da empreitada, nomeadamente plantas CAD e mapa de trabalhos, caso seja fornecido, sendo posteriormente recolhidas as informações necessárias para aplicar nas fórmulas de cálculos.

A abordagem tradicional traduz-se num processo com carácter pouco complexo, onde é recolhido um conjunto de variáveis que são depois aplicadas num conjunto de equações que constituem custos parciais e finais. O processo de cálculo contempla determinados custos unitários que são obtidos através de uma rápida avaliação do disponível no mercado ou por custos anteriormente usados em outras obras que sejam caracteristicamente idênticas ou semelhantes.

3.4.1.COMPONENTES DE UM ANDAIME

Os andaimes são estruturas mais complexas do que aparentam, sendo constituídas por diversas componentes que diferem consoante o tipo de andaime e a resistência pretendida, sendo essencial compreender os seus constituintes e as respetivas funcionalidades [53][54]. Ilustra-se, na Figura 3.2, as componentes de um andaime genérico.

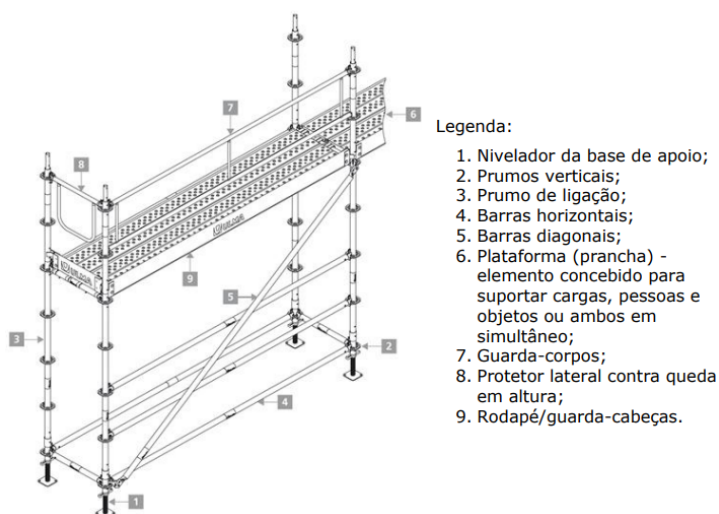


Figura 3.2 - Constituição de uma estrutura de andaime [54]

Nivelador da Base de Apoio:

Peça em aço galvanizado, e fundamental no início da montagem, constitui a base da estrutura cujo topo permite o encaixe dos prumos. O nivelador transmite as cargas dos prumos ao solo e permite regular a altura do andaime e o alinhamento do mesmo.

Prumos Verticais:

Base ajustável, composta por uma única roseta, constitui a base do andaime.

Prumos de Ligação:

Os prumos de ligação são peças verticais, que funcionam como os pilares do andaime, suportam as cargas da estrutura.

Barras Horizontais:

Barras utilizadas como suporte das plataformas ou como elemento estrutural.

Barras Diagonais:

Barras de contraventamento, aumentam a rigidez da estrutura de andaimes.

Plataforma/Prancha Metálica:

As plataformas são peças essenciais nos andaimes, não só funcionam como plataforma de trabalho como contribuem para a estabilidade da estrutura como um todo. Estas plataformas devem respeitar a norma EN 12810 e devem possuir um encaixe em ambas as extremidades para permitir a ligação com as travessas.

Guarda-corpos:

Delimita a extremidade da plataforma, situado no mínimo a duas alturas, 0,50 m e 1m, de forma a garantir a segurança dos trabalhadores.

Protetor lateral contra quedas em altura:

Componente metálica ou de madeira que protege a plataforma de trabalho de quedas em altura e quedas de objetos.

Rodapé/Guarda-cabeças:

O rodapé ou guarda-cabeças são elementos horizontais metálicos ou de madeira que impedem a queda de objetos colocados sobre as plataformas.

3.4.2. TIPOS DE ANDAIME

No mercado encontram-se disponíveis um conjunto diversificado de tipologias de andaimes, assim como outras estruturas de apoio a trabalhos em altura, com diferentes características e funcionalidades. Este equipamento pode ser constituído por diversos materiais, tais como, metálicos, madeira e mistos, dependendo do trabalho em questão e das condições de segurança pretendidas.

Estes equipamentos são também diferenciados quanto à sua classe de resistência, classe 1 a 6, classificadas quanto às suas cargas concentradas e uniformemente distribuídas. Com a crescente complexidade dos trabalhos e o acréscimo dos riscos associados, o nível de classe tende inevitavelmente a aumentar, bem como o custo associado, uma vez que a segurança e estabilidade da plataforma de

trabalho deve ser sempre garantida. Representa-se na Figura 3.3, os diferentes valores das resistência das seis classes existentes.

Classe	Carga uniformemente distribuída (kN/m ²)	Carga concentrada em superfície de 500 mm x 500 mm (kN)	Carga concentrada em superfície de 200 mm x 200 mm (kN)	Carga sobre superfície parcial (kN/m ²) Superfície parcial (m ²)	
1	0.75	1.50	1.00	Não aplicável	
2	1.50	1.50	1.00	Não aplicável	
3	2.00	1.50	1.00	Não aplicável	
4	3.00	3.00	1.00	5.00	0.4 A
5	4.50	3.00	1.00	7.50	0.4 A
6	6.00	3.00	1.00	10.00	0.5 A

Figura 3.3 - Cargas de cálculo para plataformas de trabalho das 6 classes [55]

Mais correntemente, em obras de edificação, são utilizados principalmente dois tipos: andaimes de fachada e andaimes multidirecionais. O tipo de andaime adotado em obra influencia significativamente os custos envolvidos, particularmente no que diz respeito a custos unitários pois são, mais ou menos, inflacionados consoante o andaime escolhido.

Os andaimes de fachada, exemplificados na Figura 3.4, são um equipamento comum em obras de construção civil, destinando-se principalmente, como o nome indica, à aplicação em fachadas. Este equipamento tem a característica de ser bastante leve, comparativamente com os restantes equipamentos. Este é aconselhado para a realização de trabalhos com menor complexidade e aplicados a elementos com um teor significativo de linearidade, sem grandes recortes e desalinhamentos, uma vez que estes andaimes são pouco versáteis, não conseguindo adaptar eficientemente o equipamento ao elemento, e por serem menos resistentes a cargas e outros efeitos.



Figura 3.4 - Andaime de fachada - Obra: Ed. Carnaxide, ACA

Os andaimes multidirecionais, ilustrados na Figura 3.5, são um equipamento habitualmente utilizado em contexto industrial e aplicado na construção de armazéns e outros espaços com uma altura considerável e um grande volume. Este equipamento tem uma capacidade de suporte de cargas muito elevada e é multifacetado, adaptando-se melhor às geometrias e necessidades envolvidas. Em contrapartida, os andaimes multidirecionais são significativamente mais pesados, sendo que a sua montagem e desmontagem requer um maior cuidado e detalhe, o que acaba por se traduzir num acréscimo do custo associado.



Figura 3.5 - Exemplo andaime multidirecional, METALUSA [56]

3.4.3. IMPORTÂNCIA DA CORRETA INSTALAÇÃO DE ANDAIMES EM OBRA

A realização de trabalhos em altura está sujeita a vários riscos e complicações com consequências severas para os trabalhadores e para a própria obra. É fundamental garantir a proteção dos trabalhadores em situações de risco para não comprometer o desenvolvimento e produtividade da obra pela perda de mão de obra.

O fator segurança é cada vez mais essencial numa obra e a sua prevenção assume um papel imprescindível para garantir que o desenvolvimento da obra ocorre como previsto. A ocorrência de um sinistro no local de trabalho representa um enorme prejuízo para a obra, e consequentemente para a empresa, uma vez que, para além de haver perda de recursos humanos, o rendimento das equipas é afetado e a produtividade da obra acaba por ser prejudicada. Este efeito impulsiona ao surgimento de atrasos na conclusão trabalhos, prejuízos orçamentais, incumprimento de prazos de entrega, danos na imagem da empresa, entre outros. Assim, garantir que os trabalhos decorrem com toda a segurança, particularmente plataformas de trabalho em altura, onde o espaço de trabalho é limitado e o risco de queda ou acidente é consideravelmente elevado torna-se uma obrigação.

As quedas em altura constituem a causa mais comum de lesões e mortes na indústria da construção. Entre as principais causas estão os andaimes ou plataformas sem guarda de segurança, ausência de arnês corretamente colocado, instabilidade dos elementos de suporte e deficiência dos apoios e fixações de plataformas e elementos de movimentação [57].

Um estudo elaborado em 2009 por Rodrigues[58], identificou que, num período de 3 anos, se registaram 35.103 acidentes associados a escorregamento, queda de pessoa, num total de 159.139 acidentes, representando cerca de 22% dos acidentes, sendo este o terceiro mais recorrente, como presente na Figura 3.6.

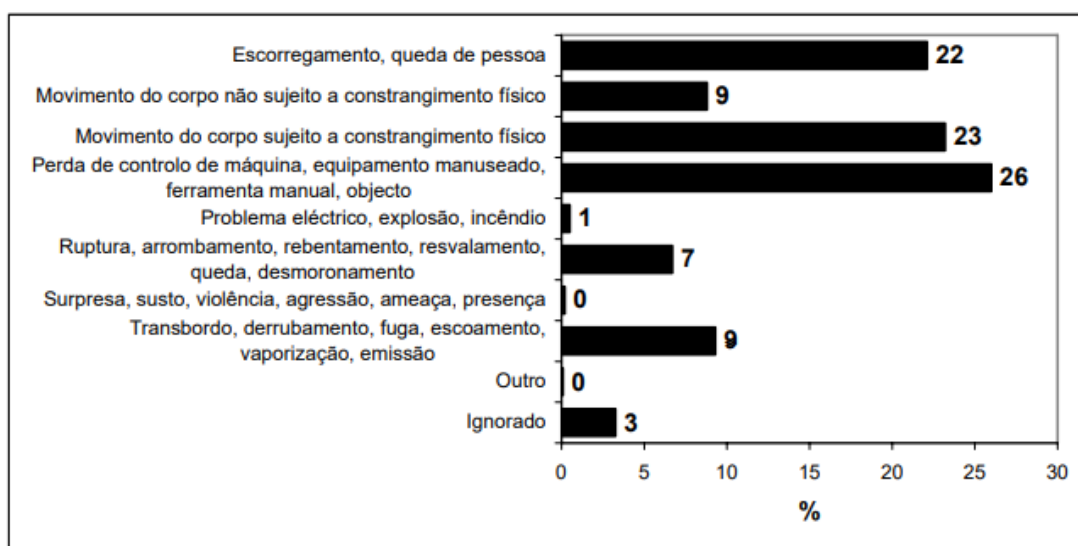


Figura 3.6 - Distribuição dos acidentes de trabalho não mortais referente a três anos, adaptado de [58]

Embora o número de acidentes de trabalho tenha vindo a diminuir, ainda se verificam um número significativo de acidentes, em particular relacionados com queda de pessoa, sendo que, segundo os dados estatísticos do ACT [59], expostos na Figura 3.7, dos últimos 4 anos, 18% dos acidentes não mortais foram devido a quedas, sendo este um dos acidentes com maior frequência, juntamente com o acidente de rutura, arrebentamento e queda de agente material.

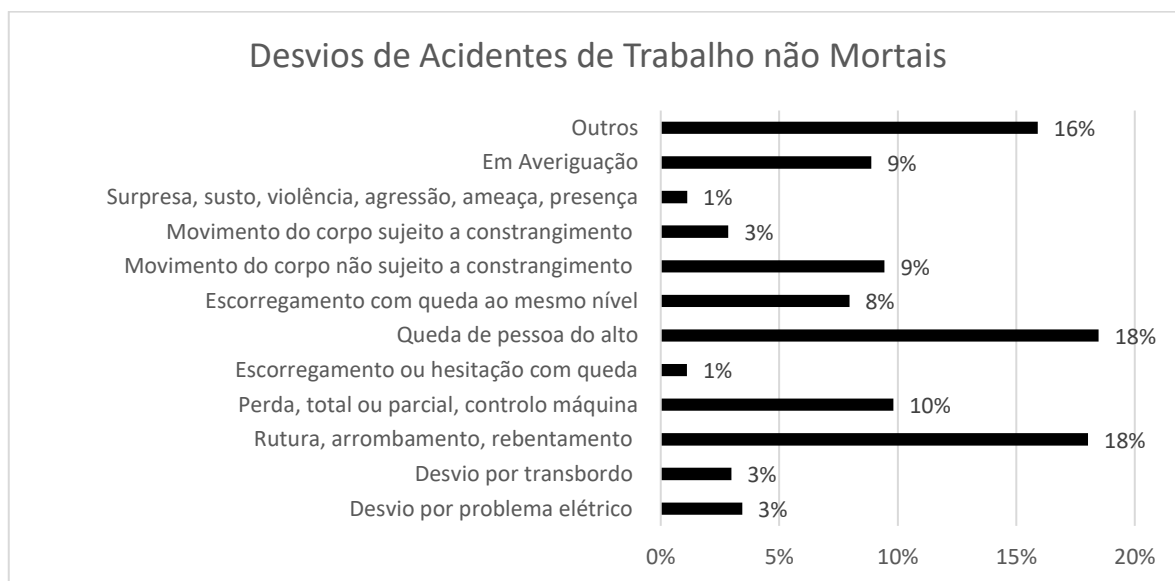


Figura 3.7 - Distribuição dos acidentes de trabalho não mortais referente aos últimos 4 anos

A seleção do tipo e classe de andaime é da inteira responsabilidade da empresa subcontratada, uma vez que a montagem e desmontagem deste tipo de equipamento tem de ser obrigatoriamente executada de acordo com o regulamento e apenas por profissionais que estejam devidamente habilitados a fazê-lo.

3.4.3.1. Requisitos Regulamentares para Andaimos Metálicos

Todos os trabalhos relacionados com montagem, modificação, uso e desmontagem de andaimes devem respeitar a um conjunto de normas regulamentares presentes no DL nº 41821/58 [60], das quais de destacam [61][62]:

- A montagem, modificação e desmontagem deve ser efetuada por operários ou equipas técnicas habilitadas para o efeito, sob direção de um técnico responsável;
- Os andaimes com altura superior a 25m devem ser previamente calculados pelo técnico responsável;
- Nas localidades onde não haja técnicos habilitados, estes poderão ser dispensados, se as condições de trabalho em obra garantirem as devidas condições de segurança e os andaimes a colocar não ultrapassem os 8m;
- Antes da montagem, todas as peças terão de ser inspecionadas, não podendo ser utilizadas as que não satisfaçam as condições regulamentares;

- Os andaimes têm de garantir, no mínimo, resistência de uma carga igual ao triplo do peso dos operários e material a suportar;
- Os andaimes de conservação não podem ser ligados a qualquer ponto das janelas e caixilharias que se encontrem em más condições de resistência;
- Os andaimes têm de, obrigatoriamente, ser montados independentes à estrutura a demolir;
- Os prumos serão travados junto ao solo e, se o declive do terreno não ultrapassar os 30%, devem ser enterrados a uma profundidade mínima de 0,20m;
- Deve ser garantido que os andaimes possuam um sistema de guarda-corpos a uma altura de 0,5m e 1m e um guarda-cabeças, com uma altura mínima de 15 cm;
- O espaçamento entre a plataforma do andaime e a estrutura a trabalhar, deve ser igual ou inferior a 25 cm;
- As plataformas devem ser resistentes ao escorregamento;
- Os alçapões de acesso aos vários níveis de andaimes, devem abrir para cima e ter uma largura de 40 cm e um comprimento de 60 cm;
- A passagem de trabalhadores, qualquer que seja o sentido, entre meios de acesso a postos de trabalho e passadiços devem estar protegidas contra riscos de queda em altura;
- As escadas de ligação entre os vários níveis devem estar fixadas no seu topo;
- As tábuas de pé devem ser suficientes, com uma largura adequada e devem estar devidamente fixadas à estrutura do andaime de forma a garantir a estabilidade do conjunto.

3.4.4.PROCESSO DE CÁLCULO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME

A elaboração de um projeto de soluções de andaime requer, primeiramente, a identificação de todos os fatores envolvidos nas fórmulas de cálculo, seguido de uma quantificação desses fatores em obra.

Primeiramente, são identificados em obra todos os elementos cuja execução dos trabalhos resulte na necessidade de colocar andaimes, tais como fachadas e outros elementos verticais. Do mesmo modo, são recolhidos dados quanto ao prazo de permanência do andaime em obra e a contabilização da existência de uma rotatividade dos andaimes em obra. Esta informação pode ser recolhida através do planeamento da obra e do mapa de trabalhos onde deve estar presente o planeamento de montagem e desmontagem de andaimes. Por vezes, o prazo considerado coincide com o prazo previsto para a conclusão da fase de acabamentos.

Após concluído o levantamento de toda a informação, é elaborado, recorrendo ao software Excel, os cálculos dos respetivos custos. A folha Excel, exemplificada na Figura 3.8, é composta, primeiramente, pela informação principal da obra em questão, seguida da identificação das variáveis e cálculos realizados que justificam os valores obtidos.

O método de cálculo consiste, de forma sucinta, na multiplicação de todos os dados recolhidos, discriminando os valores finais entre custo de aluguer e custo de montagem/desmontagem, seguido de uma contabilização global dos custos, como se pode analisar na Figura 3.8.

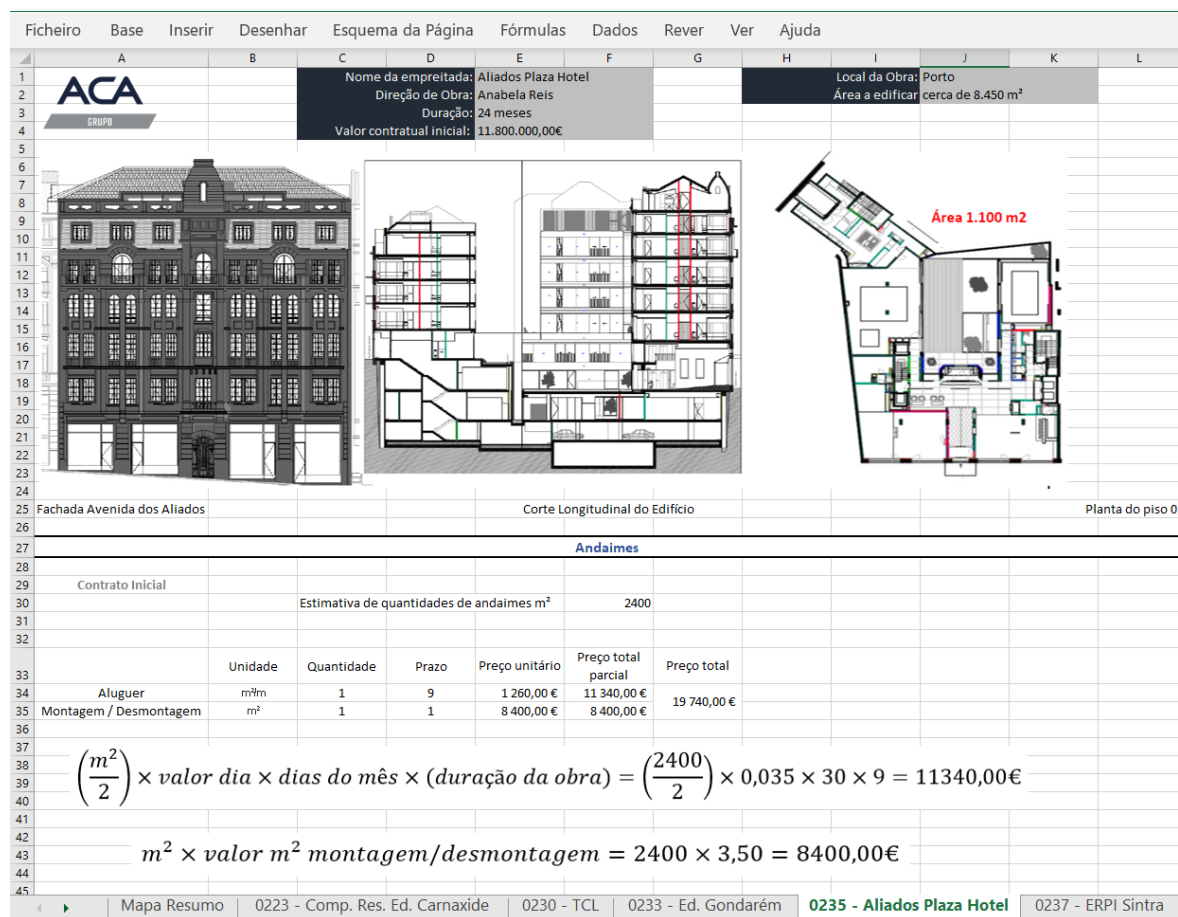


Figura 3.8 – Orçamento Comercial de andaimes

Na determinação do valor total de aluguer é necessário ter em conta a quantidade de área, a duração prevista para a permanência do elemento em obra e o custo unitário do aluguer, custo este em €/m²:

$$\text{Valor de Aluguer} = m^2 \times \text{dias do mês} \times n^{\circ} \text{ de meses} \times \text{valor unitário diário de aluguer} \quad (1)$$

O cálculo do valor total associado à montagem/desmontagem depende novamente da quantidade de área e do respetivo custo unitário atribuído em €/m²:

$$\text{Valor de Montagem/Desmontagem} = m^2 \times \text{valor unitário montagem/desmontagem} \quad (2)$$

Por fim, o custo total é dado pela soma das equações 1 e 2:

$$\text{Custo Total} = \text{Valor Total de Aluguer} + \text{Valor Total Montagem/Desmontagem} \quad (3)$$

Após adjudicação da obra, é frequente existir um reorçamento, principalmente se for identificada alguma discrepância no orçamento inicial, como por exemplo, os custos finais apresentados serem muito baixos ou muito altos, existirem prazos e áreas incorretos(as), entre outros. O último reorçamento corresponde ao orçamento elaborado pela empresa contratada responsável pelos andaimes. A preparação da solução de andaimes em obra fica à inteira responsabilidade da empresa subcontratada.

3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MÉTODO TRADICIONAL

A abordagem tradicional empregue pela empresa, embora simples, não está capacitada para apresentar resultados com a devida precisão. Ao longo da análise feita ao conjunto de obras em estudo, observou-se a existência de algum tipo de desvio entre o orçamento obtido pelo método tradicional e o final. Esta conclusão veio reforçar o já pressuposto pela própria empresa ao longo das suas obras. Estes desvios têm também dimensões diferentes, podendo assumir valores com menor ou maior impacto, mais ou menos prejudiciais, dependendo do tipo e magnitude do erro envolvido.

Estes desvios são maioritariamente causados devido a erros de cálculo. A restrição do tempo disponível para a elaboração do projeto de andaimes é, como já foi referido, um fator pejorativo, que influencia a qualidade do processo de cálculo e, por consequência, a precisão dos valores obtidos. No entanto, o fator tempo é uma imposição dificilmente controlável, que poderá ser solucionada por duas práticas: o alargamento dos prazos em questão ou a utilização de métodos de cálculo mais expeditos.

A dedicação do estudo na compreensão e análise do erro humano é uma etapa relevante de forma a identificar o tipo de erro, as respetivas origens, bem como o modo como influenciam o cálculo. Ressalva-se que existem determinados erros cuja origem é difícil de determinar e cuja previsibilidade não pode ser garantida. A resolução desta problemática passa por uma análise detalhada das obras e dos valores envolvidos nas mesmas, de forma a identificar outras dificuldades e respetivas causas, assim como, identificar possíveis padrões entre obras. Para isto, foi recolhida informação relativa a uma amostra de obras, procedendo-se, posteriormente, à análise dos dados e comparação entre os mesmos

3.5.1. OBRAS EM ANÁLISE

Na seleção da amostra do conjunto de obras, descritas na Tabela 1, pretendeu-se abranger um número de tipologias distintas, assim como a respetiva localização e enquadramento. Esta abrangência de diferentes obras possibilita uma análise mais completa e a obtenção de resultados mais realistas e precisos. Por outro lado, outro fator que foi premiado na seleção diz respeito à escolha de obras que se encontram ainda em fase de execução. Desta forma, todas as informações e decisões que foram consideradas em obra estão mais recentes, minimizando o risco de falta e falha de informação pertinente para a análise

As obras analisadas são as seguintes:

Tabela 1 - Descrição Informativa das Obras

Descrição das Obras					
	Nome da Obra	Localização	Tipologia	Duração	Custo da Empreitada
1	Complexo Residencial Edifício Carnaxide	Lisboa	Habitacional	15 meses	6.094.914,34€
2	TCL - Parque Contentores Leixões	Leça da Palmeira	Administrativo	15,4 meses	16.650.000,00€
3	Edifício Gondarém	Porto	Habitacional	16 meses	2.201.407,00€
4	Aliados Plaza Hotel	Porto	Hoteleiro	24 meses	11.800.000,00€
5	ERPI Sintra	Sintra	Habitacional	21 meses	18.000.000,00 €
6	ERPI Bonfim	Porto	Habitacional	16 meses	8.230.000,00€
7	ERPI Braga	Braga	Habitacional	24 meses	10.078.290,00€
8	EB Arq. Gonçalo Ribeiro	Lisboa	Escolar	24 meses	9.947.000,00€

Os parâmetros a avaliar e analisar, enumerados na Tabela 2, foram obtidos através da recolha de registos contabilísticos existentes das várias obras, cálculos efetuados e valores obtidos nas diversas fases, pressupostos adotados pela equipa de direção de obra, que tiveram importância nos cálculos e estudos efetuados pelas empresas ou entidade subcontratada para a realização dos trabalhos relativos à implementação do equipamento andaime nas mesmas.

Tabela 2 – Listagem de parâmetros recolhidos

Parâmetros
Tipos de Acabamento
Momento de Arranque do elemento
Prorrogação do prazo
Quantidades totais de m2
Quantidades de m2 consideradas
Duração
Custo unitário do aluguer
Custo unitário para Montagem/Desmontagem
Custo total do elemento

Após recolha de toda a informação, presente na Tabela 2, procede-se à elaboração de fichas de obra, como se observa na Figura 3.9, permitindo uma leitura clara e direta das várias características e particularidades da obra, as quantidades consideradas nas diversas fases da obra, os respetivos orçamentos e algumas considerações que foram tidas na preparação e orçamentação da respetiva solução de andaimes.

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra		Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
		Fachadas	Interiores						
1	0223 - Comp. Res. Ed. Carnaxide	2850	0	Reboco Pintado, Fachada em Alucobond e Fachada com Pedra Grampeada	Acabamentos exteriores da fachada	sim, + 7 meses	Não aplicável (a prorrogação foi para os interiores, a obra conseguiu avançar com os trabalhos da fachada dentro dos prazos estabelecidos)	15 meses	Obra concluída

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									
1550	50%	775,00	9 Meses	0,035 €	7 323,75 €			14 792,05 €	
2133,8	100%	2133,80	9 Meses			3,50 €	7 468,30 €		
Reorçamento 2									
2733,76	100%	2733,76	5 Meses	0,030 €	12 301,92 €	3,35 €	9 158,10 €	21 460,02 €	
Realidade em obra									
1650	100%	1650	5 Meses	0,030 €	7 425,00 €	3,35 €	5 527,50 €	23 452,50 €	A obra teve de montar os andaimes todos no início devido ao curto prazo disponível. Entre a conclusão da obra e a realização da estrutura sobram apenas 8,5 meses.
1200	100%	1200	6 Meses	0,030 €	6 480,00 €	3,35 €	4 020,00 €		

Figura 3.9 - Ficha de obra, obra Complexo Residencial Ed. Carnaxide

3.5.2. ANÁLISE QUANTITATIVA DOS RESULTADOS

Conforme referido anteriormente, os andaimes são um elemento que, na maioria das obras de edificação, representam um desvio significativo do orçamento relativamente ao real. Através de uma análise comparativa das obras e dos respetivos orçamentos, confirmou-se a existência de disparidade entre custos finais, como ilustrado na Figura 3.10, verificando-se que, quer por excesso como por defeito, os orçamentos não são coerentes e, em certos casos, essa diferença atinge valores bastante significativos que, consequentemente, se revelam prejudiciais para a empresa.

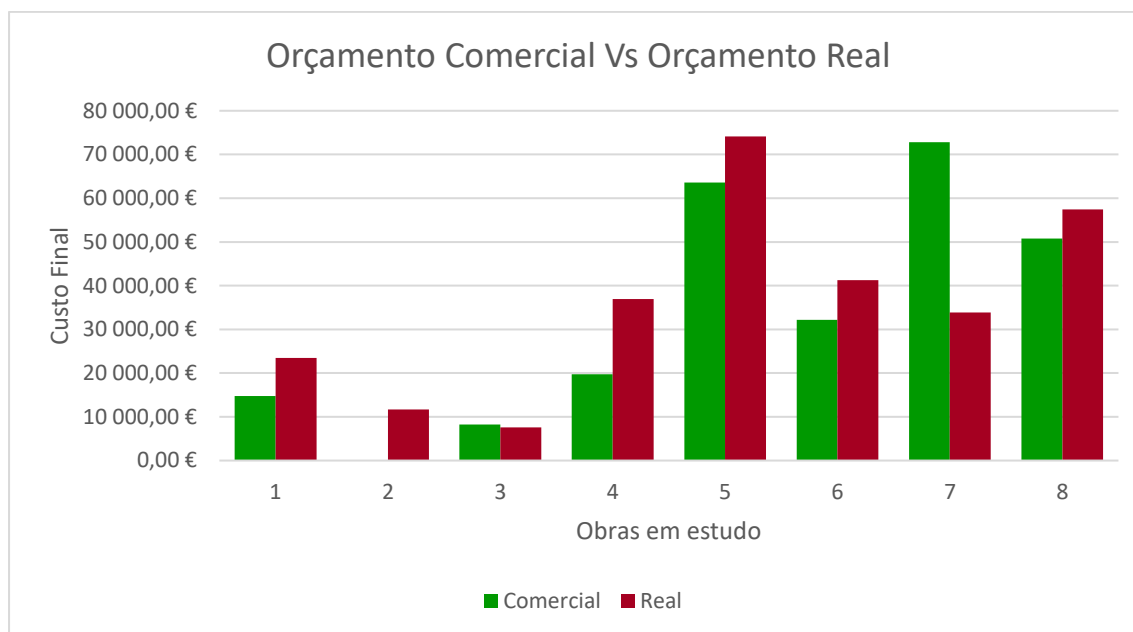


Figura 3.10 - Comparação entre o valor comercial e real

A derrapagem orçamental das 8 obras analisadas, disposta Figura 3.11, retrata, em valores numéricos, os ganhos e perdas orçamentais da empresa. Enfatiza-se que qualquer desvio no orçamento é pejorativo, mesmo sendo um desvio positivo, uma vez que pode comprometer a empresa em fase de concurso por esta apresentar valores demasiado altos dos que serão efetivamente necessários, como é o caso da obra 7-ERPI Braga que apresentou na fase comercial, um custo destinado aos andaimes com um excesso superior a 38.000€.

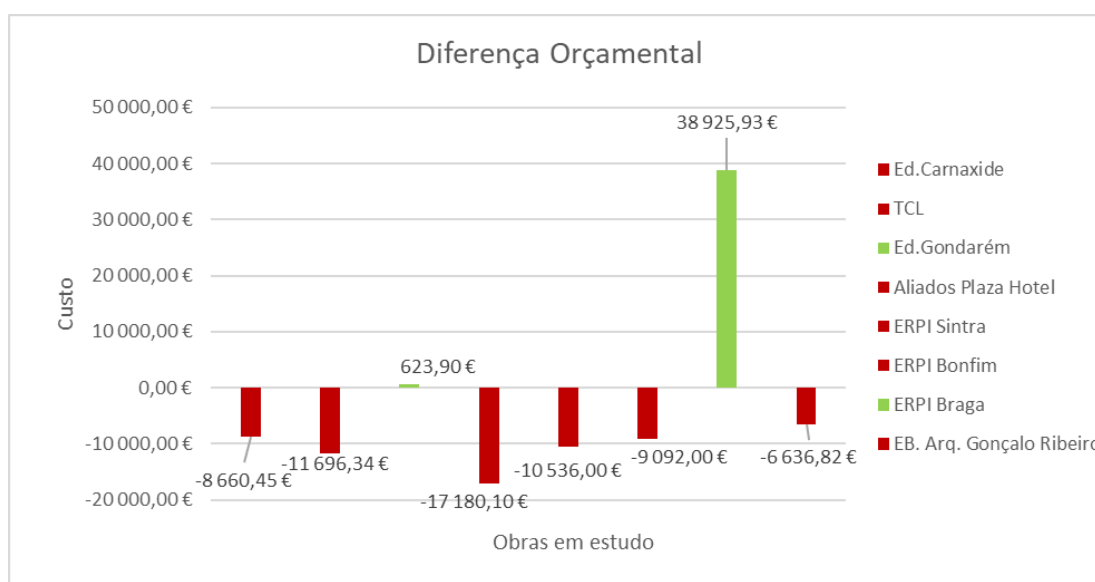


Figura 3.11 - Diferença Orçamental entre Real e Comercial

Realça-se também o caso da obra 3-Ed. Gondarém, que retrata uma situação favorável, no ponto de vista da empresa, representando um exemplo ideal de uma estimacão dos custos adequada. Para além do custo na fase comercial ser superior ao que foi efetivamente gasto, a diferença orçamental não é muito significativa, não interferindo com a competitividade financeira da empresa. É de realçar também que em empreitadas com um menor grau de complexidade e, por consequente, com uma menor dependência de outros fatores, as diferenças orçamentais apresentam valores significativamente menores.

Por outro lado, constatou-se também que as principais falhas identificadas no processo de cálculo entre fase comercial e real, se devem a estimativas incorretas em termos de áreas e prazos considerados, verificando-se que, como está representado na Figura 3.12, em todas as obras analisadas, a estimativa da área não foi adequada. Por sua vez, embora a diferença no valor do prazo contabilizado tenha sido menos recorrente, apresentou uma maior disparidade de valores

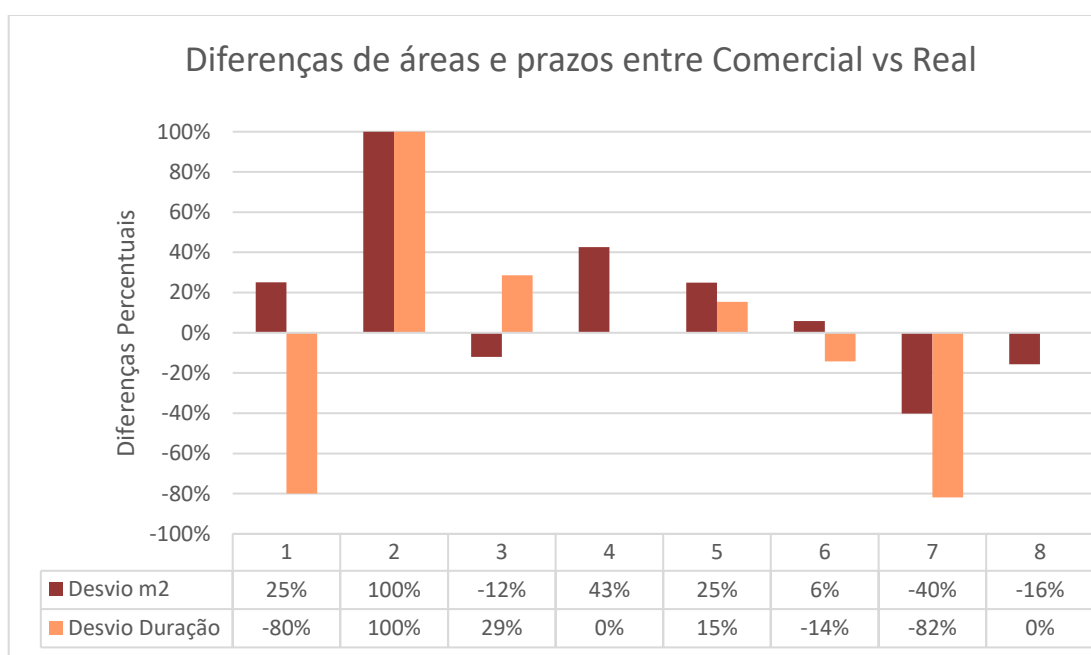


Figura 3.12 - Comparação entre a variação da área e a variação do prazo nas 8 obras

Ao conjunto das 8 obras foi avaliado o grau de incidência do conjunto de parâmetros envolvidos na estimacão dos custos, tendo-se reunido a informação presente na Tabela 3, onde se retrata, em cada obra, a identificação de uma inadequada consideração dos vários parâmetros assumidos nos cálculos.

Tabela 3 – Identificação da incorreta consideração dos parâmetros nas 8 obras

	Obra	Área	Prazo	Valor Diário de Aluguer	Valor de Montagem/Desmontagem	Rotatividade
1	Edifício Carnaxide	X	X	X	X	X
2	TCL	X	X	X	X	-
3	Edifício Gondarém	X	X	-	X	-
4	Aliados Plaza Hotel	X	-	X	X	X
5	ERPI Sintra	X	X	X	X	X
6	ERPI Bonfim	X	X	-	X	-
7	ERPI Braga	X	X	-	X	-
8	EB. Arq. Gonçalo Ribeiro	X	-	-	X	X
	Total	8	6	4	8	4

De acordo com os dados, evidencia-se o parâmetro área e custo de montagem/desmontagem devido à grande incidência de uma incorreta contabilização, tendo-se verificado em todas as obras analisadas, seguido do parâmetro prazo que também se verificou na maioria das obras.

Adicionalmente, foi efetuado a mesma análise em termos das condicionantes em obra, que acabam por influenciar o processo de estimação dos custos, levando a um acréscimo nos custos finais. Dados estes que podem ser analisados na Tabela 4.

Tabela 4 - Incidência da presença de certos condicionalismos nas 8 obras

	Obra	Acabamento mais complexo	Prorrogação da Obra	Saliências na fachada	Quantidade de material Insuficiente	Limitação do tempo para execução
1	Edifício Carnaxide	X	-	X	-	X
2	TCL	-	X	-	-	-
3	Edifício Gondarém	-	X	-	-	-
4	Aliados Plaza Hotel	X	-	X	-	-
5	ERPI Sintra	X	X	X	X	X
6	ERPI Bonfim	X	X	-	-	-
7	ERPI Braga	X	X	X	-	-
8	EB. Arq. Gonçalo Ribeiro	-	-	X	-	-
	Total	5	2	4	1	2

Com base na informação obtida, reunida na Figura 3.13, um dos condicionalismos com maior frequência nas obras é relativo à existência de saliências na fachada, como varandas, com uma incidência de cerca de 36%, seguido da colocação de acabamentos mais complexos, que por sua vez tem uma incidência de 29%. A quantidade de material insuficiente, nesta amostra, foi o fator com menor incidência. Não obstante, em outras obras este condicionalismo assume um peso mais significativo.

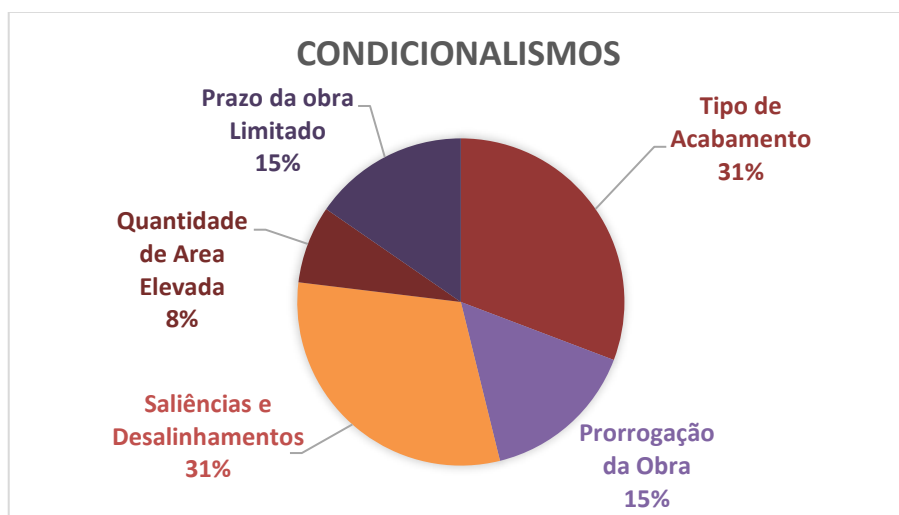


Figura 3.13 - Influência dos Condicionaismos

Por outro lado, outro fator com grande impacto na estimação custos é relativo à incorreta estimação do custo unitário de montagem/desmontagem, isto porque, na grande parte das situações, não são contabilizadas as influências dos condicionalismos que têm interferência nestes custos. Contrariamente, a disparidade dos custos unitários de aluguer já é bastante inferior, devendo-se ao facto de a estimação destes custos unitários ter uma menor dependência relativamente a outros condicionalismos. As flutuações dos valores contabilizados para estes dois custos encontram-se retratados na Figura 3.14.

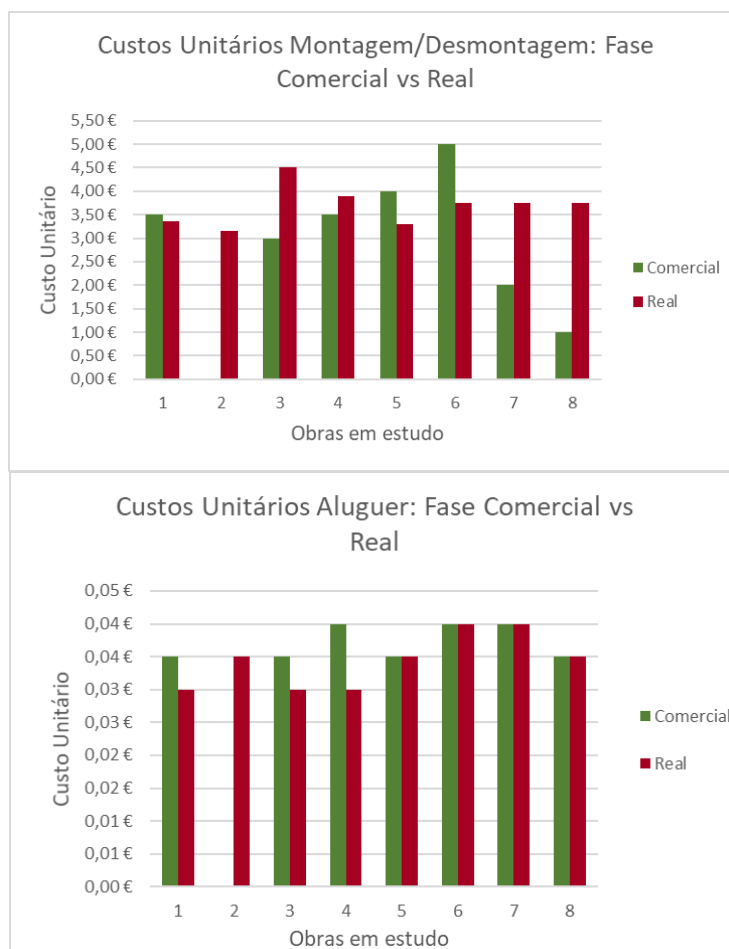


Figura 3.14 – Diferenças nos custos unitários entre fase comercial e real: a) Custos unitários montagem/desmontagem b) Custo unitário de Aluguer

3.5.3. INFLUÊNCIA DOS DESVIOS PARAMÉTRICOS NOS CUSTOS

A identificação dos parâmetros envolvidos nos cálculos, a magnitude dos desvios registados e a incidência dos mesmos no conjunto de obras, assumiu um ponto fundamental, contribuindo para uma melhor compreensão do problema e da estratégia a adotar. No entanto, torna-se igualmente pertinente avaliar o impacto destes desvios nos custos finais, ou seja, identificar o grau de influência nos custos devido a uma incorreta consideração de valores dos parâmetros.

Neste sentido, efetuou-se uma comparação orçamental, fixando um custo de referência para cada obra, custo este que corresponde ao valor real orçamentado e que irá ser comparado ao custo obtido através da substituição do valor de cada parâmetro com o respetivo valor do parâmetro da fase comercial. A Figura 3.15 retrata este processo, tendo identificado, numa primeira instância, o custo de referência de cada obra, obtido através das fórmulas descritas em 3.4.4 e com os valores dos parâmetros usados no cálculo, seguido de uma identificação dos parâmetros que foram substituídos individualmente e o respetivo valor.

Por fim, foi calculado o valor do custo total final para cada uma destas alterações, valor este que foi posteriormente comparado com o valor de referência, permitindo obter resultados percentuais quanto ao acréscimo ou decréscimo do efeito dessa alteração no custo.

Análise do impacto dos parâmetros no custo final						
Obra		m2	Prazo	Custo de aluguer diário	Custo Montagem e Desmontagem	Custo Total Final
Ed. Carnaxide	Valor de Referência:	1650+1200	150+180 dias	0,030 €	3,35 €	23 452,50 €
	Influência da diferença no valor dos parâmetros no custo final:					
	m2	2133,8				28 272,85 €
	Prazo		270			21 090,00 €
	Custo de aluguer diário			0,035 €		25 770,00 €
	Custo Montagem e Desmontagem				3,50 €	23 880,00 €
TCL	Valor de Referência:	1520	210 dias	0,035 €	3,15 €	11 720,28 €
	m2	1500				11 606,88 €
	Prazo		150			9 996,60 €
	Custo de aluguer diário			0,040 €		12 582,12 €
	Custo Montagem e Desmontagem				4,00 €	12 417,96 €
Ed. Gondarém	Valor de Referência:	490	292	0,030 €	4,50 €	7 613,10 €
	m2	1098,22				14 090,64 €
	Prazo		150			6 804,60 €
	Custo de aluguer diário			0,030 €		7 613,10 €
	Custo Montagem e Desmontagem				3,00 €	6 878,10 €
Aliados Plaza Hotel	Valor de Referência:	4186,18	270 dias	0,030 €	3,90 €	36 920,14 €
	m2	2400				20 504,10 €
	Prazo		270			36 920,14 €
	Custo de aluguer diário			0,035 €		40 159,82 €
	Custo Montagem e Desmontagem				3,50 €	35 245,67 €
ERPI SINTRA	Valor de Referência:	8000	390 dias	0,030 €	3,30 €	74 136,00 €
	m2	6000				55 602,00 €
	Prazo		330			66 792,00 €
	Custo de aluguer diário			0,040 €		90 048,00 €
	Custo Montagem e Desmontagem				4,00 €	79 736,00 €
ERPI Bonfim	Valor de Referência:	3720	210 dias	0,035 €	3,75 €	41 292,00 €
	m2	3500				38 850,00 €
	Prazo		240			45 198,00 €
	Custo de aluguer diário			0,035 €		41 292,00 €
	Custo Montagem e Desmontagem				5,00 €	45 942,00 €
ERPI Braga	Valor de Referência:	1998,47	330 dias	0,040 €	3,75 €	33 874,07 €
	m2	2800				47 460,00 €
	Prazo		600			55 457,54 €
	Custo de aluguer diário			0,040 €		33 874,07 €
	Custo Montagem e Desmontagem				2,00 €	30 376,74 €
EB. Arq. Gonçao Ribério	Valor de Referência:	4941,49	450 dias	0,035 €	3,75 €	57 444,82 €
	m2	5714,286				66 428,57 €
	Prazo		450			57 444,82 €
	Custo de aluguer diário			0,035 €		57 444,82 €
	Custo Montagem e Desmontagem				1,02 €	43 954,55 €

Figura 3.15 - Tabela Excel influência dos parâmetros nos custos

Através dos dados obtidos, avaliou-se, em termos absolutos, as percentagens resultantes da comparação dos dois custos, constatando-se que o parâmetro com maior influência é relativo ao valor da área considerada, sendo que a contabilização inadequada da área remete, tal como ilustrado na Figura 3.16, para um impacto de cerca 50% no custo final. Por contraste, o valor atribuído ao custo diário de aluguer tem apenas uma influência de 9% nos custos. De facto, a variação do valor atribuído para este custo é pequena, no entanto está associado à parcela com maior peso nos custos, o que acaba por se traduzir numa diferença significativa.

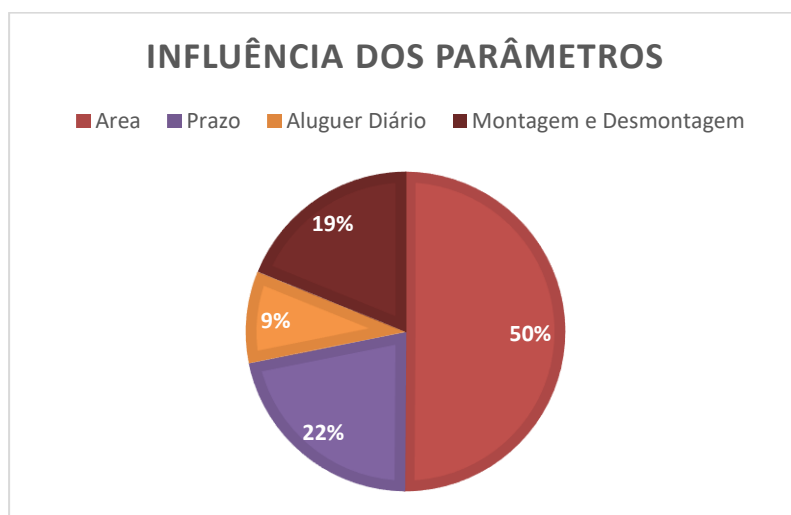


Figura 3.16 - Influência dos parâmetros, em valores globais

Do mesmo modo, esta influência pode assumir tanto um carácter negativo como positivo, ou seja, pode conduzir a valores inferiores ou superiores relativamente aos reais, sendo essencial clarificar também esta diferenciação. Quanto ao parâmetro com maior impacto, área, no conjunto de obras analisadas, esta influência tende, em valores médios, a ser mais pejorativa, uma vez que conduz a valores inferiores aos reais. O mesmo ocorre para o parâmetro do custo diário de aluguer.

3.5.4. PROBLEMÁTICA DA ABORDAGEM TRADICIONAL

A abordagem tradicional tem-se demonstrado um método relativamente elementar no processo de orçamentação e preparação de soluções de andaimes, principalmente, devido à consideração escassa de condicionalismos e à contabilização imprecisa dos vários parâmetros que interferem nos custos e no modo de determinação dos mesmos.

O processo de identificação destes fatores assume um papel crucial numa adequada preparação e quantificação destas soluções, com particular importância na contabilização destes, uma vez que, a incorreta ou incompleta aferição destes fatores pode conduzir a soluções insuficientes que, inevitavelmente, terão de ser reajustadas numa fase posterior.

Simultaneamente, a omissão de certas condicionantes em fase de preparação destas soluções, pode levar a que, em fase de construção, ocorram imprevistos de escassez de material, afetando a obra em termos de gastos adicionais e atrasos no planeamento.

A forma de contabilização adotada, em particular na atribuição do custo unitário de montagem e desmontagem que, como já foi referido, está dependente da influência dos diversos condicionalismos envolvidos, é, grande parte das vezes, escolhido consoante o historial de custos unitários utilizados em empreitadas antecessoras, sem haver uma ponderação exata ou o mais precisa desse valor face à situação real.

Por fim, outro aspeto recorrente nos cálculos desta abordagem é o modo de estimação de certos fatores, nomeadamente a área. Na realidade, em situações menos complexas, onde a estimação da área corresponde apenas ao cálculo da fachada a intervir, o cálculo torna-se um processo mais simples.

Porém, quando a complexidade aumenta e as áreas a contabilizar não são só relativas às fachadas, nem todas as áreas são contabilizadas, o que acaba por interferir na qualidade e precisão do cálculo. Isto deve-se ao facto de o processo de cálculo ser ainda muito antiquado e estar sujeito a inúmeros erros, principalmente humanos, nomeadamente erros de medições e omissão de medidas.

3.5.5. REQUISITOS GERAIS PARA COLOCAÇÃO DE ANDAIMES

As obras de edificações têm, na sua essência, características relativamente idênticas, permitindo a rápida identificação da necessidade, ou não, de andaime, bem como a respetiva quantidade. Contudo, existem outras características, tanto geométricas como espaciais, cuja identificação é menos intuitiva e que, a não contabilização no processo de orçamentação, conduz a valores de área inferiores aos realmente necessários.

A identificação das características e particularidades em obra que possam implicar e justificar a colocação de estruturas de andaime, assume um ponto chave na contribuição de uma orçamentação mais realista e viável, uma vez que, tendo em consideração as quantidades requeridas, é possível a correspondência de uma melhor resposta às necessidades em obra, diminuindo as surpresas como insuficiência de material, em fase de execução.

Enfatiza-se a importância de uma análise da solução construtiva adotada em obra já que, em certas situações, a própria solução, por ter um nível de complexidade mais acentuado ou devido à sua implementação, exige outros cuidados e pormenorização, podendo implicar a necessidade acrescida de colocação de andaimes.

Através de estudos de orçamentação de várias obras na empresa, identificam-se as seguintes características da obra com necessidade de colocação de andaime:

Tabela 5 - Características em obra que resultem na necessidade de uma estrutura de andaimes

Características
Fachadas
Elementos em Betão
Cantarias e paredes de pedra
Coberturas Provisórias
Parede Dupla
Caixas de Escadas e Elevadores
Pés-direitos interiores superiores a 4m
Superfícies Periféricas
Muros e contenções
Outros

As características da Tabela 5 foram identificadas ao longo do estudo das 8 obras, apresentadas em 3.5.1. Estas representam, de forma sucinta, os aspetos da obra a ter em consideração na preparação e orçamentação de soluções de andaime. A identificação destas características, em fase comercial, pode permitir uma estimação mais correta das quantidades e uma melhor percepção da gestão e logística dos andaimes em obra.

3.5.6. INFLUÊNCIA DOS CONDICIONALISMOS

A preparação e planeamento de soluções de andaime numa obra é um processo que deve ter em conta a interferência das várias condicionantes envolvidas, que vão variando consoante o tipo e característica da obra. Estes condicionalismos representam uma influência significativa na estimação dos custos finais e na preparação de uma solução adequada e eficiente, destacando-se assim, a importância de uma identificação adequada e uma estimação precisa destes condicionalismos.

Este efeito é ainda mais notório em fase comercial onde estes condicionalismos não são, grande parte das vezes, tidos em conta. Assim, de forma a garantir que o valor levado a concurso não é, nem demasiado elevado, garantindo a competitividade da empresa, nem demasiado baixo, podendo comprometer o desenvolvimento da obra, torna-se crucial a adoção de métodos mais precisos e mais realistas que englobem todos os condicionalismos de forma adequada e responsável.

É de realçar que as condicionantes podem diferenciar consoante o tipo de obra, as suas características e os recursos existentes, não sendo estas permanentes nem imutáveis. Através do conjunto de obras analisadas, foi possível identificar um conjunto de condicionalismos, apresentados na Tabela 6, os quais influenciam a presença e necessidade de andaime em obra.

Tabela 6 - Condicionaismos identificados no estudo de diversas obras

Condicionalismos
Tipo de Material de Acabamento
Espessura do Acabamento na Fachada
Forma e geometria do Elemento
Existência de saliências e/ou desalinhamentos na fachada
Recursos existentes em obra
Equipamento em Stock
Centros Históricos
Solução Construtiva
Prazo Limitado da Obra
Acessibilidade à obra
Condições do local de trabalho
Outros

Com efeito, a não consideração de todas as condicionantes gera um maior impacto em obra, mais especificamente, no planeamento previsto e no rendimento dos trabalhos. Condicionaismos como áreas e durações temporais são relativamente intuitivas de estimar e contabilizar, sendo estes parâmetros

quantificáveis e facilmente identificáveis numa obra. Mesmo assim, estão também englobados outros condicionalismos cujo modo de contabilização requer um processo diferente e cuja influência pode interferir tanto na estimação direta dos custos como também na estimação da influência com outros fatores, como é o caso do tipo de acabamento em obra.

Habitualmente, o equipamento de andaime é colocado nas fachadas quando se inicia a fase de acabamento para auxiliar a colocação dos materiais compositores do acabamento dessa fachada. Contudo, existem outros tipos de acabamentos cujos trabalhos obrigam à colocação antecipada de andaime, como por exemplo, acabamentos em cantaria. Desta forma, uma incorreta consideração da quantidade de equipamento de andaime leva a que, em fase de execução, haja menos material que o necessário para a realização do trabalho previsto. Esta carência, para além de interferir com o planeamento da obra, atrasando a realização dos trabalhos por falta de meios de trabalho, leva também a prejuízos no orçamento.

O tipo e complexidade do acabamento interfere também na necessidade de rotatividade dos andaimes em obra, uma vez que, em acabamentos mais complexos e com uma grande quantidade de trabalho a desempenhar, nomeadamente, fachadas ventiladas, cantarias, e outros, o rendimento é inferior, o que impossibilita a consideração de rotação dos andaimes. Ao mesmo tempo, esta situação já não se verifica em fachadas cuja complexidade é inferior, como por exemplo sistemas ETICS, pinturas, barramentos, entre outros, no qual a rotatividade já é uma opção viável. Assim, os restantes elementos verticais a aplicar andaime podem esperar pela conclusão de outros elementos sem que isso comprometa o planeamento previsto.

A espessura do material ou do conjunto de materiais a aplicar na fase de acabamento representa outro fator com extrema importância e deve ser contabilizado na orçamentação e preparação da solução de forma que, em fase de construção, não ocorram também imprevistos. A montagem da estrutura de andaimes em fachadas deve garantir o cumprimento do afastamento máximo permitido, como foi referido em 3.4.3.1, de 25 cm entre andaime e elemento de trabalho. No entanto, em situações cuja espessura é tal, não sendo viável, por motivos operacionais, garantir esse afastamento, de forma a permitir a realização dos trabalhos de acabamento sem que sejam condicionados pela estrutura de andaime, torna-se indispensável afastar a estrutura de andaimes, colocando, devidamente, as guardas interiores necessárias. Em situações mais críticas, poderá até ser necessário a instalação de uma segunda estrutura ou outro tipo de equipamento de suporte ou apoio.

Este acréscimo de detalhe, a ter em conta na colocação do andaime em obra, traduz-se num aumento do trabalho a realizar, implicando uma diminuição do rendimento da equipa, significando um maior custo associado.

Adicionalmente, fatores como a irregularidade e os desalinhamentos dos elementos verticais são condicionalismos que interferem significativamente com o tipo de solução e o respetivo custo. O nível de complexidade do elemento vertical pode implicar não só uma modelação mais detalhada da solução de andaimes, como também a necessidade de colocação adicional de equipamento, como plataformas extra e/ou tirantes, como o ilustrado na Figura 3.17. Por vezes, em situações em que o comprimento do desalinhamento é significativamente elevado, é necessária a montagem de uma segunda torre de andaimes para dar suporte aos trabalhos.



Figura 3.17 - Exemplo de andaimes em saliências na fachada [63]

A disponibilidade dos recursos em obra, desde meios de elevação, transporte, mão de obra, entre outros, também constitui uma interferência na estimação e preparação de soluções de andaime. Este condicionalismo é, possivelmente, um dos mais frequentes em obra, uma vez que, a carência ou indisponibilidade de diversos recursos em obra é um fator comum, interferindo principalmente na produtividade e no desenvolvimento da obra. Um exemplo disto é referente à falta de meios de elevação, exemplificado na Figura 3.18, pode induzir à necessidade de instalação de um monta-cargas, que requer o apoio de estruturas de andaimes logo numa fase mais inicial à dos acabamentos.



Figura 3.18 – Exemplo de andaime para instalação de monta cargas [64]

Consequentemente, a falta de mão de obra é um dos grandes problemas da construção civil e que condiciona o cumprimento de qualquer tarefa. A carência de mão de obra deve ser tida em conta na ocupação das frentes de trabalho disponíveis, sendo necessário conjugar a mão de obra disponível com a montagem de andaime, de forma a não haver equipamento parado em obra durante um tempo significativo.

Outro fator, que é igualmente importante, é a quantidade de andaimes que irá ser necessária, visto que, quanto maior for a área sujeita a intervenção, maior será a quantidade de andaimes necessários. Atualmente no mercado existe um valor máximo de capacidade de disponibilização de andaimes, sendo que, para quantidades muito elevadas pode não haver oferta disponível, forçando a rotatividade dos andaimes em obra. Este imprevisto pode-se traduzir numa diminuição do rendimento e num atraso do planeamento da obra.

A implantação da obra em centros históricos é um outro condicionalismo que não deve ser omitido. Em termos práticos, os centros históricos são caracterizados pelos difíceis acessos, pelas restrições a nível de espaço, vizinhança, entre outros. Os meios de cargas e descargas são, normalmente, limitados espacialmente, bem como a ligação entre estes locais e a própria obra, obrigando a uma maior coordenação e logística.

Por fim, o tipo de solução construtiva escolhido, nomeadamente a existência de parede dupla, tem uma influência na preparação e orçamentação de soluções de andaime, uma vez que é necessário logo na construção da fase de alvenaria montar a estrutura de andaimes, de forma a permitir a execução segura e adequada dos trabalhos, ou seja, meia cana pelo lado exterior, posterior colocação da fileira de blocos exteriores e, por fim, ceresitar a parede exterior.

Denota-se que os condicionalismos já identificados não são os únicos, pelo que, consoante o tipo de obra, as suas características e situação envolvente, estes fatores poderão ser alterados e/ou acrescentados. Realça-se também que, em obras distintas de edificações, tais como obras hidráulicas, pontes, estradas, e outros, os condicionalismos poderão também ser outros, visto que a natureza da obra é totalmente distinta.

3.6.MÉTODO PROPOSTO VS ABORDAGEM TRADICIONAL

A abordagem tradicional apresentada mostrou-se um processo pouco eficiente no que diz respeito à preparação e orçamentação de soluções de andaime. Este método revelou-se particularmente inadequado na estimativa das áreas, na quantidade de material efetivamente necessária e na duração da tarefa envolvida.

A determinação destas áreas é, na abordagem tradicional, feita através de várias medições em plantas e cortes em CAD da empreitada, o que, para além de ser uma abordagem atualmente desatualizada comparativamente com o avanço tecnológico existente no setor, também implica um maior esforço laboral, tornando o trabalho demorado e penoso. Isto traduz-se num método ineficiente, sujeito a erros e omissões que seriam facilmente evitáveis.

Por outro lado, o cálculo das durações em obra, pelo método convencional, é contabilizado de modo uniforme e global, não havendo uma clara diferenciação da complexidade e exigência entre elementos distintos em obra, nem do número de equipas disponíveis e necessárias para a execução do respetivo elemento. Esta estratégia não permite, consoante o tipo de acabamento ou tarefa a realizar, elaborar um planeamento eficiente e eficaz adequado à tarefa e ao tempo que esta exige.

Deste modo, a ineficácia desta metodologia interfere pejorativamente na fiabilidade e precisão dos valores orçamentados, o que, no ponto de vista da empresa, é uma barreira que deve ser ultrapassada e solucionada. Assim, o método proposto pretende incidir numa resposta aos seguintes pontos:

- Quantificação precisa da área de andaimes envolvida;
- Estimação aproximada da quantidade de material necessária;
- Estimação das durações da tarefa consoante o tipo de acabamento;
- Obtenção de resultados em tempo real;

3.7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A preparação e orçamentação de soluções de andaime é um processo delicado e complexo, uma vez que a sua estimação está sujeita a diversas dependências e influências de fatores que, por vezes, são de difícil identificação.

Denota-se, no entanto, um padrão verificado em todas as obras analisadas, que diz respeito à incorreta estimação das áreas a intervir. Isto deve-se, maioritariamente, à imprecisão e ineficiência do processo de cálculo utilizado à data e ao pouco tempo disponível para a aplicação do processo, sendo essencial corrigir esta carência através de métodos mais automatizados, que possibilitem resultados mais precisos e em tempo real.

A identificação adequada dos fatores, condicionalismos e soluções construtivas a adotar, assume um papel de extrema importância, uma vez que permite, não só uma atribuição de custos unitários mais realista, como também possibilita a análise da generalidade da obra, obtendo-se assim uma melhor perceção da gestão e logística que irá ser necessária, logo numa fase mais inicial.

É de referir que, os pesos da influência dos condicionalismos estão sempre dependentes da empresa subcontratada em questão e dos valores atuais do mercado, mas também estão dependentes das capacidades de negociação da empresa.

4

PROPOSTA DE UM ALGORITMO PARA GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME

4.1. ENQUADRAMENTO

O desenvolvimento desta dissertação tem como principal foco, o incentivo e aposta em metodologias automatizadas e tecnológicas, nomeadamente mecanismos de resposta às ineficiências identificadas nos trabalhos da empresa.

O setor da construção está constantemente sob influência de diversos fatores que inviabilizam a padronização do mesmo e que contribuem para o aumento das ineficiências. Por outro lado, a densidade de ligações entre intervenientes, recursos, equipamentos, fornecedores, entre outros, dificulta o controlo continuado de uma obra, levando também à identificação de custos mais elevados do que os previstos.

A mitigação e correção destas dificuldades consiste, geralmente, em identificar todas as ineficiências e oportunidades de otimização das mesmas. Torna-se assim, um processo de resolução contínua e progressiva, devendo ser abordado ponto a ponto, uma vez que o próprio setor está em constante mutação e evolução, tal como os problemas que vão surgindo. Com base neste pressuposto, optou-se por centrar o estudo em apenas um elemento: soluções de andaimes. Embora este não seja o único aspeto passível de otimização, no ponto de vista empresarial é aquele cuja resolução e atenuação têm uma maior relevância, potencialidade e impacto.

O presente capítulo apresenta uma descrição detalhada da metodologia desenvolvida para a identificação e quantificação de soluções de andaimes, assim como a criação e ligação automatizada a softwares de BIM 4D, juntamente com a respetiva visualização tridimensional, a partir de modelos BIM.

É de realçar que as variáveis e coeficientes envolvidos nos cálculos foram introduzidos como inputs do código, tornando o código mais *user-friendly* e moldando-o de forma mais uniforme a todas as situações e condições que poderão ser impostas pelo utilizador, sem que este necessite de percorrer o código para efetuar essa alteração.

4.2. ESTRUTURA E PREPARAÇÃO INICIAL DA PROPOSTA

A proposta em questão baseia-se numa sequência de linhas de comando estruturado em Dynamo, software Revit. Este código é composto por duas fases, sendo a primeira uma estimação e quantificação de soluções, bem como uma pré-orçamentação, e a segunda referente à criação de um ficheiro com formato *Comma-separated Values* (CSV), que será posteriormente importado no software Navisworks.

4.2.1.PREPARAÇÃO DO MODELO

O programa Revit foi utilizado como uma ferramenta de preparação inicial do trabalho a realizar sendo necessário um pré-tratamento e reajuste da modelação, de forma a garantir que as características dos modelos fornecidos correspondiam às exigências da estrutura de código. Esta necessidade advém de que, em ambiente empresarial, os modelos elaborados são apenas relativos a determinadas especialidades, não sendo estes compostos por elementos arquitetónicos que se adequem aos requisitos da proposta.

Os modelos adequados para aplicação do código não requerem um nível de detalhe muito elevado, sendo possível implementar a proposta num modelo mais simples com um *Level of Development* (LOD) baixo. Para que seja exequível a implementação do código proposto, o modelo requer duas características:

- Ser composto por elementos verticais (com categoria *Walls* para facilitar o processo) que englobem toda a área a intervir nesse mesmo elemento, ou seja, a *Wall* de uma dada fachada/parede/muro deverá ser composta por todo o comprimento desse elemento e ir desde o nível à cota zero até à cota do último piso. Isto permite simular a estrutura de um andaime num dado elemento.
- Estar devidamente caracterizado no parâmetro de identificação, criado previamente no modelo. Desta forma, o código consegue identificar os elementos relevantes em relação a todos os outros. No âmbito desta dissertação, o parâmetro de identificação criado foi denominado por “Andaime”.

4.2.2.DESENVOLVIMENTO EM DYNAMO

4.2.2.1.Introdução ao Dynamo

O software Dynamo é uma linguagem de programação visual composta por interligações que, de uma forma geral, criam um género de fluxo de informação, operações e ligações que condicionam e interferem com o código, o seu funcionamento e o respetivo resultado. Nas versões mais recentes, o Dynamo encontra-se incorporado no software Revit.

A escrita em Dynamo é constituída por *nodes*, *linhas*, *scripts*, *packages*, *inputs* e *outputs*. Os nodes representam funções e operações de uma certa biblioteca, os scripts são códigos personalizados criados pelo próprio usuário e as linhas servem de indentação do próprio código. Os packages são bibliotecas de funções que podem ser importadas para o código.

4.2.2.2.Descrição do Trabalho

O processo de quantificação automática e posicionamento no desenho tridimensional consiste na elaboração de um conjunto de linhas de código através do software Dynamo. O código é constituído por 3 componentes:

- Quantificação das quantidades necessárias de andaimes e respetivo custos;
- Criação de um planeamento das tarefas em formato CSV;
- Extração dos valores obtidos para um ficheiro Excel.

4.2.2.3. Python e Ironpython

Python é uma linguagem de programação, criada por Guido Van Rossum em 1991 e de fácil utilização, altamente legível, orientada para uma digitação dinâmica e de leitura acessível. Estas características permitem que o seu processo de aprendizagem seja mais ágil e intuitivo, levando a que, nos dias de hoje, esta linguagem seja uma das mais predominantes nas diversas áreas de desenvolvimento tecnológico.

A linguagem Python foi incorporada nas capacidades do Dynamo, através de nodes Python que são denominados de Python Script e que facilitam a programação visual quando esta se torna demasiado difusa e de difícil compreensão. A linguagem destes scripts é em IronPython, que corresponde a uma variante do Python resultante da implementação do Python em Dynamo.

O node *Python Script* pode ser acedido facilmente no motor de pesquisa do Dynamo, ilustrado na Figura 4.1, sendo necessária a importação de uma ou mais variáveis no script. Selecionando o modo de edição deste node, abre-se uma janela destinada à digitação do código pretendido.

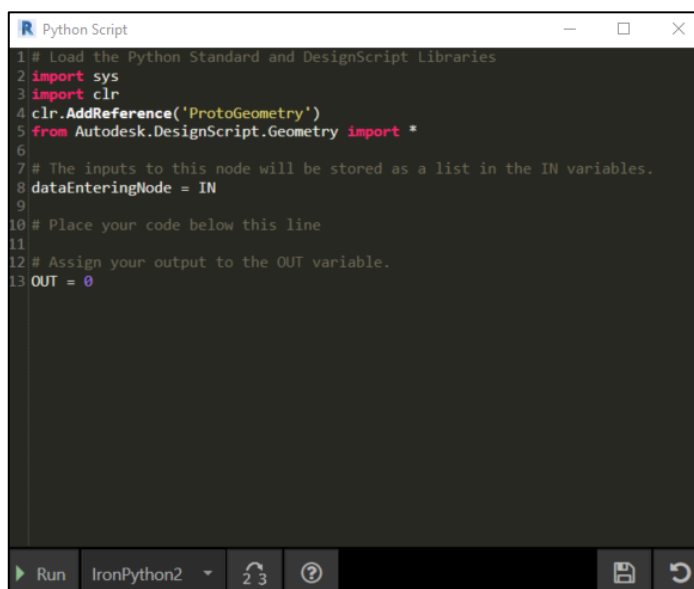


Figura 4.1 - Editor Python Script (default)

O IronPython visa o *.NET Framework*, tendo sido projetado para integrar especificamente bibliotecas do .Net Framework, o que permite acesso direto às bibliotecas *.NET da Microsoft*. O .Net Framework, mais conhecido como *dot-net*, é um conjunto de recursos para desenvolvimento de softwares direcionado para o sistema operativo do Windows. Em termos gerais, todas as aplicações do Windows recorrem e utilizam bibliotecas *.Net*.

A principal desvantagem do IronPython é o seu desenvolvimento em comparação com a linguagem Python, uma vez que o primeiro carece de alguns recursos que foram mais recentemente implementados na linguagem corrente de Python. Outra carência desta linguagem é a incompatibilização de algumas bibliotecas Python bastante populares na comunidade, nomeadamente *numpy* e *pandas*. Apesar disto, a escrita da linguagem do IronPython é muito similar à do Python, sendo que, o conhecimento adquirido de programação poderá ser facilmente transferido para outras versões da linguagem.

4.2.3.ESPECIFICAÇÕES A CONSIDERAR NOS CÁLCULOS

A determinação das quantidades de andaimes necessários a colocar nos diversos locais de interesse requer a consideração de certos valores pré-estabelecidos, presentes na Figura 4.2, Tabela 7 e Tabela 8, uma vez que, está correlacionado com elementos reais em obra, nomeadamente soluções andaimes, podendo estas assumir diversas geometrias, características e tipologias.

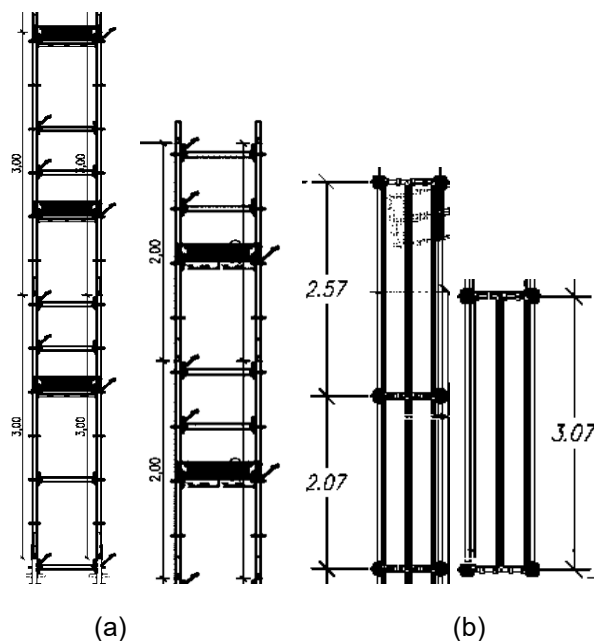


Figura 4.2 - Alturas e comprimentos dos andaimes: (a) Corte transversal (b) Planta

Tabela 7 - Distância entre plataformas verticais consoante o tipo de andaime

Tipo de Andaime	Comprimento
Fachada	L = 2m
Multidirecional	L = 3m

Tabela 8 - Comprimentos das plataformas

Comprimentos:
0,73m
1,07m
1,57m
2,07m
2,57m
3,07m

4.3.DESCRICÃO DO CÓDIGO IMPLEMENTADO

O código para gestão e otimização de andaimes consiste na estruturação de uma linha de código visual em Dynamo, tendo este software desempenhado um papel central neste estudo, uma vez que esteve encarregue de realizar todo o tipo de operações e ligações necessárias.

O código elaborado é composto por dois segmentos, independentes entre si, mas complementares. O primeiro relativo à quantificação e estimação de elementos necessários e custos, e o segundo referente à criação de um ficheiro em formato CSV que fará a ligação entre o modelo e planeamento, podendo ser visualizado posteriormente no software Navisworks.

É de referir que estes segmentos têm como início a mesma estrutura de codificação, uma vez que ambos envolvem uma filtragem e seleção inicial dos elementos em objeto, havendo depois uma dispersão do código em duas vertentes distintas.

4.3.1.SELEÇÃO DOS ELEMENTOS

A identificação e seleção dos elementos em estudo é conseguida através da implementação do node *Element.GetParameterValueByName*, presente na Figura 4.3, que, consoante o parâmetro pretendido, selecciona os elementos dentro da mesma categoria que estejam parametrizados. O parâmetro de seleção foi previamente criado no Revit e preenchido no modelo, de forma a ser possível a identificação dos elementos em estudo.

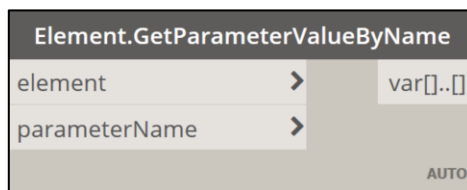


Figura 4.3 - Node Dynamo para seleccionar elementos

Este processo contempla também os elementos cujos campos do parâmetro se encontram vazios, sendo então necessário efetuar uma filtragem dos elementos para seleccionar apenas os elementos que contenham informação. Isto pode ser conseguido recorrendo ao node *List.FilterByBoolMask*, ilustrado na Figura 4.4, tendo este a capacidade de filtrar um determinado parâmetro, valor ou string como input *mask*, dentro de uma lista de elemento, através da correspondência destes com elementos de uma lista de booleans (verdadeiros e falsos). A *mask* utilizada verifica se o conteúdo do parâmetro é diferente ou não de um elemento vazio, uma vez que no Dynamo um parâmetro sem conteúdo é considerado como vazio.

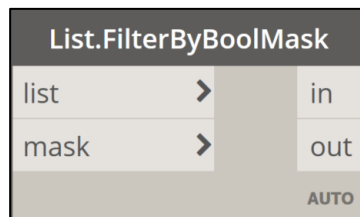


Figura 4.4 - Node Dynamo de filtragem

A Figura 4.5 ilustra a sequência do código utilizado na identificação e seleção dos elementos em estudo, bem como os *prints* de cada node de forma a ser perceptível o resultado de cada operação e o modo como a informação vai sendo trabalhada.

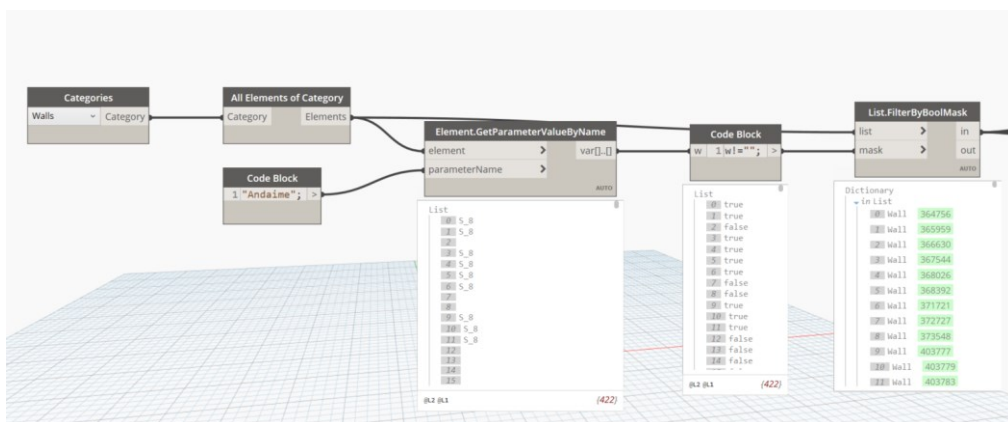


Figura 4.5 – Código de identificação dos elementos em Dynamo

4.3.2.FASE 1: PROCESSO DE QUANTIFICAÇÃO

A primeira fase do código é composta por uma parcela inicial, onde se filtra e identifica os elementos e parâmetros necessários para o cálculo, seguida de um conjunto de scripts elaborados em IronPython que serão depois extraídos, através de nodes, para um ficheiro Excel.

O fluxograma, presente na Figura 4.6, descreve de forma sucinta o trabalho a ser realizado nesta fase:

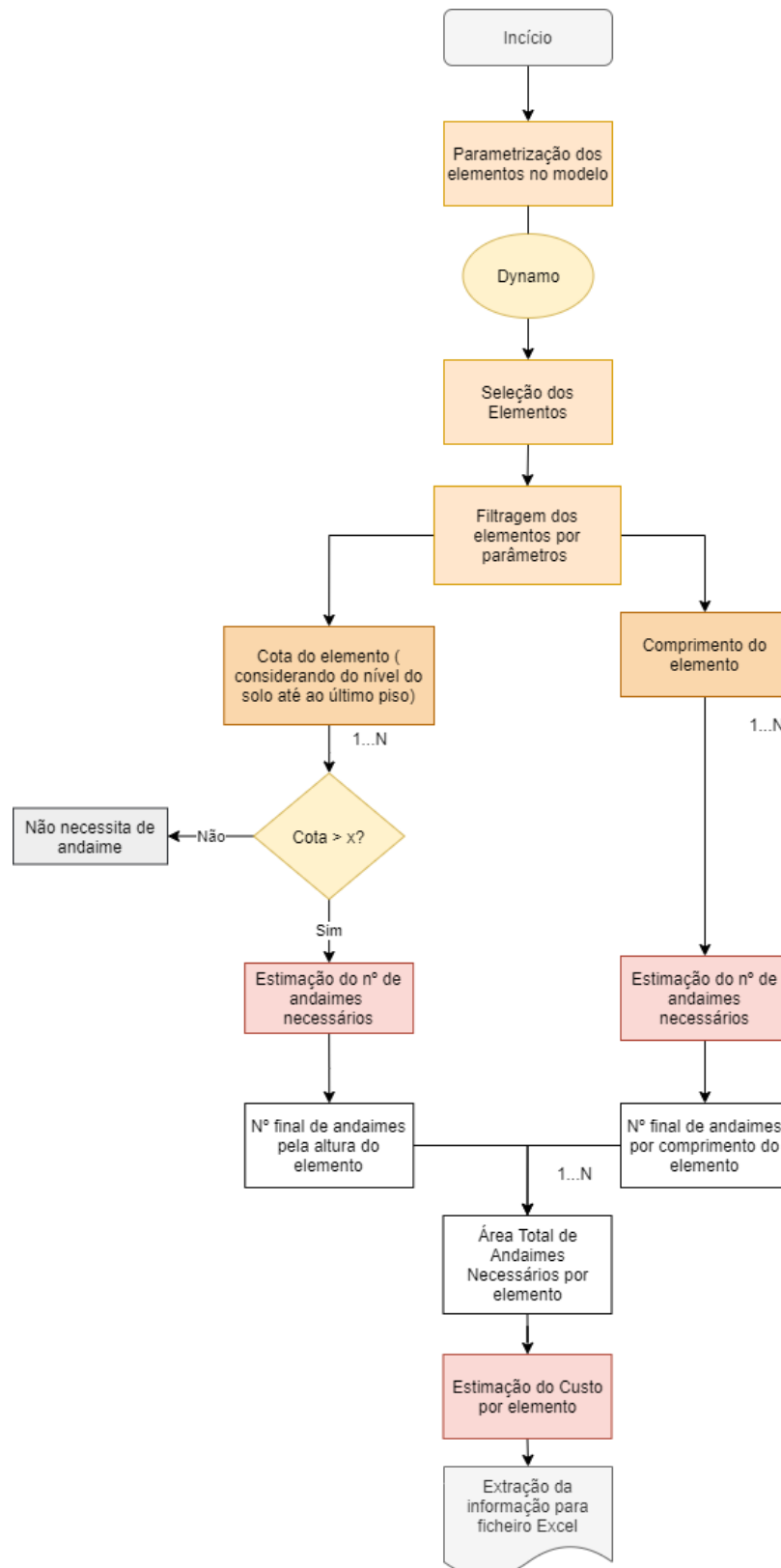


Figura 4.6 - Fluxograma da Metodologia: Fase 1

O processo de estimação do número de andaimes necessário e do custo por elemento, identificado anteriormente, tratou-se de um processo mais complexo. Desenvolvido inteiramente em linguagem Python, este recebe um conjunto de dados específicos do modelo e variáveis externas, a partir dos quais calcula a quantidade de andaimes necessária e as áreas associadas, tal como o respetivo custo associado.

Os códigos de estimação de quantidades de andaimes seguem apresentados na Figura 4.7 e Figura 4.8, tanto em altura como em comprimento, respetivamente:

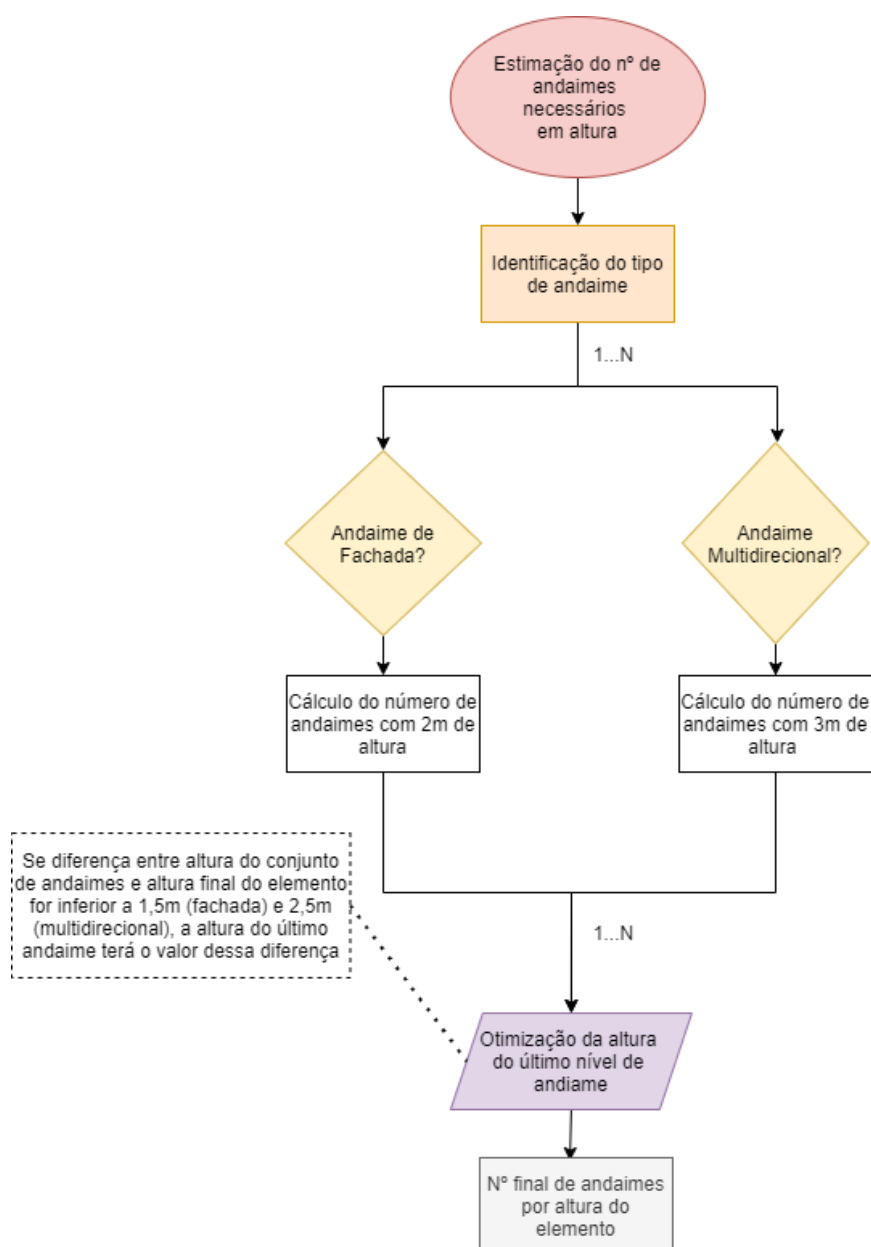


Figura 4.7 – Fluxograma: Estimação das quantidades em altura

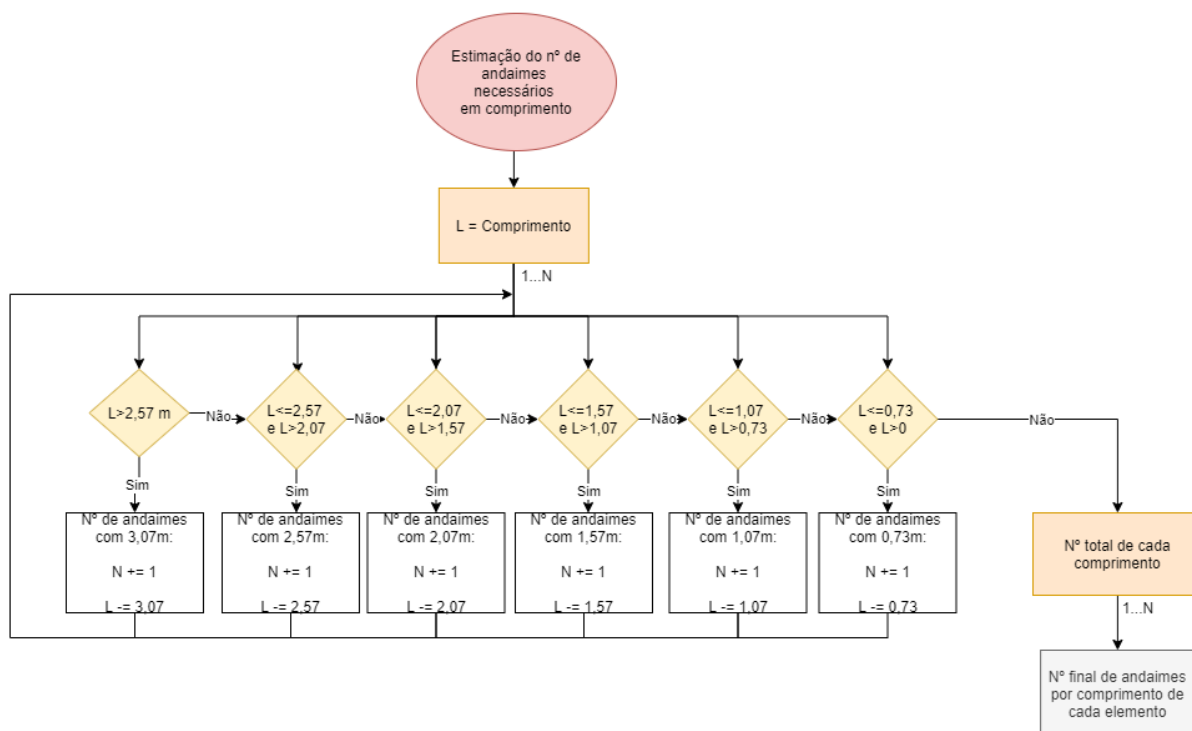


Figura 4.8 – Fluxograma: Estimação das quantidades em comprimento

4.3.2.1. Seleção dos Parâmetros

O código Python requer determinados inputs necessários para o correto funcionamento do código, inputs estes que correspondem ao conjunto de valores de determinados parâmetros integrantes do modelo, sendo estes, altura, comprimento, área e ID.

Os parâmetros foram extraídos recorrendo novamente ao node *Element.GetParameterValueByName*, ilustrado na Figura 4.3, que assume como input os elementos filtrados inicialmente e o respetivo nome do parâmetro.

4.3.2.2. Quantificação do número de andaimes em altura

Este segmento do código foi elaborado, como já referido, em linguagem Python, onde se estruturou um conjunto de comandos com determinadas operações e condições de forma que o processo de cálculo pretendido esteja em conformidade com o código criado.

O código, apresentado no Algoritmo 1, inicia-se com um processo iterativo, denominado de *while*, que executa uma série de instruções de forma contínua, enquanto a condição especificada no script se verificar.

Enquanto a condição do ciclo se mantiver verdadeira, o código percorre cada elemento verificando, primeiramente, o tipo de andaime associado, isto é, se é de fachada ou multidirecional, através da instrução *if/elif*. Denota-se que *elif* provém da abreviação do comando *else if* por ser mais útil e por evitar uma indentação excessiva.

Após verificado o tipo de andaime em questão, o código procede para a quantificação dos andaimes. Esta quantificação é feita contabilizando o número, em valores inteiros, de andaimes necessários para preencher a altura total do elemento. Para isto, o código executa um ciclo *while*, que vai incrementando de forma unitária o número de andaimes necessário até que a altura acumulada dos mesmos ultrapasse o máximo possível. Este processo decorre de forma similar nos dois tipos de andaime, à exceção dos valores adotados como mínimos.

```
# Código de Quantificação de andaimes por altura

while (i <= (n_de_elementos-1)): # n-1 permite que o código comece na posição 0

    altura_máxima = altura_elemento [i] + altura_segurança

    if nome_elemento == andaime_de_fachada:

        if altura_máxima > altura_mínima:

            h = altura_andaime #altura_andaime corresponde à altura do andaime de
            fachada que corresponde a 2m

            while (h <= altura_máxima[i]):

                número_de_andaimes_fachada[i] += 1
                h += altura_andaime_fachada

        else if nome_elemento == andaime_multidirecional:

            if altura_máxima > altura_mínima:

                h = altura_andaime #altura_andaime corresponde à altura do andaime
                multidirecional que corresponde a 3m

                while (h <= altura_máxima[i]):

                    número_de_andaimes_multidirecional [i] += 1
                    h += altura_andaime_multidirecional

    i+=1
```

Algoritmo 1 - Código desenvolvido em Python para quantificação do número de andaimes em altura

Este código passa depois por um processo de otimização, uma vez que os resultados são estimados, maioritariamente, por excesso. Este processo de otimização, demonstrado no Algoritmo 2, percorre novamente todos os elementos e verifica se a altura total do andaime, determinado no bloco anterior, comparativamente com a altura do elemento, é ou não um valor admissível. Caso o valor seja demasiado elevado, o código quantifica a altura do último nível de andaime, como sendo o valor dessa diferença. Esta estratégia permite obter valores mais realísticos e com maior exatidão.

```

# Código de otimização das quantidades de andaime em altura
for n in numero_de_tipo_andaime: # tipo de andaime: fachada e multidirecional
    if n != 0: # != significa diferente de
        diferença_de_altura = altura_máxima [i] - (n x altura_tipo_andaime) # Se
andaime de fachada, altura = 2m; se andaime multidirecional, altura = 3m
        if diferença_de_altura <= x and diferença_de_altura > 0:
            última_altura_tipo_andaime = diferença_de_altura # valor arredondado às
décimas
        else if diferença_de_altura > x:
            última_altura_tipo_andaime = altura_tipo_andaime
    i +=1

```

Algoritmo 2 - Código desenvolvido em Python para otimizar o número de andaimes estimados por altura

4.3.2.3. Quantificação do número de andaimes em comprimento

Em simultâneo com o código de quantificação descrito em 4.3.2.2, foi também implementado um bloco de código que, por sua vez, quantifica o número de andaimes necessários para preencher o comprimento do elemento, código este representado no pseudocódigo presente no Algoritmo 3. É de enfatizar que, na modelação de soluções de andaime, a solução mais eficiente é aquela cujos módulos de andaime têm o máximo comprimento possível.

Através de um ciclo while e tendo em conta os comprimentos possíveis dos andaimes, o código avalia, para cada elemento, quantos andaimes de cada tipo serão necessários para cobrir o seu comprimento, sempre com a premissa, anteriormente descrita, de que a solução mais eficiente é aquela cujos módulos de andaime têm o máximo comprimento possível. Desta forma, inicialmente, verifica-se a primeira categoria de andaimes em que o comprimento do elemento se enquadra e, dentro dessa categoria, é executado um outro ciclo while que incrementa de forma unitária o número total de andaimes da respetiva categoria até que a condição que delimita a mesma não mais se verifique.

Durante este ciclo while é feita uma atualização do comprimento do elemento à medida que é incrementado o número total de andaimes, ou seja, sempre que o número total de andaimes é incrementado, é subtraído o seu respetivo comprimento ao comprimento total do elemento. Com base no comprimento atualizado do elemento, o código corre de forma sequencial, efetuando uma comparação contínua com as categorias existentes. No final da sua execução, o número de andaimes necessários para cada comprimento de plataforma é então guardado numa lista.

Os comprimentos das plataformas referidos dizem respeito a um conjunto de 6 valores, que correspondem aos valores atualmente utilizados no mercado e pela empresa. O código elaborado privilegia apenas a quantificação para este conjunto determinado de valores, sendo possível, no entanto, a alteração deste número e dos respetivos valores, através da modificação do bloco do código.

Este processo de modificação é relativamente intuitivo, uma vez que os blocos de código das várias condições apenas diferem no valor do comprimento em consideração. De modo a facilitar a leitura e compreensão deste código, a Tabela 9 representa o conjunto de valores assumidos nos cálculos das quantidades.

Tabela 9 - Categorias atribuídas aos comprimentos das plataformas

Comprimento	Categoria	Limite Inferior	Limite Superior
3,07m	A	>2,57m	-
2,57m	B	>2,07m	<= 2,57m
2,07m	C	>1,57m	<= 2,07m
1,57m	D	>1,07m	<= 1,57m
1,07m	E	>0,73m	<= 1,07m
0,73m	F	>0m	<= 0,73m

```
# Código de cálculo de quantidade de andaime por comprimento
while (i <= (n_de_elementos -1)):
    c = comprimento_elemento [i]
    if c >= categoria_A:
        while ( c >= categoria_A):
            n_de_andaimes_maior_plataforma += 1
            c -= comprimento_plataforma_A #valor do comprimento da plataforma A

    ... # processo repete-se para as restantes categorias (ver tabela), por ordem
    decrescente

    if c <= categoria_F and < 0: #cálculo para o menor comprimento da plataforma
        while (c <= categoria_F and < 0):
            n_de_andaimes_menor_plataforma +=1
            c -= comprimento_plataforma_F #valor do comprimento da plataforma F
```

Algoritmo 3 - Código desenvolvido em Python para quantificar o número de andaimes em comprimento

4.3.2.4. Estimação do custo final

O processo de estimação do custo final consiste na incorporação dos resultados dos códigos descritos em 4.3.2.2 e 4.3.2.3, quantificando os respetivos valores métricos e um conjunto de variáveis essenciais para o cálculo, a partir do número de andaimes final que é dado pela junção do número de andaimes por altura e comprimento.

A estrutura da escrita deste código, como representado no Algoritmo 4, é bastante semelhante à dos já descritos. Partindo de um ciclo *while*, que percorre todos os elementos e verifica qual é o tipo de andaime em análise, prosseguindo para o cálculo das áreas de andaime e dos custos associados.

As fórmulas utilizadas para a quantificação do custo estimado, bem como as variáveis a incluir nos mesmos cálculos, são as mesmas descritas em 3.4.4, sendo estas custo unitário de aluguer, montagem e desmontagem. O parâmetro prazo, que traduz o número de dias de permanência do andaime em obra, é calculado no próprio código, recorrendo ao rendimento de cada tipo de acabamento.

O número de dias é dado pela multiplicação da quantidade de área necessária pelo respetivo rendimento. Estes rendimentos, descritos na Tabela 10, são valores estipulados pela própria empresa.

O número de equipas está dependente da quantidade de trabalho a executar, pelo que, para uma grande quantidade de área, o número de equipas tende a aumentar.

Tabela 10 - Rendimentos a considerar consoante o tipo de acabamento

Acabamento	Tipo de Complexidade	Rendimento (dia/m ²)	Nº de Equipas
Pedra	Alta	10	1
Capoto	Média	21	1
Reboco	Baixa	50	1

As durações no algoritmo são calculadas da seguinte forma:

$$\text{Duração (dias)} = \frac{m^2}{n^{\circ} \text{ de equipas} * \text{rendimento}} \quad (6)$$

```
# Código de estimação do custo
while (i <= n_elementos-1):
    if andaime == fachada:
        #Altura de andaime de fachada = 2m:
        altura_andaime[i] = n_de_andaimes[i] * 2 + altura_último_nível[i]
        comprimento_andaime[i] = n_de_andaimes[i] * comprimento_plataforma
        area_andaime[i] = altura_andaime[i] * comprimento_andaime[i]

    else if andaime == multidirecional
        #Altura andaime multidirecional = 3m:
        altura_andaime[i]= n_de_andaimes * 3 + altura_último_andaime
        comprimento_andaime[i] = n_de_andaimes[i] * comprimento_plataforma
        area_andaime[i] = altura_andaime[i] * comprimento_andaime[i]

    if tipo_acabamento == Tipo 1 #Acabamento Tipo 1 (ver tabela)
        rendimento = x

        duração_andaime[i] = area_andaime[i] / (n_equipas * rendimento)

        (...) #Processo repete-se para todos os tipos de acabamento na tabela

    else if tipo de acabamento == Tipo X
        rendimento = y

        duração_andaime[i] = area_andaime[i] / (n_equipas * rendimento)

    custo [i] = area_andaime[i] * custo_montagem/desmontagem +
    area_andaime[i] * rotatividade * custo_diário_aluguer * duração_andaime
    i+=0
```

Algoritmo 4 - Código desenvolvido em Python para estimar custos

4.3.2.5.Extração dos resultados para Excel

O software Excel, neste estudo, representa o meio de tradução entre o procedimento adotado e a empresa, possibilitando uma compreensão e percepção dos resultados de forma mais uniformizada, considerando que, neste caso particular, esta ferramenta é uma das mais utilizadas na empresa e todos os intervenientes deste processo de preparação e orçamentação de soluções de andaime estão devidamente capacitados para esse efeito.

A estruturação do código foi elaborada recorrendo aos nodes do Dynamo, no qual houve necessidade de criar listas, agrupando os diversos dados de forma a ser possível extrair a informação desejada conforme o pretendido. Neste processo destacam-se dois nodes essenciais: *Data.ExportExcel* e *List.Transpose*. O primeiro facilita o processo de exportação da informação para um ficheiro Excel e o segundo possibilita uma estruturação limpa e clara de toda a informação na *worksheet*.

A *worksheet* dos resultados, idêntica à da Figura 4.9, foi previamente preparada, tendo sido acrescentada uma linha inicial com o nome das variáveis e do que representam, garantindo assim uma melhor leitura e compreensão dos resultados obtidos.

Base																Partilhar		Comentários															
Ficheiro		Inserir		Desenhar		Esquema da Página		Fórmulas		Dados		Rever		Ver		Ajuda																	
Calibri		11		A						Moldar Texto		Geral																					
N		I		S																													
N		I		S																													
Unir e Centrar																																	
\$		%		00		100		%																									
Formatação Condicional		Formatar como Estilos de Célula		Inserir		Eliminar		Formatar																									
Ordenar e Localizar e Filtrar		Selecionar																															
Confidencialidade																																	
Confidencialidade																																	
Área de Transformação																Edição		Confidencialidade															
Type		C		D		E		G		H		I		J		K		L		M		N		O		P		Q		R		S	
Unconnected		Height		Length		Area		N de 2m		Altura Residual		comp=0.73m		comp=1.07m		comp=1.57m		comp=2.07m		comp=2.57m		comp=3.07m		AreaScaff		Cost							
2	5,8	364756	3,47	15,33221295	50,902947	2	0,97	0,73	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	76,2895	663,7187									
3	5,8	365959	3,47	8,233350808	27,3472468	2	0,97	1,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	43,2887	376,6117									
4	5,8	366212	3,47	3,35	11,1122	2	0,97	1,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	18,886	164,3082										
5	5,8	366630	3,47	2,259999926	7,503199755	2	1,37	2,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	13,8009	120,0678										
6	5,8	367544	3,47	2,561673468	8,517355097	2	0,97	2,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	12,7729	111,1242										
7	5,8	368026	3,47	3,009012077	9,989200097	2	0,97	3,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	15	25,79	132,7437										
8	5,8	368392	3,47	10,10787422	32,89414241	2	0,97	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	51,0916	444,4969											
9	5,8	371721	3,95	2,4	8,45	2	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	14,0065	121,8566										
10	5,8	372727	3,95	2,4	7,15	2	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	14,0065	121,8566										
11	5,8	373548	3,95	2,4	7,15	2	1,45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	14,0065	121,8566										
12	5,8	374724	3,47	2,06	6,8392	2	0,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10,2879	89,50473										
13	5,5	403777	31,71	1,86	58,9806	16	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	68,7447	598,0789										
14	5,5	403779	31,71	2,034999926	64,52984766	16	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	68,7447	598,0789										
15	5,5	403783	31,71	1,86	58,9806	16	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	68,7447	598,0789										
16	5,5	403785	31,71	2,030765457	64,39557265	16	1,21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	68,7447	598,0789										
17	5,8	422814	2,65	2,495946045	5,974728243	2	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10,6655	92,78985										
18	5,8	424368	3	12,21221295	32,89236432	2	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	55,26	480,762											
19	5,8	424567	2,65	4,221284284	10,65640335	2	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	19	25,6	157,5272										
20	5,8	465242	3,47	10,01645039	35,10408285	2	0,97	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	51,0916	444,4969											
21	5,8	465689	2,4	2,4	7,923	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10,28	89,436											
22	5,8	466364	4,8	2,4	12,48	3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16,191	140,8617											
23	5,8	470312	4,8	2,2	9,6	3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16,191	140,8617											
24	5,8	470402	4,8	2,2	9,6	3	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16,191	140,8617											
25	5,8	471140	3,74	5,112594927	18,87810503	2	1,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26,9336	234,3223											
26	5,8	471310	3,74	4,703855462	17,34941943	2	1,24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	26,9336	234,3223											
27	5,5	559131	10,95	3,095	33,89025	6	0,45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	47,31	411,597											
28	5,4	563245	3,72	18,45839689	68,66523643	2	1,22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	99,963	869,6781											
29	5,8	662881	2,65	2,495946045	5,088252306	2	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10,6655	92,78985										
30	5,8	662985	2,65	2,495946045	5,088252306	2	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10,6655	92,78985										
31	5,8	663070	2,65	2,495946045	5,088252306	2	0,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	10,6655	92,78985										
Allosos		Bonfim		Palmares																													

Figura 4.9 - Folha Excel dos resultados

4.3.3.FASE 2: CRIAÇÃO FICHEIRO CSV PARA NAVISWORKS

A segunda fase do código, que faz a ligação entre o modelo e o software BIM 4D, tem como princípio a atribuição de um parâmetro criado previamente no modelo, prosseguindo para a criação do planeamento das tarefas em formato CSV e posterior importação para o respetivo software.

De forma a contribuir para uma melhor compreensão do processo, é apresentado na Figura 4.10 uma descrição sucinta do trabalho a realizar:

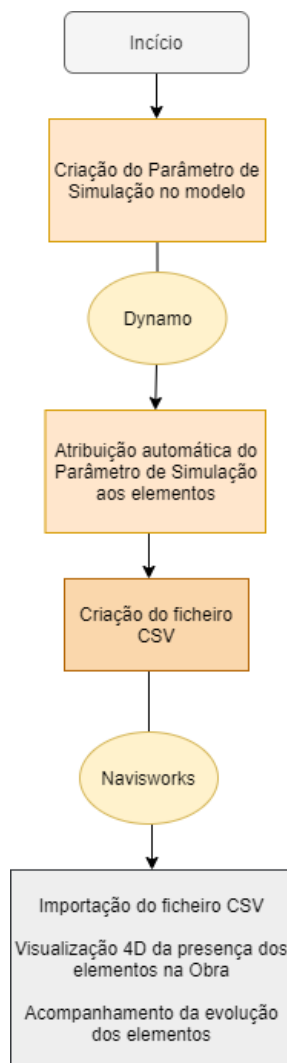


Figura 4.10 – Fluxograma: Fase 2

4.3.3.1. Criação e Atribuição do Parâmetro de Simulação

A ligação do modelo ao Navisworks pode ser realizada de duas formas: manual e método avançado. A abordagem manual requer a seleção dos elementos do modelo um a um e a atribuição a esses elementos de um *set*, que é posteriormente ligado ao respetivo planeamento. Esta abordagem, embora simples, pode ser bastante demorada, tornando-se assim mais vantajosa a segunda abordagem.

O método avançado pode ser implementado no Dynamo, sendo necessária a criação de dois segmentos: um parâmetro de simulação que estabelece uma atribuição automática das tarefas aos respetivos elementos do modelo e um planeamento temporal em formato CSV destinado à importação no Navisworks como *TimeLiner*.

O parâmetro de simulação pode ser criado diretamente no modelo Revit, como foi referido em 4.2.1, sendo este um *Project Parameter*. A atribuição deste parâmetro aos elementos em análise pode ser feita utilizando o node da Figura 4.11, *Element.SetParameterByName*, que atribui um determinado valor ao parâmetro em questão.

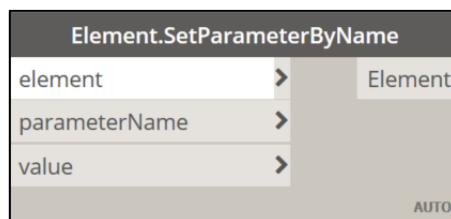


Figura 4.11 - Node Dynamo de atribuir valor a elementos

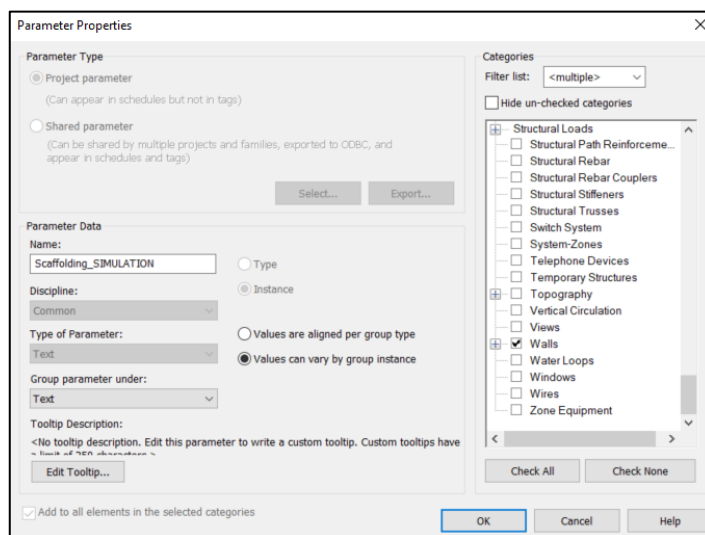


Figura 4.12 - Project Parameter Properties

O resultado deste processo de atribuição do parâmetro pode ser verificado e validado no parâmetro de simulação, presente na tabela de propriedades da Figura 4.12 de cada elemento em estudo, que foi previamente criado e onde deverá ter automaticamente preenchida a informação escolhida no código do Dynamo.

4.3.3.2.Criação CSV

A estrutura de um ficheiro com formato CSV é do tipo: *ID, TypeTask, Start, Finnish*. O valor *ID* representa o nome dado à tarefa e poderá ser extraído dos dados dos elementos do modelo recorrendo ao node *Element.GetParameterValueByName*. O *TypeTask* é traduzido no tipo de tarefa, sendo que poderá ser, no contexto do software Navisworks, três tipos: construção, permanência e demolição. Seguidamente, os valores de *Start* e *Finnish* representam a data correspondente ao começo da tarefa e o fim da mesma.

A criação do ficheiro CSV em Dynamo consiste em dois segmentos, o primeiro diz respeito à criação de um TimeLiner, ou seja, criação das datas de início e fim da tarefa, e o segundo consiste na estruturação de todos os dados adequadamente.

As linhas temporais de cada elemento podem ser obtidas através da ligação de um conjunto de nodes, nodes estes referenciados na Figura 4.13. O node *TimeDurationProgression* permite atribuir uma duração a cada elemento do planeamento. As datas de início são obtidas pelo node *DateTime.AddTimeSpan* que, combinado com o node *DateTime.ByDate*, define uma data de referência

de começo. Simultaneamente, estes nodes, em conjunto com o *TimeSpan.Create*, permitem acrescentar, em relação à data de referência, a ordem de início de cada elemento.

As datas de fim são dadas através do output *DurationValues* do node *TimeDurationProgression* em conjunto com as datas de início.

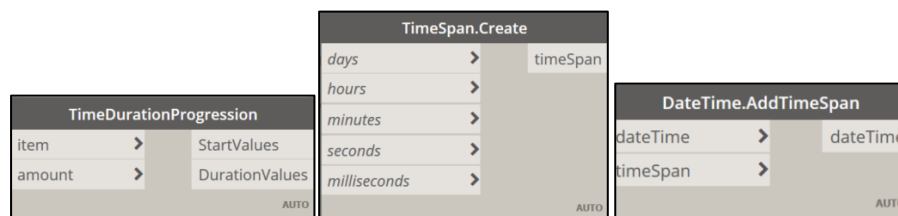


Figura 4.13 - Nodes Dynamo para criação de linhas temporais

A estruturação deste ficheiro consiste na atribuição dos quatro dados a cada elemento em estudo. Para isso, a cada elemento é necessário associar um *TypeTask* que, através do node *List.OfRepeatedItem*, atribui uma classificação a todos os elementos. A informação temporal é conseguida através da introdução do node *FlattentoNavisworkstime* e *List.Flatten* no fim da sequência de código descrita em cima.

A utilização de andaimes distribui-se por três fases, sendo estas, montagem, permanência e desmontagem, sendo essencial contemplar todas estas, aquando da análise da simulação tridimensional e temporal do software. Para isso, foi elaborado em Dynamo três conjuntos de dados, correspondentes a cada uma das três fases, diferindo o conteúdo do *TaskType* e as respetivas datas de começo e fim. O resultado deste processo pode ser analisado na Figura 4.14.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Element S_1	Construct	20/05/2021 12:00 AM	25/05/2021 12:00 AM	Demolish	12/06/2022 12:00 AM	17/06/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
2	Element S_2	Construct	30/05/2021 12:00 AM	18/06/2021 12:00 AM	Demolish	23/05/2022 12:00 AM	10/06/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
3	Element S_3	Construct	14/06/2021 12:00 AM	19/06/2021 12:00 AM	Demolish	28/05/2022 12:00 AM	02/06/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
4	Element S_4	Construct	19/06/2021 12:00 AM	08/07/2021 12:00 AM	Demolish	13/05/2022 12:00 AM	25/05/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
5	Element S_5	Construct	04/07/2021 12:00 AM	09/07/2021 12:00 AM	Demolish	23/05/2022 12:00 AM	25/05/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
6	Element S_6	Construct	09/07/2021 12:00 AM	28/07/2021 12:00 AM	Demolish	08/05/2022 12:00 AM	23/05/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
7	Element S_8	Construct	29/07/2021 12:00 AM	06/08/2021 12:00 AM	Demolish	03/05/2022 12:00 AM	06/05/2022 12:00 AM	Temporary	06/08/2021 12:00 AM	03/05/2022 12:00 AM									
8																			
9																			
10																			

Figura 4.14 – Ficheiro CSV exemplo com formato para importação no Navisworks

4.3.3.3.Importação para Navisworks

Para ligação do modelo com o software Navisworks foi necessário, em primeira instância, importar o modelo Revit e o ficheiro CSV, descrito em 4.3.3.2, para o software Navisworks.

Concluída a importação, procedeu-se à atribuição do conteúdo do ficheiro aos campos presentes na Figura 4.15. Esta atribuição é bastante intuitiva, uma vez que os nomes dos campos a preencher são coincidentes com os dados do ficheiro CSV. O Task Name corresponde ao ID ou ao nome da tarefa, o Task Type corresponde ao tipo de tarefa (construção, temporário ou demolição) e por fim, a data de início e fim correspondem, respetivamente, aos campos *Actual Start Date* e *Actual End Date*.

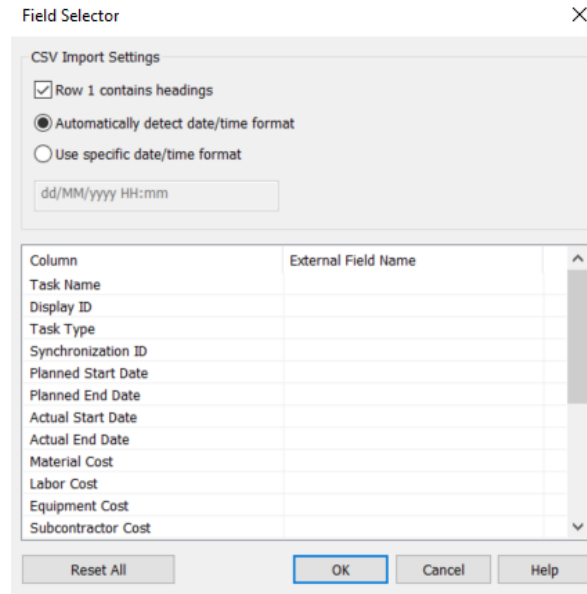


Figura 4.15 - Preenchimento dos campos de importação

Posteriormente, é ainda necessário ligar as tarefas aos respectivos elementos. Este processo pode ser realizado manualmente, o que o torna moroso, ou de forma mais automatizada através do comando *Auto-Attach Using Rules*, ilustrado na Figura 4.16. Este comando permite criar novas regras de ligação, sendo que, apenas é necessário modificar o nome do parâmetro presente no *Rule Description*, representado na Figura 4.17.

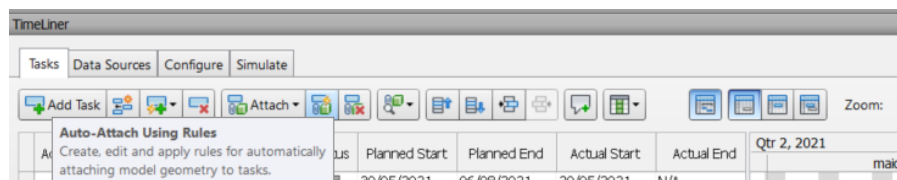


Figura 4.16 - Comando de ligação automática entre tarefas e elementos

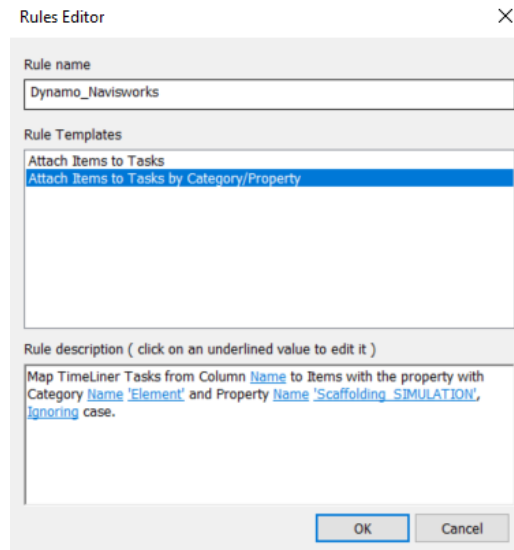


Figura 4.17 - *Rule Editor* configurado para permitir uma ligação automática de elementos às tarefas

Findo este processo, deverá ter automaticamente preenchido a coluna *Attached*, da ferramenta TimeLiner, com o conteúdo *Explicit Selection*, como se pode constatar na Figura 4.18.

Task Type	Attached	Total Cost	Qtr 2, 2021
Construct	Explicit Selection		
Construct	Explicit Selection		
Construct	Explicit Selection		
Construct	Explicit Selection		
Construct	Explicit Selection		
Demolish	Explicit Selection		

Figura 4.18 – Preenchimento automático do campo *Attached*

5

APLICAÇÃO DO ALGORITMO PARA GESTÃO E OTIMIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ANDAIME

5.1. GRUPO ACA

A empresa ACA foi fundada em 1982 e em 1999 passou a ser uma sociedade anónima com a designação Alberto Couto Alves, S.A., tal como hoje é conhecida. O grupo encontra-se presente em três continentes com uma forte representação em Angola, Marrocos, Brasil, França, Argélia, S. Tomé e Príncipe e, mais recentemente, República dos Camarões.

O grupo é composto por várias empresas de diversas especialidades, fazendo um total de 20 empresas. Na área de engenharia e construção estão presentes todas as empresas nos diversos países onde a ACA opera, bem como a CAGEO, vocacionada para trabalhos de geotecnia e fundações especiais, a GlobamStadium, especializada na construção de infraestruturas desportivas e de lazer, e a Ângulorecto que se focaliza em projetos de menor dimensão em todo o território nacional.

Na área das energias e sustentabilidade, destacam-se outras empresas, nomeadamente a Ambiágua que foi criada em 2003, mas só integrou o grupo em 2009 e tem como enfoque serviços relacionados com estudos, projetos e execução de infraestruturas hidráulicas de abastecimento e saneamento em Portugal. Em 2010 foi criada uma empresa em Angola com as mesmas valências que a Ambiágua, dando resposta a processos de captação, tratamento e distribuição de água potável, bem como o tratamento de águas residuais.

A Resifluxo foi uma empresa que surgiu para dar resposta à desvalorização dos resíduos gerados. Esta empresa efetua recolhas, triagem e tratamento de vários resíduos, nomeadamente de construção e demolição, resíduos perigosos e industriais banais.

A IELAC é uma empresa direcionada para a prestação de serviços nas áreas de instalações elétricas e AVAC para todo o tipo de edificios e em Infraestruturas Públicas de Distribuição de Energia. Por fim, a ACAWIND, criada em 2015, está orientada para as energias renováveis.

Recentemente, dentro da empresa fundadora, foi criado um departamento com enfoque na inovação e aposta em metodologias e tecnologias inovadoras na empresa e na área da construção. Este departamento tem como missão o estudo e a validação de metodologias inovadoras na empresa.

5.2.ALIADOS PLAZA HOTEL

5.2.1.DESCRICÃO DO EMPREENDIMENTO

A presente obra é referente à construção de um edifício hoteleiro, implantado numa zona do centro histórico do Porto, constituído por dois edifícios já existentes, separados por um pequeno pátio interior, como se pode verificar na Figura 5.1. O projeto define um edifício de duas frentes, delimitado por dois arruamentos, sendo estes, Avenida dos Aliados e Rua Rodrigues Sampaio, ilustradas na Figura 5.2.



Figura 5.1 - Delimitação do lote obra Aliados Plaza Hotel



Figura 5.2 - Fachadas principais da obra Aliados Plaza Hotel

O Aliados Plaza Hotel é composto por 9 pisos na sua totalidade dos quais dois pisos serão enterrados e com uma zona técnica, como o presente na Figura 5.3, destinados à construção de estacionamento, ginásio, SPA e sala de conferências. Os restantes pisos estão destinados à construção dos quartos, num total de 97, à exceção do piso 0 que está destinado para a receção do hotel, bar, sala de refeições e cozinha.

A implantação deste hotel encontra-se numa zona protegida culturalmente, havendo assim uma obrigatoriedade de preservar a fachada, garantindo a sua autenticidade e sem interferir com o património que simboliza.

A geometria deste hotel, ilustrada na Figura 5.4, deste hotel é irregular, visto não haver uma parilidade entre as ruas cujo hotel faz frente, estando previsto que a disposição deste hotel contemple a inclusão de um pátio interior na zona central do hotel, em formato de “U”. A fachada interna deste espaço livre, tem previsto a implementação de varandas, orientadas para o interior do hotel.



Figura 5.3 - Corte Longitudinal do Edifício, obra Aliados Plaza Hotel



Figura 5.4 - Planta Piso 0, obra Aliados Plaza Hotel

5.2.2.DESENVOLVIMENTO DA OBRA

O macroplaneamento previsto para a obra, apresenta uma duração de 22 meses para a construção do hotel, conforme se pode verificar nana Figura 5.5. Desta forma, é possível ter uma breve percepção de como será o desenvolvimento da mesma. O plano mais detalhado da obra e das tarefas da mesma encontra-se presente nos anexos.

MACRO PLANEAMENTO DA OBRA																						
ATIVIDADE	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22
CONTENÇÃO FACHADA																						
DEMOLIÇÃO																						
CONTENÇÃO PERIFÉRICA																						
LAJE DE ENSOLEIRAMENTO																						
ESTRUTURA BETÃO ARMADO																						
ACABAMENTOS DO EDIFÍCIO																						

Figura 5.5 - Macro Planeamento da Obra Aliados Plaza Hotel

Este edifício encontrava-se, desde há alguns anos, abandonado, pelo que o estado de conservação dos materiais e da própria estrutura não era o melhor, tal como as condições de segurança, o que obrigou à demolição total do miolo deste, como se pode verificar na Figura 5.6 e Figura 5.7.



Figura 5.6 - Interior do edifício, pormenor escadas, obra Aliados Plaza Hotel



Figura 5.7 - Interior do edifício, pormenor teto, obra Aliados Plaza Hotel

Desta forma, numa fase inicial foi necessário proceder à contenção da fachada e dos edifícios adjacentes, como se pode visualizar na Figura 5.8, uma vez que, com a demolição de todo o seu interior, o equilíbrio do conjunto foi sujeito a interferências, podendo causar instabilidade e colocando em risco a vida dos trabalhadores e das pessoas circundantes à obra. Assim, para que toda a estrutura se mantenha estável prossegue-se à execução de contenções temporárias, através de perfis metálicos, que serão posteriormente retirados assim que for garantida a estabilidade estrutural do novo edifício.



Figura 5.8 – Fase de demolição e contenção das fachadas, obra Aliados Plaza Hotel

A demolição nas zonas das fachadas principais foi efetuada até meio do edifício de forma a permitir o trabalho simultâneo entre demolição e instalação das contenções em ambas as faces. Esta estratégia permitiu um desenvolvimento mais rápido dos trabalhos, já que o trabalho de demolições não ficou dependente da conclusão dos trabalhos de montagem das contenções. As zonas próximas da fachada foram demolidas numa fase posterior, aquando do alcance da estabilidade e segurança da estrutura.

Devido à realização de trabalhos de demolição nos pisos enterrados foi também necessário assegurar a contenção do terreno através de uma solução construtiva de muro de Berlim. Findo esta contenção, inicia-se a construção da laje de ensoleiramento que é precedida pela execução dos elementos estruturais, em betão armado, do edifício.

Os trabalhos de acabamento do edifício ocorrem em duas frentes. Numa primeira instância, os acabamentos internos relativos à execução de divisórias e respetivos isolamento dos pisos destinados a quartos, ou seja, do piso 1 ao 7, arrancam após conclusão dos trabalhos e reforços estruturais dos pisos iniciais, e avançam assim que os pisos superiores estiverem finalizados e limpos.

Relativamente aos acabamentos exteriores, estes iniciam-se após a conclusão dos elementos estruturais até à cobertura e após a colocação de isolamentos na fachada. Os acabamentos externos deste hotel são de 2 tipos, destinados a zonas diferentes, em que, um deles é um acabamento tradicional de ETICS e o segundo será a colocação mecânica de painéis pré-fabricados em GRC.

A montagem dos andaimes iniciou-se após conclusão da montagem de cofragens da laje do 1º piso de forma a permitir uma área mínima disponível para o suporte dos andaimes. A restante montagem acompanha o desenvolvimento em altura do edifício, havendo sempre um acompanhamento contínuo da colocação do andaime no nível seguinte com o acabamento da laje desse mesmo nível. A montagem foi, numa primeira fase, apenas na fachada interna do edifício e deu-se a duas cotas, uma no piso térreo e outra nas consolas destinadas às varandas deste hotel.

A permanência dos andaimes ocorre até à colocação de trabalhos de isolamento, térmico e acústico, uma vez que, os acabamentos serão placas a ser colocadas mecanicamente e por motivos de logística de operação os andaimes não são mais necessários.

Após a finalização dos elementos estruturais, a contenção da fachada interior é retirada e é aplicado um reforço da face interna para que depois se possa retirar a contenção exterior. Quando as contenções

forem retiradas, será necessário montar a estrutura de andaimes por toda a fachada para trabalhos de limpeza e restauração.

Para economizar deslocamentos e recursos, pretende-se que a desmontagem dos andaimes na fachada interior corresponda com a montagem dos andaimes nas fachadas externas, desta forma otimiza-se o processo.

5.2.3.DESCRICÃO DO MODELO REVIT

A modelação inicial desta obra foi previamente elaborada pela empresa a pedido do dono de obra, tendo sido apenas de interesse deste, a modelação estrutural. Este modelo, tal como o ilustrado na Figura 5.9, encontra-se apenas com os elementos estruturais, fundações, vigas, lajes e pilares, outros elementos de betão armado como paredes, caixas de escadas e caixas de elevadores.

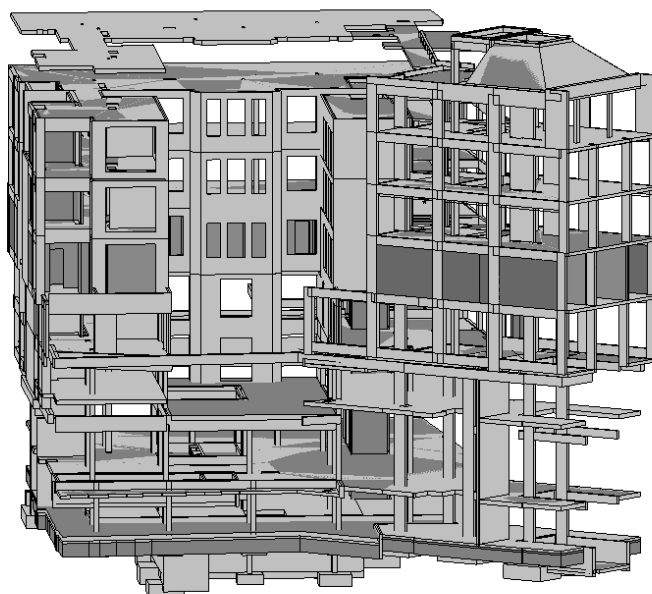


Figura 5.9 - Modelo inicial Revit, obra Aliados Plaza Hotel

O modelo fornecido pela empresa, embora com algum nível de detalhe, não satisfaz o requisito principal para aplicação deste código, requisito este descrito em 4.2.1, que é este ser composto por elementos de categoria *Walls* com as dimensões supostas, tendo sido necessário preparar previamente o modelo através da criação e alteração dos elementos constituintes do mesmo. Foram então criados elementos de “paredes” com representação simbólica de uma estrutura de andaimes, elementos estes que foram contabilizados como um elemento único, podendo corresponder a uma única fachada ou caixa de escada ou parede de betão.

Ressalva-se que, o nível de detalhe dos modelos é um fator de pouco relevância para a implementação correta do código proposto, sendo que o essencial é a existência de elementos que representem a estrutura de andaime a instalar e a correta parametrização desses elementos de forma a estarem devidamente identificados.

A Figura 5.10 retrata o modelo após as alterações e modificações realizadas. Os elementos a branco representam as áreas de interesse.

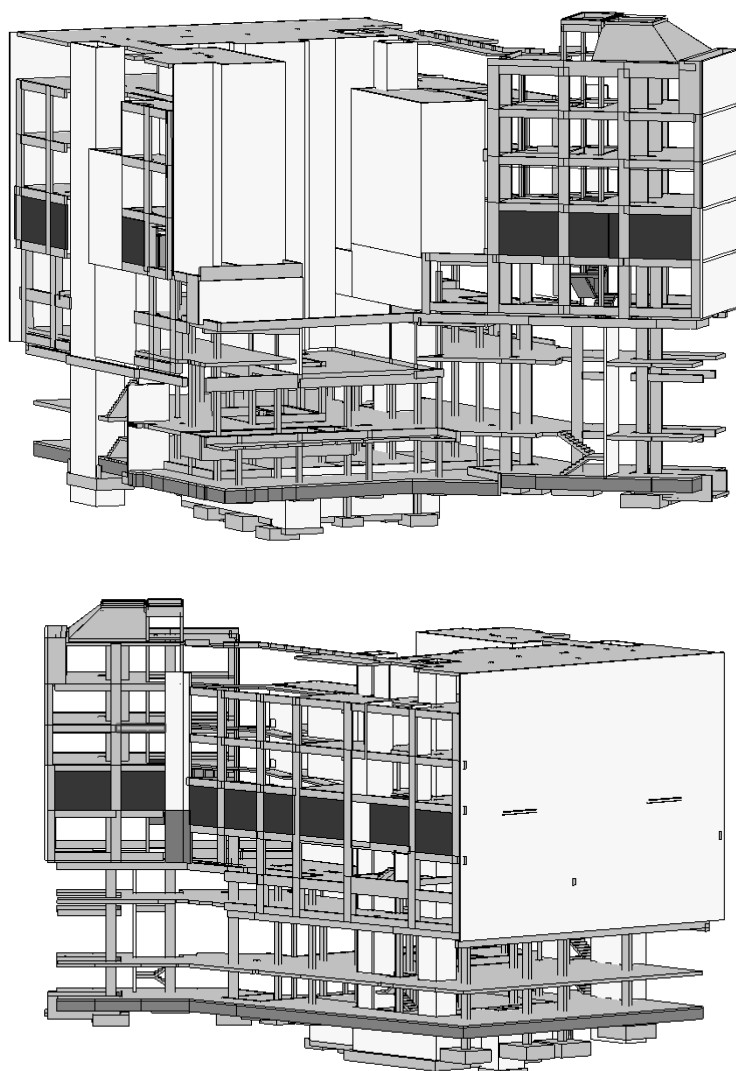


Figura 5.10 - Modelo pós preparação para aplicação do código, obra Aliados Plaza Hotel

É de referir que a estética do modelo não foi privilegiada uma vez que, a nível de dados quantitativos e resultados finais, essa melhoria tem um impacto pouco significativo. Os elementos a branco correspondem às áreas a intervir que, simultaneamente, correspondem aos locais destinados à montagem de andaime.

5.2.4.CÓDIGO DYNAMO

Os elementos em interesse foram previamente preenchidos, no parâmetro descrito em 4.2.1, de forma a diferenciar os elementos em estudo dos restantes elementos no modelo. A tipologia adotada para os andaimes é, como já evidenciado, de fachada, sendo possível a inclusão de andaimes do tipo multidirecional, através da introdução de um outro dado nesse *input*. O conteúdo do preenchimento fica ao critério do utilizador, sendo apenas necessário efetuar as devidas alterações nos restantes inputs do código

O código, representado na Figura 5.11, representa o processo de filtragem dos elementos, tendo-se aplicado ao número de elementos envolvidos, num total de 422, traduzindo-se no número de elementos com categoria *Walls* existentes no modelo. Para além disso, também se filtrou, através da comparação entre os elementos e o conjunto vazio, os elementos com conteúdo no parâmetro de identificação.

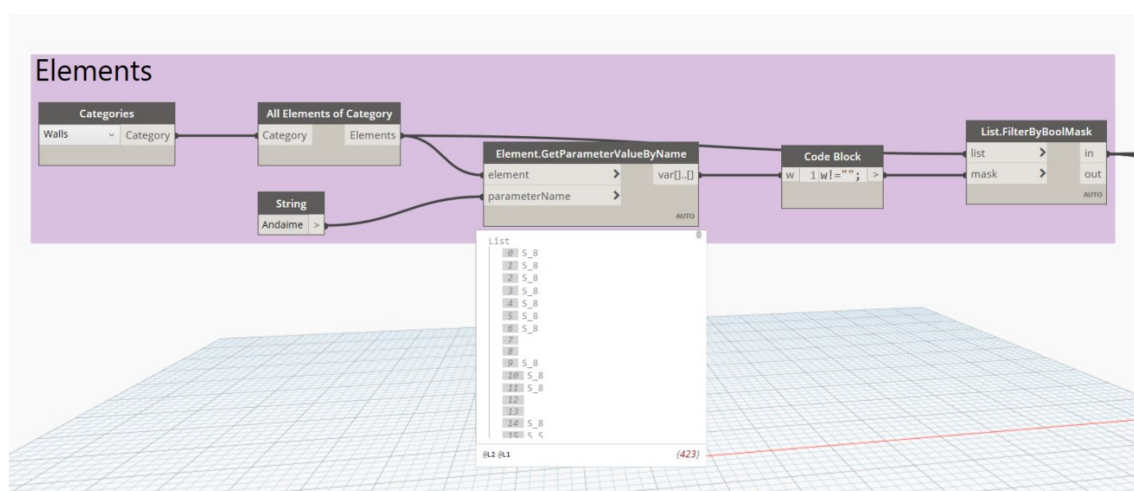


Figura 5.11 - Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra Aliados Plaza Hotel

A codificação em Python, presente na Figura 5.12, envolveu a introdução dos inputs presentes na figura, que correspondem aos valores das várias alturas consideradas e também à simbologia atribuída aos dois tipos de andaime contabilizados. O resultado deste script apresenta um conjunto de listas com dois elementos cada, sendo que o primeiro corresponde ao número de andaimes com 2m de altura e o segundo à altura do último nível da estrutura de andaime.

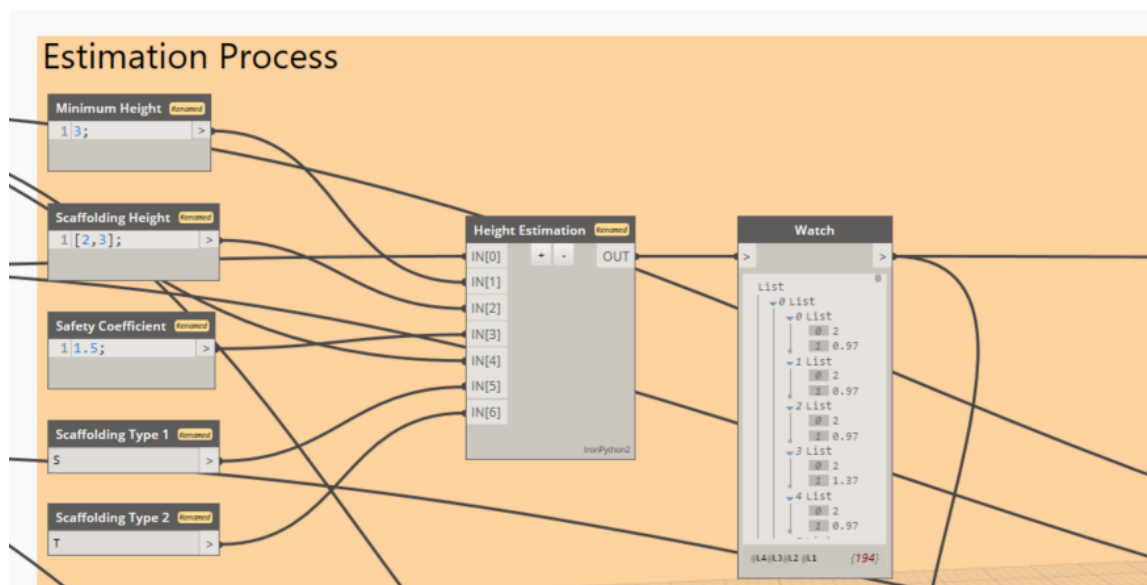


Figura 5.12 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em altura, obra Aliados Plaza Hotel

No processo de quantificação do número de andaimes por comprimento, foram assumidos como dados de entrada os 6 valores de comprimentos possíveis para as plataformas, tendo-se obtido um conjunto de listas que contém o número de andaimes de cada valor de plataforma necessários.

Por sua vez, a estimação dos custos envolveu a adoção de diversos inputs, como se pode verificar na Figura 5.13, valores estes que correspondem aos dados utilizados na fórmula de cálculo da estimação dos custos em fase comercial nomeadamente, custo diário de aluguer, custo unitário de montagem e desmontagem e número de dias de permanência do andaime em obra.

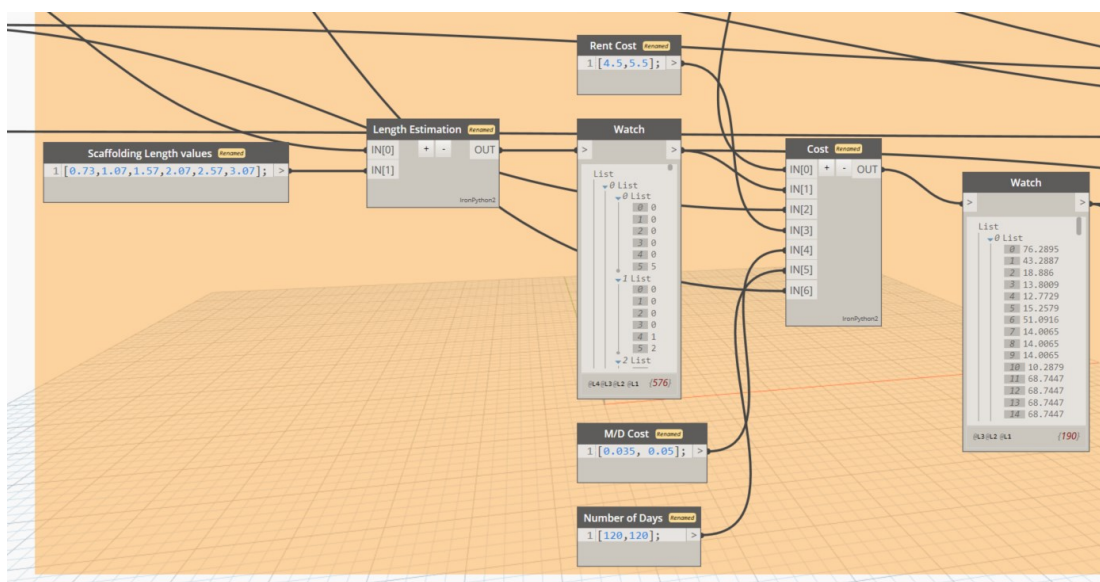


Figura 5.13 -Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra Aliados Plaza Hotel

Os resultados foram posteriormente extraídos para uma folha Excel, semelhante à presente na Figura 5.14, onde são apresentados os diversos cálculos efetuados de quantificação do número de andaimes, bem como as respetivas áreas e custos. O respetivo ficheiro Excel completo pode ser consultado nos anexos.

Type	ID	Height	Length	Area	N	Altura Residual	Comprimento de 0.73m	Comprimento de 1.07m	Comprimento de 1.57m	Comprimento de 2.07m	Comprimento de 2.57m	Comprimento de 3.07m	Area Andaime	Cost
S.8	364756	3.47	15.332213	50.902947	2	0.97	0	0	0	0	0	5	76.2895	302.35 €
S.8	365959	3.47	8.23335081	27.33472468	2	0.97	0	0	0	0	1	2	43.2887	173.11 €
S.8	366212	3.47	3.35	11.122	2	0.97	1	0	0	0	0	1	18.886	75.82 €
S.8	366630	3.87	2.25999993	7.503199755	2	1.37	0	0	0	0	1	0	13.8009	55.56 €
S.8	367544	3.47	2.56167347	8.517355097	2	0.97	0	0	0	0	1	0	12.7729	51.56 €
S.8	368026	3.47	3.00901208	9.989920997	2	0.97	0	0	0	0	0	1	15.2579	61.79 €
S.8	368392	3.47	10.1078742	32.89414241	2	0.97	0	1	0	0	0	3	51.0916	209.05 €
S.8	371721	3.95	2.4	8.45	2	1.45	0	0	0	0	1	0	14.0065	57.47 €
S.8	372727	3.95	2.4	7.15	2	1.45	0	0	0	0	1	0	14.0065	57.64 €
S.8	373548	3.95	2.4	7.15	2	1.45	0	0	0	0	1	0	14.0065	57.80 €
S.8	374724	3.47	2.06	6.8392	2	0.97	0	0	0	1	0	0	10.2879	42.54 €
S.5	403777	31.71	1.86	58.9806	16	1.21	0	0	0	1	0	0	68.7447	288.18 €
S.5	403779	31.71	2.03499993	64.52984766	16	1.21	0	0	0	1	0	0	68.7447	292.09 €
S.5	403783	31.71	1.86	58.9806	16	1.21	0	0	0	1	0	0	68.7447	296.01 €
S.5	403785	31.71	2.03076546	64.39557265	16	1.21	0	0	0	1	0	0	68.7447	299.93 €
S.8	422814	2.65	2.49594605	5.974728243	2	0.15	0	0	0	0	1	0	10.6655	46.63 €
S.8	424368	3	12.212213	32.89236432	2	0.5	0	0	0	0	0	4	55.26	244.11 €
S.8	424567	2.65	4.22128428	10.65640335	2	0.15	0	0	1	0	0	1	19.256	85.37 €
S.8	465242	3.47	10.0164504	35.10408265	2	0.97	0	1	0	0	0	3	51.0916	228.68 €
S.8	465689	2.4	2.4	7.923	1	2	0	0	0	0	1	0	10.28	46.10 €
S.8	466364	4.8	2.4	12.48	3	0.3	0	0	0	0	1	0	16.191	72.82 €
S.8	470312	4.8	2.2	9.6	3	0.3	0	0	0	0	1	0	16.191	73.04 €
S.8	470402	4.8	2.2	9.6	3	0.3	0	0	0	0	1	0	16.191	73.26 €
S.8	471140	3.74	5.11259493	18.87810593	2	1.24	0	0	0	1	0	1	26.9336	122.46 €
S.8	471310	3.74	4.70385546	17.34941943	2	1.24	0	0	0	1	0	1	26.9336	123.07 €
S.5	559131	10.95	3.095	33.89025	6	0.45	1	0	0	0	0	1	47.31	218.02 €
S.4	563245	3.72	18.4583969	68.66523643	2	1.22	1	0	0	0	0	6	99.963	468.95 €
S.8	662881	2.65	2.49594605	5.988252306	2	0.15	0	0	0	0	1	0	10.6655	50.13 €
S.8	662985	2.65	2.49594605	5.988252306	2	0.15	0	0	0	0	1	0	10.6655	50.22 €

Figura 5.14 - Segmento do ficheiro Excel dos resultados do código proposto, obra Aliados Plaza Hotel

5.2.5. LIGAÇÃO AO NAVISWORKS

O processo de atribuição de um parâmetro de simulação, denominado por *Scaffolding_SIMULATION*, parâmetro este que estabelece a ligação entre modelo e Navisworks descrito em 4.3.3.1, poderá ser verificado e validado na tabela de propriedades de cada elemento, a qual deverá ter preenchida a informação “Elemento_”, seguida do valor atribuído no parâmetro Andaime, como se pode verificar na Figura 5.15.

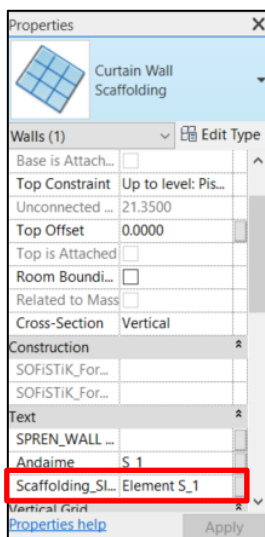


Figura 5.15 - Tabela de Propriedades Revit

Na sequenciação da montagem dos andaimes, assumiu-se que o processo decorre primeiramente no piso mais inferior, seguido sucessivamente para os restantes elementos internos, acompanhados pelas

fachadas internas do edifício e numa fase final, pelas fachadas principais desta obra. A Figura 5.16 ilustra o ambiente de trabalho do Navisworks após importação do modelo e do planeamento respetivo.

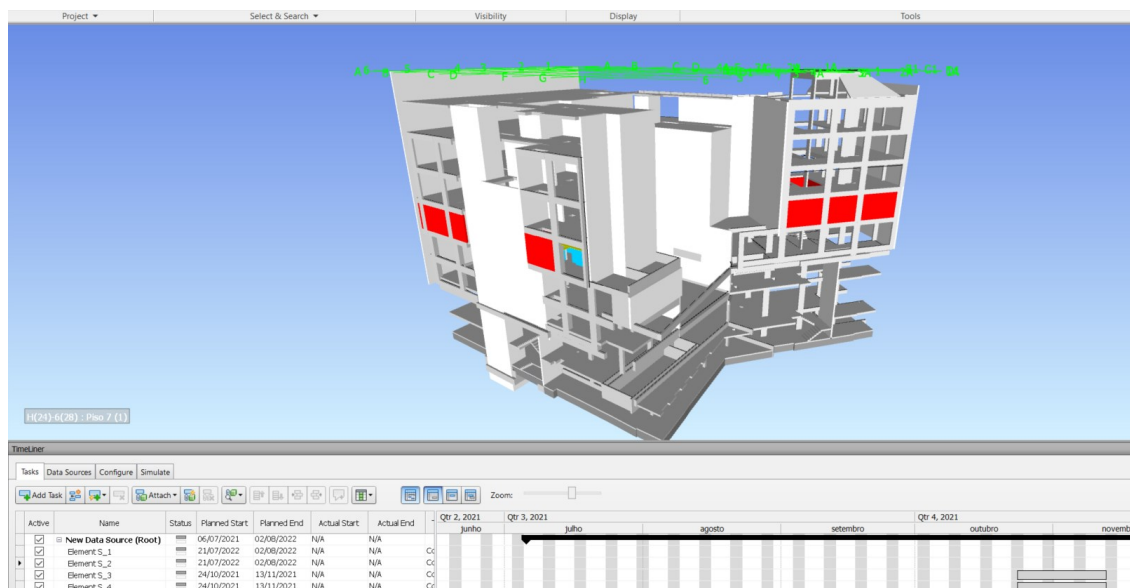


Figura 5.16 - Workspace Navisworks, obra Aliados Plaza Hotel

Na atribuição de durações e intervalos entre elementos foi tido como base o plano de trabalhos das obras e as informações recolhidas ao longo deste estudo. Neste caso, os andaimes, nos pisos enterrados, são montados primeiro e, em seguida é efetuada a montagem dos andaimes que acompanham o desenvolvimento da estrutura desde o início e, por fim, a montagem nas fachadas principais. A duração prevista para a permanência dos andaimes em obra é referente ao presente no plano de trabalhos. O planeamento final, obtido pelo processo ilustrado na Figura 5.17, Figura 5.18 e Figura 5.19, extraído em formato CSV, pode ser observado na Figura 5.20.

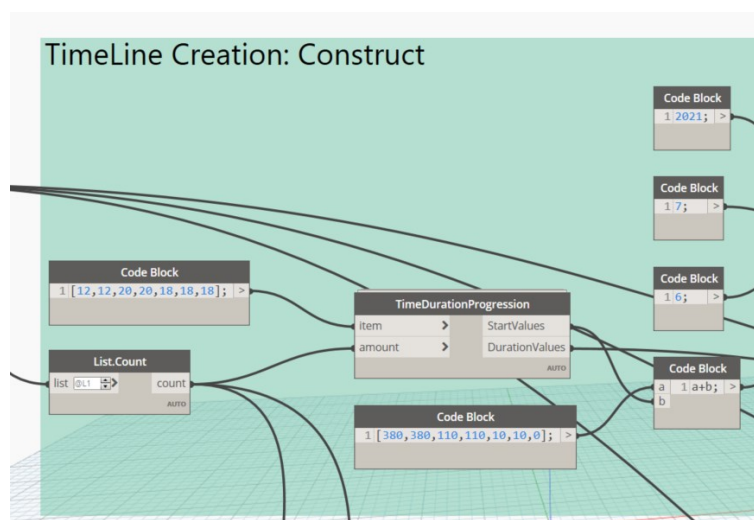


Figura 5.17 - Código Dynamo: Dados TimeLine Construct, obra Aliados Plaza Hotel

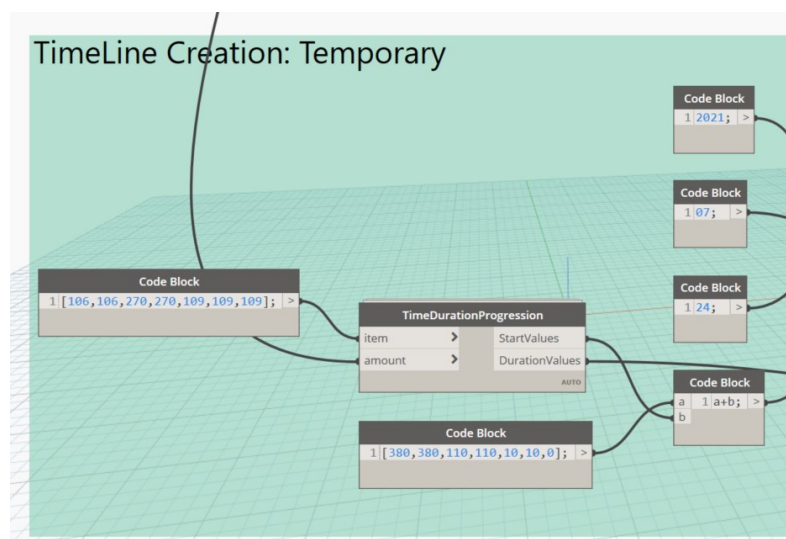


Figura 5.18 - Código Dynamo: Dados TimeLine Temporary, obra Aliados Plaza Hotel

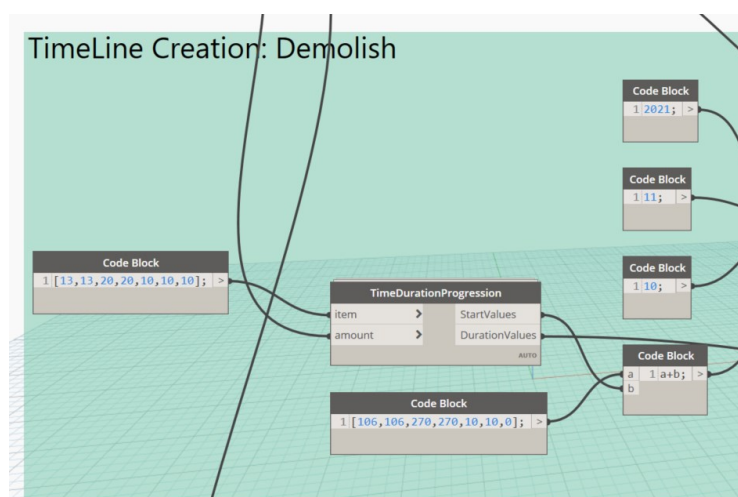


Figura 5.19 - Código Dynamo: Dados TimeLine Demolish, obra Aliados Plaza Hotel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	Element S_1,Construct,21/07/2022 12:00 AM,02/08/2022 12:00 AM,Demolish,24/02/2022 12:00 AM,09/03/2022 12:00 AM,Temporary,08/08/2022 12:00 AM,22/11/2022 12:00 AM																
2	Element S_2,Construct,21/07/2022 12:00 AM,02/08/2022 12:00 AM,Demolish,24/02/2022 12:00 AM,09/03/2022 12:00 AM,Temporary,08/08/2022 12:00 AM,22/11/2022 12:00 AM																
3	Element S_3,Construct,24/10/2021 12:00 AM,13/11/2021 12:00 AM,Demolish,07/08/2022 12:00 AM,27/08/2022 12:00 AM,Temporary,11/11/2021 12:00 AM,08/08/2022 12:00 AM																
4	Element S_4,Construct,24/10/2021 12:00 AM,13/11/2021 12:00 AM,Demolish,07/08/2022 12:00 AM,27/08/2022 12:00 AM,Temporary,11/11/2021 12:00 AM,08/08/2022 12:00 AM																
5	Element S_5,Construct,16/07/2021 12:00 AM,03/08/2021 12:00 AM,Demolish,20/11/2021 12:00 AM,30/11/2021 12:00 AM,Temporary,03/08/2021 12:00 AM,20/11/2021 12:00 AM																
6	Element S_6,Construct,16/07/2021 12:00 AM,03/08/2021 12:00 AM,Demolish,20/11/2021 12:00 AM,30/11/2021 12:00 AM,Temporary,03/08/2021 12:00 AM,20/11/2021 12:00 AM																
7	Element S_8,Construct,06/07/2021 12:00 AM,24/07/2021 12:00 AM,Demolish,10/11/2021 12:00 AM,20/11/2021 12:00 AM,Temporary,24/07/2021 12:00 AM,10/11/2021 12:00 AM																
8																	

Figura 5.20 - Ficheiro CSV final, obra Aliados Plaza Hotel

5.3.ERPI BONFIM

5.3.1.DESCRICÃO DO EMPREENDIMENTO

Este empreendimento diz respeito à construção de um edifício destinado a um Lar de idosos, constituindo a tipologia de obra de Estrutura Residencial para Pessoas Idosas (ERPI), localizado na Rua dos Navegantes e Rua Major David Magno, na freguesia do Bonfim, Porto, cujo licenciamento foi requerido por Orpea Portugal IMMO, SA. O projeto prevê a construção de um único edifício com três frentes, implantado numa zona predominantemente habitacional, munida de comércio e acessos. Este empreendimento faz fronteira com uma escola secundária e com um conjunto de prédios habitacionais.

Uma ERPI é uma resposta social que consiste no alojamento, permanente ou temporário, para idosos e pessoas dependentes, em que são desenvolvidas diversas atividades de apoio social e animação recreativa e cultural, bem como cuidados médicos e de enfermagem.

O projeto da ERPI Bonfim prevê a construção de 6 pisos acima do nível do solo, exemplificados na Figura 5.21e Figura 5.23, com uma área bruta de 7810 m² e uma área de implantação de 1400 m². Todos os pisos deste empreendimento estão destinados à criação dos quartos, num total de 120.

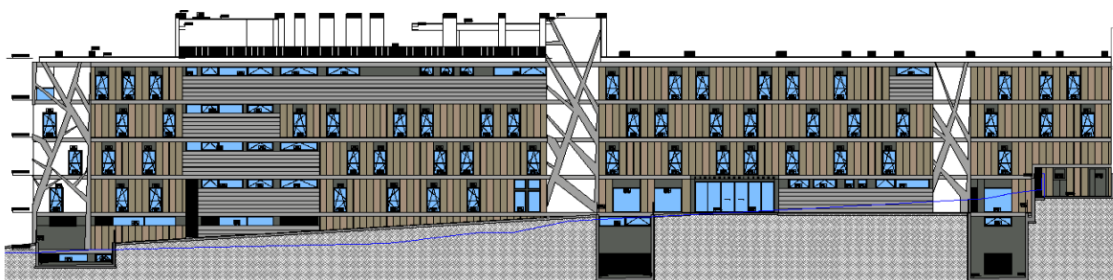


Figura 5.21 -Alçado Rua dos Navegantes, obra ERPI Bonfim

A ERPI Bonfim será servida de zonas de restauração, cozinhas, áreas de lazer, áreas culturais e de estética e uma zona de estacionamento. Por sua vez, prevê-se também zonas ajardinadas, bem como a criação de um pequeno jardim, reservado e diferenciado das restantes zonas, destinado a pessoas e idosos em situações mais gravosas e debilitadas, como se pode analisar na Figura 5.22.



Figura 5.22 - Planta Piso 0, obra ERPI Bonfim

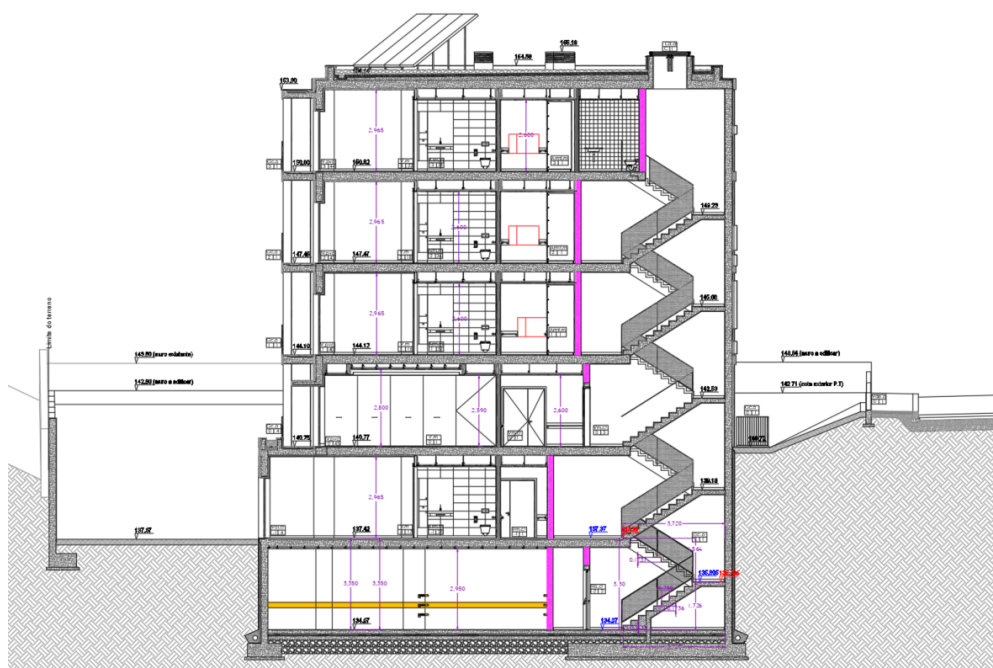


Figura 5.23 - Corte Longitudinal, obra ERPI Bonfim

5.3.2.DESENVOLVIMENTO DA OBRA

Esta obra tem uma duração prevista de 16 meses, representada na Figura 5.24, para a construção dos trabalhos necessários de preparação e execução, bem como de todos os trabalhos de acabamentos e limpezas necessários até à entrega provisória.

[illegible]

Figura 5.24 - Macro Planeamento da Obra, obra ERPI Bonfim

Desta forma, o tempo previsto para conclusão desta obra face ao volume de trabalhos a executar expressa a variável temporal como um fator decisivo na estratégia adotada para o processo construtivo e o respetivo planeamento.

Numa primeira instância, iniciou-se em obra todos os trabalhos de desmatamento e limpeza do terreno, bem como a demolição de muros existentes na periferia da mesma. Devido ao desnível longitudinal existente no terreno, foi necessário realizar trabalhos de escavação e movimentação de terras de acordo com o estipulado em projeto.

Concluídos os trabalhos de preparação da obra, a implantação da obra é efetuada por meio de estacas, solidamente fixadas ao solo, executando-se maciços envoltivos de betão. Segue-se assim os trabalhos de implementação de sapatas isoladas contínuas e vigas de fundação e, após atingirem uma resistência

mínima estipulada no caderno de encargos, procede-se à execução dos elementos estruturais dos restantes pisos.

Os trabalhos relativos à execução de alvenarias no interior do edifício iniciam-se, nos primeiros pisos, após término dos elementos estruturais do piso 1. Estes elementos de alvenaria acompanham o avançando e conclusão dos elementos estruturais dos pisos em questão. Seguem-se depois todos os trabalhos gerais, como instalações, vãos exteriores e revestimentos iniciais, no interior dos pisos.

A inclusão da estrutura de andaimes dá-se quando se inicia a execução dos trabalhos de revestimentos exteriores e procede-se à aplicação de rebocos exteriores, acabamentos em solução ETICS, revestimentos de chapas e acabamentos de terraços e varandas.

De facto, a grande incidência de andaimes neste edifício é referente aos acabamentos finais no exterior do edifício que, como é um trabalho que é diretamente aplicado na superfície, a sua acessibilidade só é garantida através da existência de plataformas de trabalho como os andaimes. Como se trata de uma grande área de intervenção, a montagem dos andaimes poderá ser feita de várias formas.

Neste caso, a montagem irá decorrer em dois momentos correspondem à conclusão de duas frentes simultaneamente, sendo que estando estas concluídas prossegue-se para a conclusão da fachada restante. Esta solução foi seleccionada com o critério de minimização do tempo para conclusão das fachadas que pode ser conseguido pela diminuição do número de montagens/desmontagens em obra. Assim, tendo em vista essa minimização, a solução mais viável será efetuar a montagem dos andaimes a numa maior área de intervenção.

Esta montagem será efetuada a dois níveis, uma vez que existe uma zona em consola destinada a varandas, sendo aproveitado este desnível para iniciar a montagem da estrutura na fachada. No resto do edifício como não terá nenhuma varanda, a colocação dos andaimes terá de ser a partir do nível do solo.

5.3.3.MODELO REVIT

O modelo inicial da obra ERPI Bonfim foi elaborado pela empresa com o intuito de analisar os trabalhos de escavação e geotécnica, sendo apenas constituído, como mostra a Figura 5.25, por uma representação topográfica do terreno um bloco com a representatividade do edifício a construir.

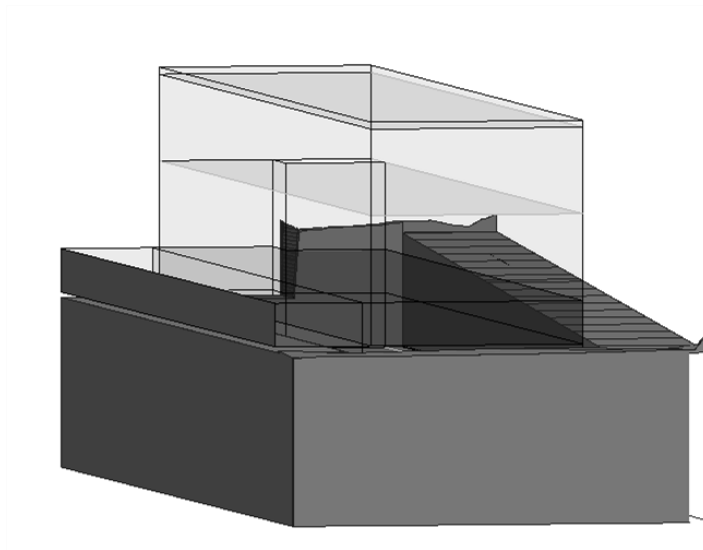


Figura 5.25 - Modelo inicial, obra ERPI Bonfim

A preparação deste modelo consistiu na criação de elementos, que representam as áreas a intervir, de forma a auxiliar o cálculo das quantidades. Foram incluídos no modelo, elementos com categoria de paredes, com valor representativo de uma estrutura de andaimes. Este modelo final, exposto na Figura 5.26, é apenas constituído pela modelação do terreno e das paredes criadas. Realça-se também que no objetivo da preparação do modelo apenas é relevante a existência destes elementos no modelo, para que o código possa ser executado corretamente.

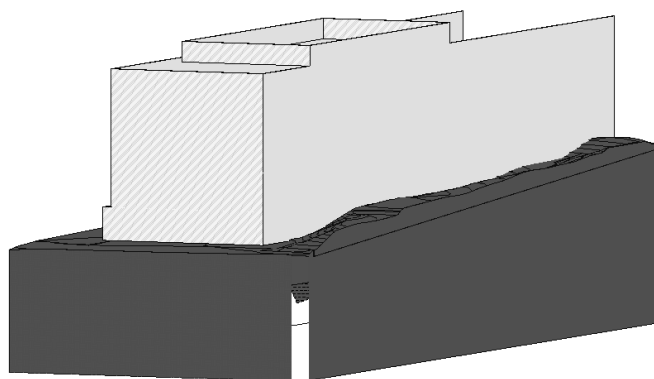


Figura 5.26 - Modelo pós-preparação, obra ERPI Bonfim

5.3.4.CÓDIGO DYNAMO

Os elementos, do mesmo modo que em 5.2.4, foram seleccionados, através do mesmo processo. Neste caso de estudo, como o modelo é apenas composto pelas paredes criadas no processo de preparação do modelo, o processo de filtragem, refletido na Figura 5.27, é irrelevante já que todos os elementos, com

um número total de 10, representam os elementos em análise, não havendo elementos com conteúdo vazio no parâmetro de identificação dos andaimes.

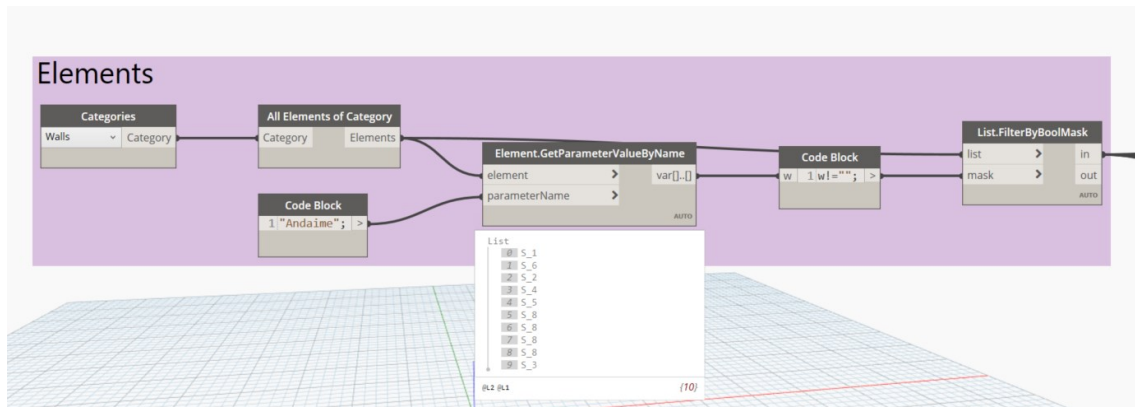


Figura 5.27 - Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra ERPI Bonfim

Seguidamente, no processo de quantificação do número em altura, os valores de entrada foram os mesmos adotados no caso prático, tendo se obtido resultados presentes na Figura 5.28:

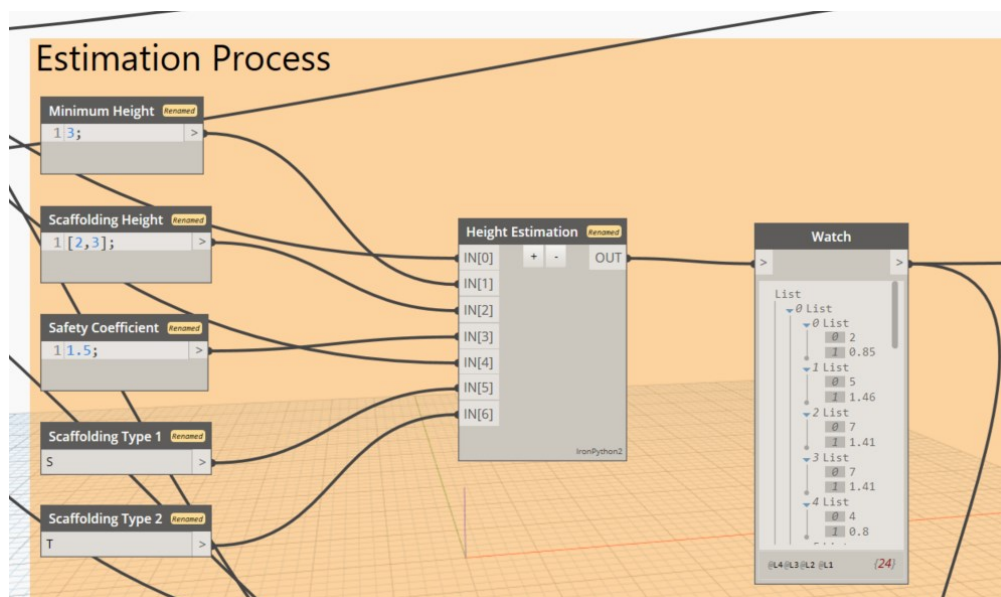


Figura 5.28 - Código Dynamo: Quantificação no número de andaimes em altura, obra ERPI Bonfim

Do mesmo modo, no processo de quantificação por comprimento do elemento, os valores obtidos podem ser verificados na Figura 5.29. Na estimação dos custos os valores adotados foram também os considerados pela empresa nos cálculos em fase comercial.

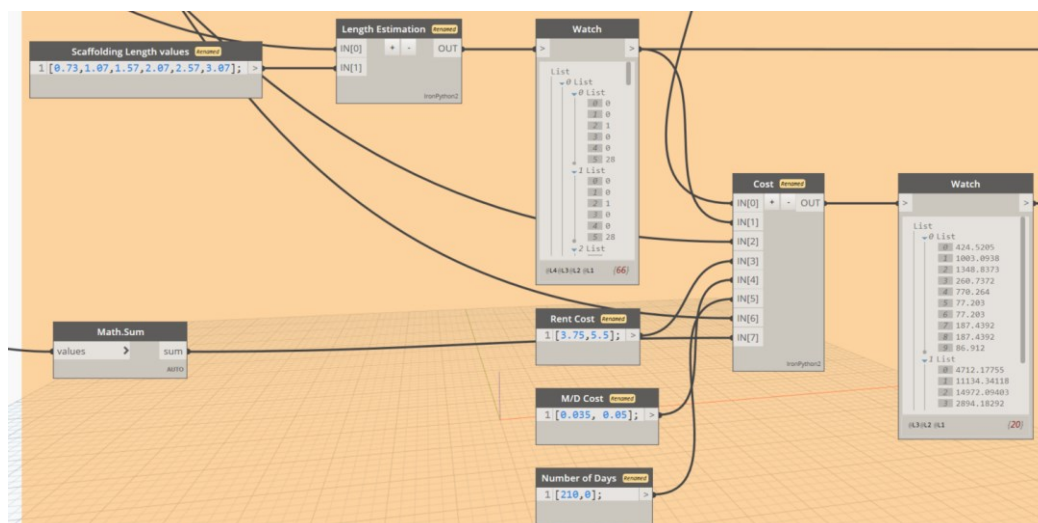


Figura 5.29 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra ERPI Bonfim

Os resultados deste processo foram exportados para uma folha Excel, ilustrada na Figura 5.30, onde se encontra preenchido, com os diversos parâmetros do elemento, a estimativa final da quantidade de andaimes, a área de andaimes e os respectivos custos de cada elemento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Type	ID	Unconnected Height	Length	Area	N de 2m	Altura Residual	comp=0.73m	comp=1.07m	comp=1.57m	comp=2.07m	comp=2.57m	comp=3.07m	AreaScaff	Cost
2	S_1	410811	3,35	87,1	291,9525	2	0,85	0	0	1	0	0	28	424,5205	4712,178
3	S_6	410915	9,96	87,1	868,014	5	1,46	0	0	1	0	0	28	1003,0938	11134,34
4	S_2	411576	13,91	87,1	1212,257	7	1,41	0	0	1	0	0	28	1348,8373	14972,09
5	S_4	411906	13,91	16,6	229,91	7	1,41	0	0	1	0	0	5	260,7372	2894,183
6	S_5	412205	7,3	87,1	635,8	4	0,8	0	0	1	0	0	28	770,264	8549,93
7	S_8	413458	3,881	13,89	53,90709	2	1,38	0	0	0	1	0	4	77,203	856,9533
8	S_8	413616	3,881	13,89	53,90709	2	1,38	0	0	0	1	0	4	77,203	856,9533
9	S_8	413709	3,881	34,72	134,3602	2	1,38	0	1	0	0	0	11	187,4392	2080,575
10	S_8	414308	3,881	34,72	135,1364	2	1,38	0	1	0	0	0	11	187,4392	2080,575
11	S_3	416410	3,35	17,5	58,29	2	0,85	0	0	0	0	1	5	86,912	964,7232

Figura 5.30 – Ficheiro Excel com os resultados do código proposto, obra ERPI Bonfim

5.3.5.LIGAÇÃO AO NAVISWORKS

Nesta obra, os pressupostos foram os mesmos adotados em 5.2.5, em termos da sequenciação relativa à montagem, desmontagem e permanência dos andaimes em obra, ressaltando-se que o processo de quantificação das durações de início e fim foram obtidas pelo código descrito em 5.2.5. A Figura 5.31 retrata o planeamento final obtido, planeamento este que será importado no software Navisworks como *TimeLiner*.

*erpi_bonfim.csv - Bloco de notas
Ficheiro Editar Formatar Ver Ajuda
Element S_1,Construct,21/05/2021 12:00 AM,26/05/2021 12:00 AM,Demolish,26/05/2022 12:00 AM,01/06/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,12/04/2022 12:00 AM
Element S_2,Construct,25/05/2021 12:00 AM,06/06/2021 12:00 AM,Demolish,17/05/2022 12:00 AM,01/06/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM
Element S_3,Construct,04/06/2021 12:00 AM,09/06/2021 12:00 AM,Demolish,13/05/2022 12:00 AM,18/05/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM
Element S_4,Construct,10/06/2021 12:00 AM,22/06/2021 12:00 AM,Demolish,05/05/2022 12:00 AM,17/05/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM
Element S_5,Construct,19/06/2021 12:00 AM,24/06/2021 12:00 AM,Demolish,02/05/2022 12:00 AM,04/05/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM
Element S_6,Construct,24/06/2021 12:00 AM,06/07/2021 12:00 AM,Demolish,17/04/2022 12:00 AM,02/05/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM
Element S_8,Construct,07/07/2021 12:00 AM,15/07/2021 12:00 AM,Demolish,14/04/2022 12:00 AM,17/04/2022 12:00 AM,Temporary,18/07/2021 12:00 AM,14/04/2022 12:00 AM

Figura 5.31 - Ficheiro CSV final, obra ERPI Bonfim

No Navisworks, após concluído todo o processo de preparação, iniciou-se a simulação temporal do modelo, através da ferramenta *Simulate*. As cores verde, amarelo e vermelho correspondem respetivamente, à fase de construção, temporário e demolição. A Figura 5.32 e Figura 5.33 ilustram duas fases distintas do desenvolvimento dos andaimes em obra.

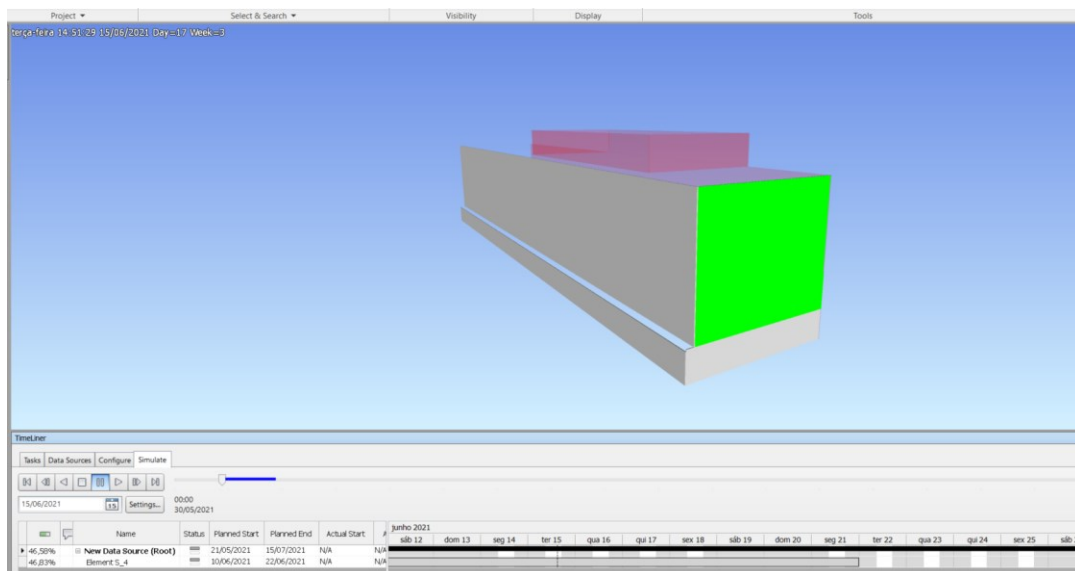


Figura 5.32 - Simulação Navisworks: Fase Construção, obra ERPI Bonfim

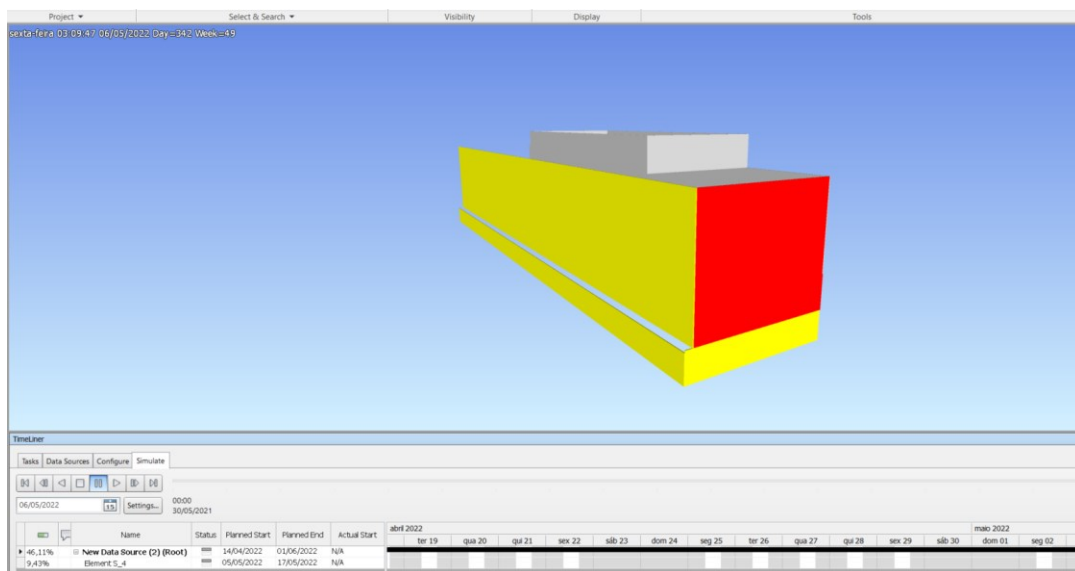


Figura 5.33 - Simulação Navisworks: Fase temporário e demolição, obra ERPI Bonfim

5.4.PALMARES RESORT

5.4.1.DESCRICÃO DO EMPREENDIMENTO

Esta obra, como se pode observar na Figura 5.34, compreende a construção de um complexo residencial turístico situado em Palmares, Lagos. O empreendimento prevê a construção de 37 apartamentos duplex,

como ilustrado na Figura 5.35, com tipologias diversificadas e com uma planta de implantação semelhante à presente na Figura 5.36. Esta obra envolve uma área de construção de 4.685 m², com um valor contratual de 4.025.000€ e uma duração estimada de 18 meses.



Figura 5.34 -Obra Palmares Resort



Figura 5.35 - Fotografia retirada na obra Palmares Resort



Figura 5.36 - Vista aérea de alguns apartamentos da obra Palmares Resort

5.4.2. MODELO REVIT

O modelo Revit existente da obra de Palmares foi previamente elaborado pela empresa, tendo sido apenas concebida uma modelação estrutural. À semelhança das obras anteriores, o modelo atual não corresponde com aos requisitos exigidos pelo código proposto, tendo sido efetuadas um conjunto de alterações de forma a satisfazer essas necessidades.

A preparação do modelo passou pela criação de elementos, que correspondem às áreas a cobrir pela estrutura de andaime, para que seja possível a aplicação do código proposto e se obtenham resultados coerentes. O modelo final encontra-se retratado na Figura 5.37. Foram então criados elementos com categoria de paredes, com representação figurativa de uma estrutura de andaimes, elementos estes que foram contabilizados como um elemento único, podendo corresponder a uma única fachada, caixa de escada ou parede de betão.

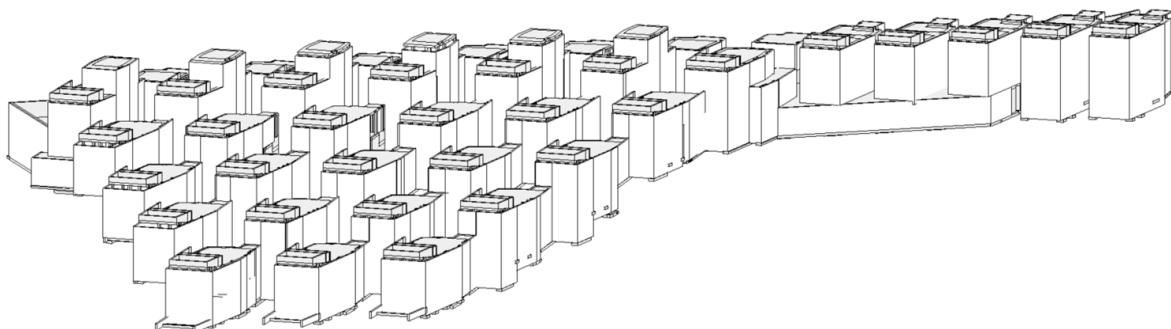


Figura 5.37 - Modelo Final, obra Palmares Resort

5.4.3.CÓDIGO DYNAMO

Os elementos foram seleccionados através do processo anteriormente descrito, tendo-se obtido 1129 elementos com categoria de parede, dos quais 448 são relevantes para o estudo, tal como consta na Figura 5.38. A estes elementos foi posteriormente aplicado o algoritmo de estimação e quantificação.

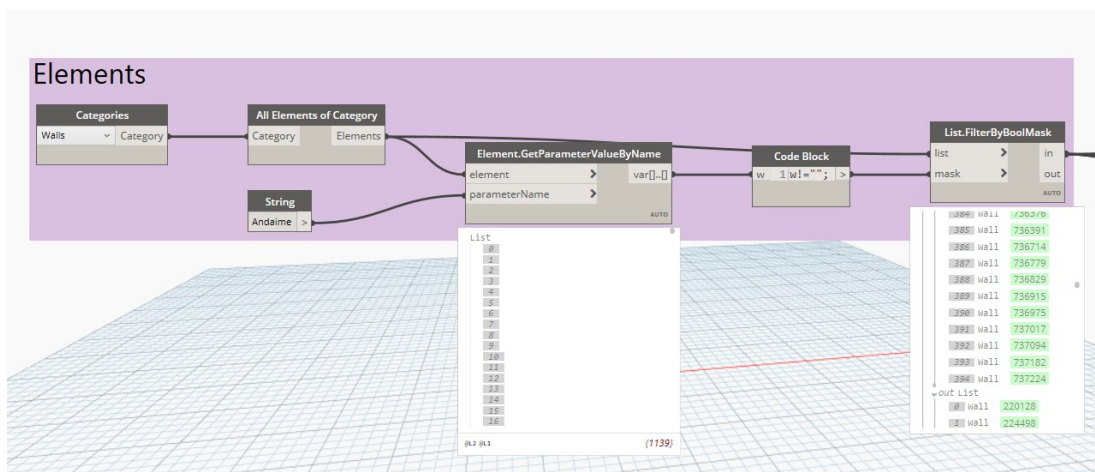


Figura 5.38 -Código Dynamo: Seleção dos elementos, obra Palmares Resort

Relativamente ao processo de estimação da quantidade de andaimes em altura, os valores de entrada foram os mesmos que os adotados no caso prático, tendo se obtido os resultados presentes na Figura 5.39.

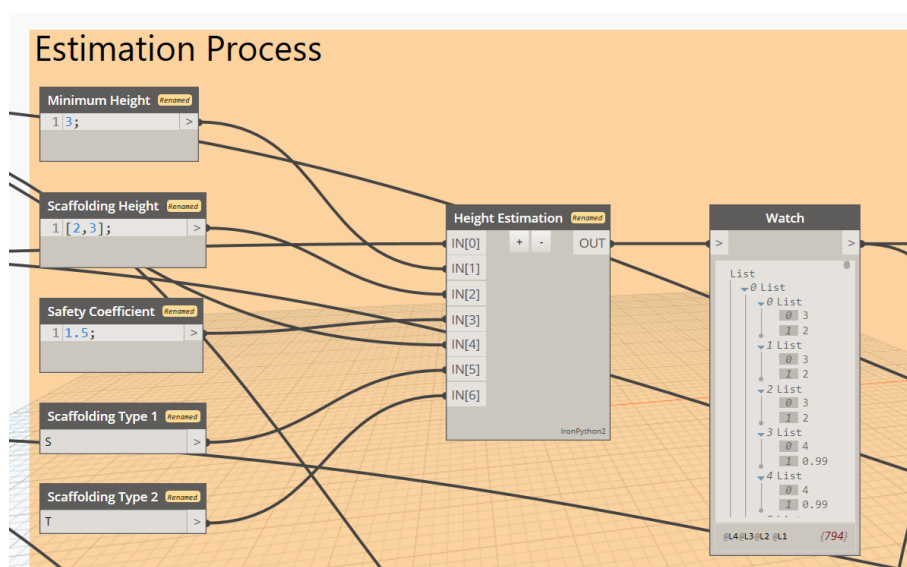


Figura 5.39 - Código Dynamo: Quantificação no número de andaimes em altura, obra Palmares Resort

Do mesmo modo, os valores obtidos no processo de quantificação por comprimento de elemento, podem ser verificados na Figura 5.40. Em termos de estimação de custos, os valores adotados foram também os considerados pela empresa nos cálculos em fase comercial. Os resultados foram posteriormente extraídos para uma folha Excel ilustrada na Figura 5.41.

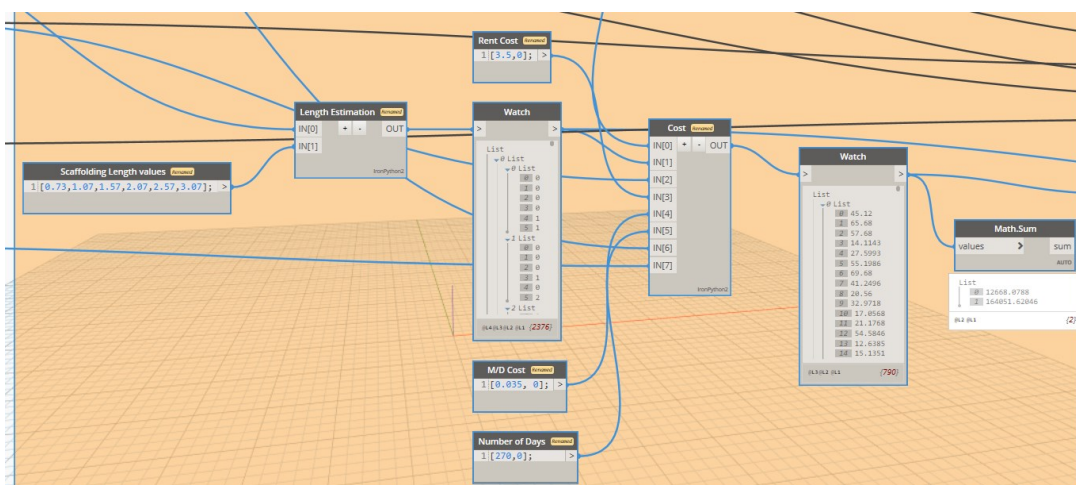


Figura 5.40 - Código Dynamo: Estimação das quantidades em comprimento e cálculo dos custos finais, obra Palmares Resort

#	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	Type	ID	Unconnected Height	Length	Area	N de 2m	Altura Residual	comp=0.73m	comp=1.07m	comp=1.57m	comp=2.07m	comp=2.57m	comp=3.07m	AreaScaff	Cost
2	S_0	682048	6.5	5.53321349	36.44145015	3	2	0	0	0	0	0	1	45.12	584.301
3	S_0	682229	6.44	8.104732073	51.550317	3	2	0	0	0	1	0	2	65.68	850.561
4	S_0	682252	6.44	6.9124446	44.56910668	3	2	0	1	0	0	0	2	57.68	746.361
5	S_0	682444	7.43	1.230946797	14.0122583	4	0.99	0	0	1	0	0	0	14.143	182.781
6	S_0	682463	7.43	2.6	20.53087749	4	0.99	0	0	0	0	0	1	27.5393	357.411
7	S_0	682509	7.43	5.8	42.92528356	4	0.99	0	0	0	0	0	2	55.1986	714.821
8	S_0	682534	6.44	8.255360397	53.82500615	3	2	0	0	0	0	1	2	69.68	902.361
9	S_2	682875	7.33	4.35939038	33.27125791	4	0.89	0	0	0	1	0	1	41.2496	534.161
10	S_1	683227	6.09	2.4234785	15.41822377	3	2	0	0	0	1	0	1	20.56	266.251
11	S_0	683556	9.24	3.02660724	28.14537735	5	0.74	0	0	0	0	0	1	32.3718	426.381
12	S_2	683545	6.74	1.972220982	12.18866138	4	0.24	0	0	0	1	0	0	17.0568	220.891
13	S_2	683578	6.74	2.17231814	19.29670264	4	0.24	0	0	0	0	1	0	21.1768	274.241
14	S_2	683656	7.33	6.009772639	43.67432884	4	0.89	0	0	0	0	0	2	54.5846	706.871
15	S_2	684079	6.55	1.276246274	8.52327823	4	0.55	0	0	0	1	0	0	12.6305	163.871
16	S_3	684110	3.43	2.51831843	8.653416798	2	0.03	0	0	0	0	0	1	15.1351	196.001
17	S_3	684134	6.33	8.106563794	52.4505164	3	2	0	0	0	1	0	2	65.68	850.561
18	S_3	684505	2.8	1.976173512	5.262538968	2	0.3	0	0	0	1	0	0	8.901	115.271
19	S_2	684637	4.53	2.27	9.980564569	3	0.09	0	0	0	0	1	0	16.6513	202.681
20	S_2	684664	7.53	4.295246695	32.63639396	4	1.09	0	0	1	0	0	1	42.1776	546.201
21	S_2	684953	7.33	3.205393289	23.72236951	4	0.89	0	0	0	0	0	1	33.182	437.461
22	S_1	685567	8.83	4.5	40.005	5	0.39	0	0	1	0	0	1	48.2096	624.311
23	S_2	685714	7.33	3.586283403	26.5913435	4	0.89	1	0	0	0	0	1	33.782	437.481
24	S_2	685755	7.53	3.36047359	25.57187206	4	1.09	1	0	0	0	0	1	34.542	447.321
25	S_2	686032	3.54	3.099388948	31.65776312	5	1.04	1	0	0	0	0	1	41.952	543.281
26	S_2	686070	6.54	4.451352628	41.58786842	5	1.04	0	0	0	0	0	1	51.2256	663.371
27	S_3	686093	6.33	4.9	31.311	3	2	0	0	0	1	0	1	41.12	532.501
28	S_3	686249	4.85	5.31970308	26.32461285	3	0.35	0	0	0	0	1	1	35.814	463.791
29	S_4	686320	2.36	2.002734487	5.347365639	2	0.46	0	0	0	1	0	0	9.2322	119.561
30	S_3	687054	7.65	3.10101916	24.10842517	4	1.15	1	0	0	0	0	1	34.77	450.271
31	S_3	687088	7.65	4.41893102	33.048	4	1.15	0	0	1	0	0	1	42.456	549.811
32	S_4	687131	6.69	6.108173628	40.91844342	4	0.19	0	0	0	0	0	2	50.2866	651.211
33	S_4	687153	8	6.607959693	52.32735509	4	1.5	1	0	0	0	0	2	65.265	845.181
34	S_3	687314	7.65	5.767982723	45.32108212	4	1.15	0	0	0	0	0	2	56.181	727.541
35	S_3	687335	7.65	2.397327258	21.75139526	4	1.15	0	0	0	0	1	0	23.5155	304.531
36	S_3	687366	7.65	1.263547118	10.32035622	4	1.15	0	0	1	0	0	0	14.3655	186.031
37	S_4	687418	2.7	2.454763804	6.473296126	2	0.2	0	0	0	0	1	0	10.734	135.781
38	S_4	687453	6.69	4.600806399	30.78476962	4	0.19	0	0	1	0	0	1	36.0016	462.121
39	S_4	687480	6.63	3.367337663	26.55089778	4	0.19	0	1	0	0	0	1	33.3066	439.091
40	S_5	687550	2.8	1.91131381	5.351678667	2	0.3	0	0	0	1	0	0	8.901	115.271
41	S_3	688360	8.1	1.40029416	11.35699748	4	2	0	0	1	0	0	0	16.7	203.321
42	S_3	688400	8.1	1.375735899	11.20895284	4	2	0	0	0	1	0	0	16.7	203.321
43	S_0	689341	6.44	10.68633193	68.19149128	3	2	0	0	0	1	0	3	86.24	1116.811
44	S_0	689334	6.19	3.907991152	24.23661905	3	2	0	0	1	0	0	1	33.12	428.901
45	S_0	689410	6.19	2.76732167	17.1297837	3	2	0	0	0	0	0	1	24.56	318.051
46	S_0	689431	8.39	3.084257144	28.69853448	5	0.49	1	0	0	0	0	1	39.862	516.211
47	S_0	689454	8.39	4.4944971	39.57131581	5	0.49	0	0	0	1	0	0	48.6736	630.321
48	S_2	689467	7.53	5.719410259	43.45103347	4	1.09	0	0	0	0	0	2	55.9126	722.771
49	S_0	689606	6.44	5.294228072	35.46055856	3	2	0	0	0	0	1	1	45.12	584.301
50	S_0	689637	6.5	7.946345552	51.01366234	3	2	0	0	0	0	1	2	65.68	850.561
51	S_0	689714	6.44	3.006448984	19.40306292	3	2	0	0	0	0	0	1	24.56	318.051
52	S_0	689733	7.49	2.863473278	22.62949136	4	0.99	0	0	0	0	0	1	27.5393	357.411
53	S_0	689757	7.49	2.393307541	21.59519423	4	0.99	0	0	0	0	1	0	23.1043	299.201
54	S_0	689780	7.49	1.251773704	10.02707919	4	0.99	0	0	0	1	0	0	14.143	182.781
55	S_2	689817	3.37	2.64389022	8.583660705	2	0.67	0	0	0	0	0	1	14.9509	193.611
56	S_2	689839	6.33	6.12878387	39.45217328	3	2	0	0	0	0	0	2	49.12	636.101
57	S_2	689869	7.53	2.581974007	19.64738725	4	1.09	0	0	0	0	0	1	27.9063	361.391
58	S_2	689887	7.53	5.163163098	40.35857601	4	1.09	0	0	0	0	1	1	51.2676	663.321
59	S_3	689940	2.8	2.16	5.776948895	2	0.3	0	0	0	0	1	0	11.051	143.111
60	S_3	690745	7.53	2.422156852	21.9412534	4	1.09	0	0	0	0	1	0	23.3613	302.531
61	S_3	690773	7.53	1.267037239	10.27042275	4	1.09	0	0	0	1	0	0	14.2713	184.811
62	S_3	690797	3.59	2.851186317	9.893702891	2	1.09	0	0	0	0	0	1	15.6263	202.361
63	S_3	690828	6.39	4.347233802	27.78013835	3	2	0	0	0	1	0	1	37.12	480.701
64	S_2	690857	6.33	3.539076965	23.04094101	3	2	1	0	0	0	0	1	30.4	393.681

Figura 5.41 - Segmento do ficheiro Excel dos resultados do código proposto, obra Palmares Resort

5.4.4.LIGAÇÃO AO NAVISWORKS

Relativamente à obra de Palmares, a ligação ao software Navisworks assumiu como pressupostos os já considerados em 5.2.5 e 5.3.5, tanto em termos de sequenciação relativa à montagem, desmontagem e permanência dos andaimes em obra, como também quanto ao método de recolha da informação relevante. A Figura 5.42 retrata o planeamento final obtido no código Dynamo que será posteriormente importado no software Navisworks em conjunto com o modelo final.

*Palmares.csv - Bloco de notas

Ficheiro	Editar	Formatar	Ver	Ajuda
Element	S_0,Construct,10/08/2021	12:00 AM,15/08/2021	12:00 AM,15/08/2021	12:00 AM,15/08/2021
Element	S_1,Construct,15/08/2021	12:00 AM,20/08/2021	12:00 AM,20/08/2021	12:00 AM,20/08/2021
Element	S_2,Construct,20/08/2021	12:00 AM,25/08/2021	12:00 AM,25/08/2021	12:00 AM,25/08/2021
Element	S_3,Construct,20/08/2021	12:00 AM,25/08/2021	12:00 AM,25/08/2021	12:00 AM,25/08/2021
Element	S_4,Construct,25/08/2021	12:00 AM,30/08/2021	12:00 AM,30/08/2021	12:00 AM,30/08/2021
Element	S_5,Construct,25/08/2021	12:00 AM,30/08/2021	12:00 AM,30/08/2021	12:00 AM,30/08/2021
Element	S_6,Construct,30/08/2021	12:00 AM,04/09/2021	12:00 AM,04/09/2021	12:00 AM,04/09/2021
Element	S_7,Construct,30/08/2021	12:00 AM,04/09/2021	12:00 AM,04/09/2021	12:00 AM,04/09/2021

Figura 5.42 – Ficheiro CSV final, obra Palmares Resort

Focando apenas no desenvolvimento em Navisworks, após a finalização de todo o processo de preparação do software, presente na Figura 5.43, deu-se início à simulação do modelo consoante os respetivos intervalos. Tal como descrito em 5.3.5, as cores presentes na simulação representam as três fases de desenvolvimento dos andaimes em obra, isto é, construção, permanência e demolição. A Figura 5.44 e Figura 5.45 ilustram duas fases distintas do desenvolvimento dos andaimes em obra.

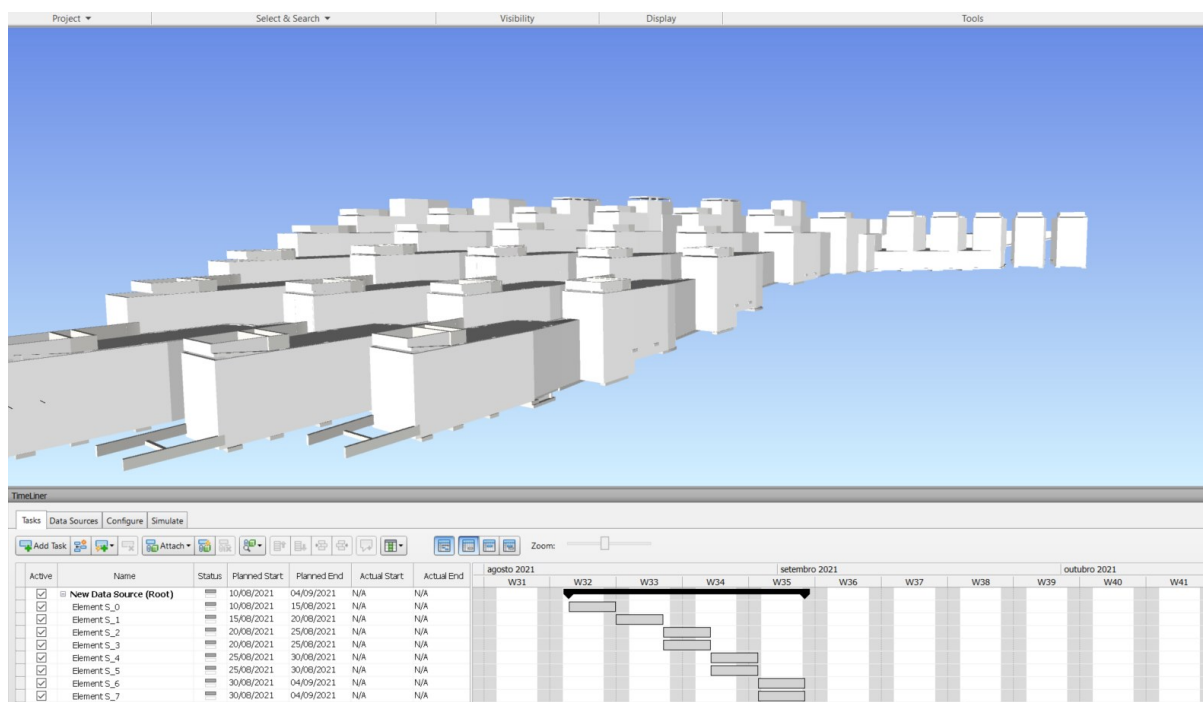


Figura 5.43 - Workspace Navisworks, obra Palmares Resort

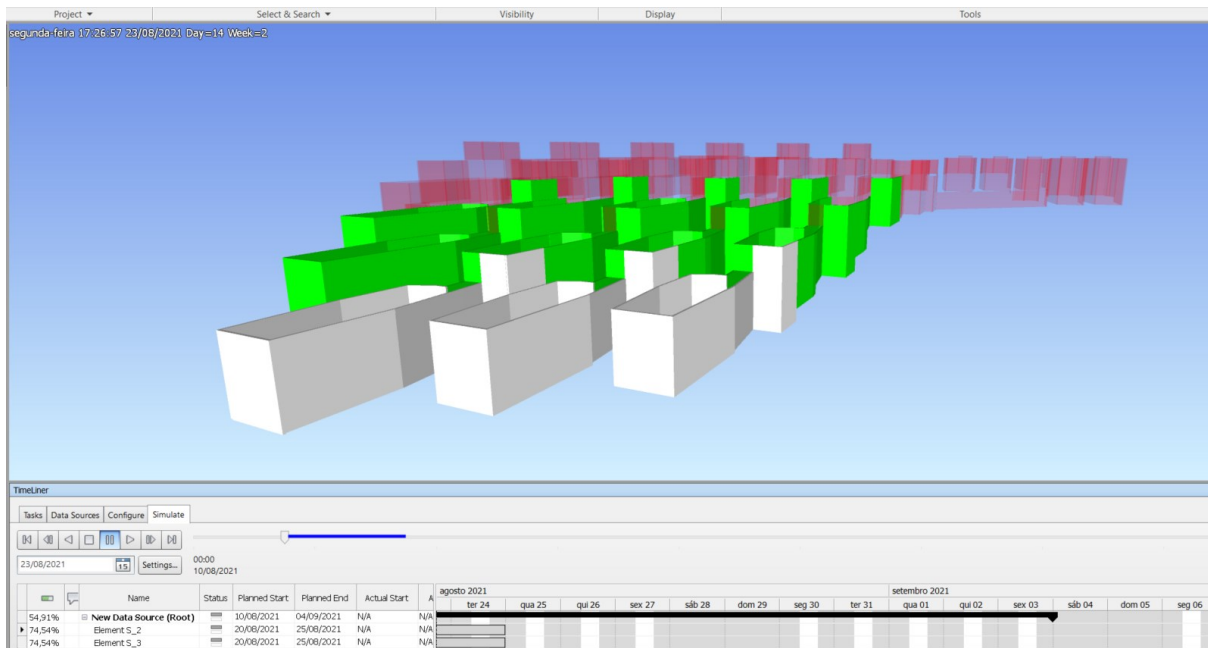


Figura 5.44 - Simulação Navisworks: Fase Construção, obra Palmares Resort

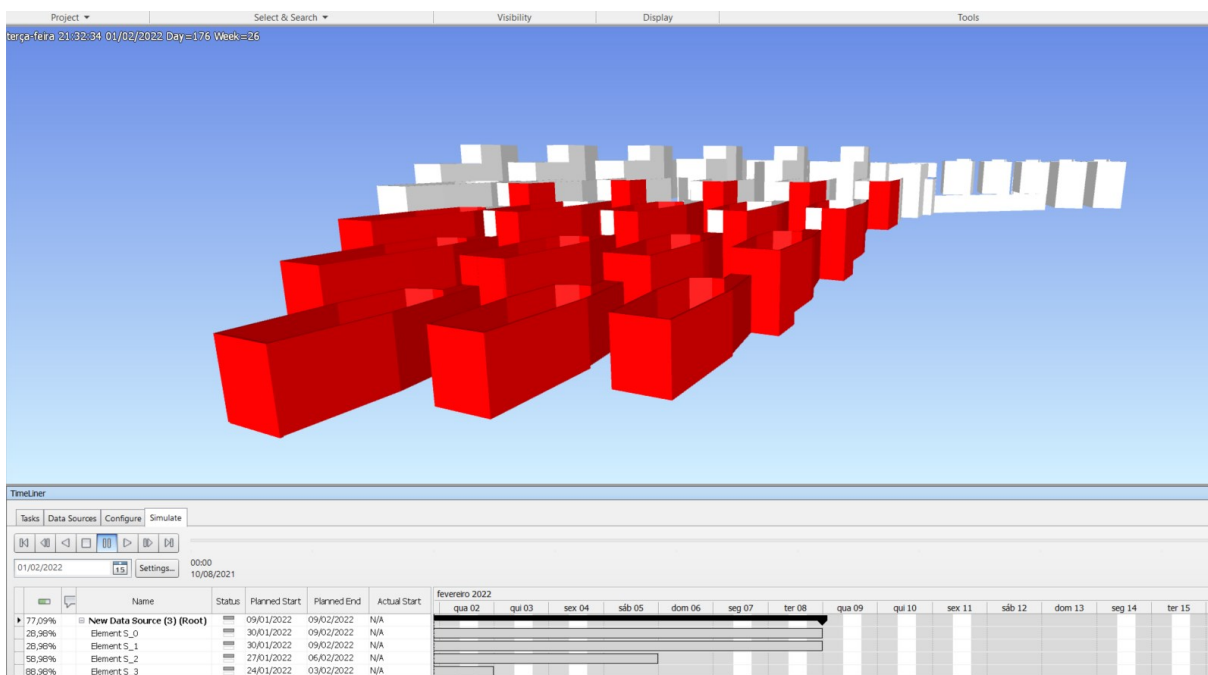


Figura 5.45 - Simulação Navisworks: Fase Demolição, obra Palmares Resort

6 RESULTADOS

A precisão dos resultados está dependente do tipo e característica da informação existente a ser comparável, já que condiciona o modo como os resultados são apresentados.

Nos orçamentos efetuados pela empresa, o valor da área é contabilizado como sendo a área da parede/elemento, no entanto, considerou-se essa abordagem pouco realista uma vez que o custo deste equipamento deverá ser determinado com base na quantidade de andaime colocado em obra, cujas dimensões, na generalidade, são superiores às da parede/elemento.

Por sua vez, a contabilização das durações nos cálculos foi realizada também de forma diferente ao método utilizado pela empresa, sendo que a correta quantificação das durações deverá ser feita através dos rendimentos das tarefas.

6.1. ALIADOS PLAZA HOTEL

Os resultados da Tabela 11 contemplam todos os elementos em obra, sendo também apresentados as durações obtidas de acordo com os rendimentos considerados. Denote-se que, para o cálculo do custo final, foi prevista a existência de uma rotatividade de 58% e para o cálculo das durações foi considerada uma complexidade média para o tipo de acabamento, com o rendimento presente na Tabela 10.

Adicionalmente, os valores atribuídos aos custos unitários de aluguer diário e montagem/desmontagem correspondem aos considerados pela empresa, sendo estes, respetivamente, 0,03€/m².dia e 3,9€/ m².

Tabela 11 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 1

Solução de Andaimos			
Duração	Área Total	Área Total Andaime	Custo
258 dias	4362,2 m ²	5405,5m ²	33.559,9€

Efetuada uma análise comparativa entre as dimensões do modelo e as geradas pelo algoritmo, como se pode observar na Tabela 12, das duas fachadas em questão, foi possível concluir que o algoritmo permite obter valores dimensionais bastante aproximados das dimensões dos elementos.

Tabela 12 - Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado

Dimensões de um elemento individual:			
Altura		Comprimento	
Elemento	Andaime	Elemento	Andaime
20,2m	20,2m	9,77m	9,94m
Diferença: 0%		Diferença: 1.7%	

Por sua vez, analisando as dimensões numa perspetiva global, isto é, envolvendo todos os elementos presentes no modelo, as diferenças médias obtidas entre valores dos elementos no modelo e os gerados pelo algoritmo foram de 2,6% e 8,7% para valores de altura e comprimento, respetivamente, conforme presente na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado

Dimensões Globais:	
Altura	Comprimento
Diferença % Média: 2,6%	Diferença % Média: 8,73%

Verificou-se também que, através de um estudo aos valores finais obtidos, apenas 11% dos elementos apresentou alguma diferença a nível do valor correspondente à altura. Contrariamente, em termos de valores de comprimentos, todos os elementos do modelo registaram uma diferença dimensional entre modelo e algoritmo proposto, sendo que esta diferença atingiu um valor máximo de 0,72 m.

Tabela 14 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado

Área a Intervir		Duração		Custo Final	
Real	Algoritmo	Real	Algoritmo	Real	Algoritmo
4186,18m ²	5404,5m ²	270 dias	258 dias	36.930,10€	33.559,9€
Diferença: + 29,1%		Diferença: - 2,0%		Diferença: - 9,1%	

Relativamente aos dados resultantes da aplicação do algoritmo, a área de intervenção estimada foi mais 29,1%, correspondendo a 1218m², face ao contabilizado no orçamento real. Por sua vez, a duração obtida foi de menos 2% face aos 270 dias contabilizados no orçamento final. Analogamente, quanto ao custo final, foi obtido um valor 9,1% inferior ao real.

6.2.ERPI BONFIM

A comparação dos resultados finais desta obra terá de ser efetuada considerando a obra em termos globais, dado que, à data ainda não existia um projeto e orçamento relativo à solução de andaimes a adotar, havendo apenas informação quanto à globalidade da obra.

Assim sendo, a análise comparativa foi realizada considerando todos os elementos em obra, sendo também apresentados as durações obtidas de acordo com os rendimentos considerados. Denote-se que, no cálculo do custo final, como os andaimes serão colocados sem rotatividade, ou seja, todos de uma vez, o tempo considerado nos cálculos corresponde ao total das durações obtidas através dos rendimentos do acabamento. Adicionalmente, os valores atribuídos aos custos unitários de aluguer diário e montagem/desmontagem, correspondem aos considerados pela empresa, sendo estes, respetivamente, 0,035 €/m² e 3,5 €/ m².

No cálculo da duração foi considerado uma complexidade média com um rendimento de acordo com a Tabela 10.

A solução final de andaimes traduz-se nos resultados presentes na Tabela 15:

Tabela 15 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 2

Solução de Andaimes			
Duração	Área Total	Área Total Andaime	Custo
211 dias	3673,5 m ²	4423,6m ²	36.026,6€

A partir de uma análise individual a um elemento único da obra constatou-se que, tal como evidenciado na Tabela 16, os valores dimensionais obtidos no processo automático de estimação do número de andaimes, em comparação com os valores presentes no modelo, são valores aproximados dos presentes no elemento.

Tabela 16 -Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado

Dimensões de um elemento individual:			
Altura		Comprimento	
Elemento	Andaime	Elemento	Andaime
8,8m	8,8 m	87,1m	87,53m
Diferença: 0%		Diferença: 0.5%	

No entanto, efetuando uma análise abrangente a todos os elementos nos modelos, os valores médios relativos à diferença de dimensões apresentam valores ligeiramente superiores, sendo que a diferença dos valores de comprimento, tal como em 6.1, é superior à diferença de alturas.

Tabela 17 - Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado

Dimensões Globais:	
Altura	Comprimento
Diferença % Média: 0%	Diferença % Média: 1,3%

Tabela 18 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado

Área total a Intervir		Duração		Custo Final	
Real	Algoritmo	Real	Algoritmo	Real	Algoritmo
3720,0m ²	4423,7 m ²	210 dias	211 dias	41.292,0€	36.026,6€
Diferença: + 18,9%		Diferença: +0,3%		Diferença: -12,8%	

Relativamente aos dados resultantes da aplicação do algoritmo, a área de andaime estimada foi 18,9% superior à área a intervir considerada no orçamento real. A duração obtida foi de 211 dias, 0,3% superior ao considerado no orçamento final e no cálculo do custo final, foi quantificado um custo total 12,8 % inferior ao real.

6.3.PALMARES RESORT

Nesta obra, por não existir, à data, um projeto e orçamento real de andaimes, a análise comparativa consistiu numa comparação entre os valores obtidos pela proposta e os valores contabilizados pela empresa num determinado período de tempo. Os valores unitários contabilizados nos cálculos da empresa foram os mesmos considerados na proposta, atribuindo-se 0,04€/m² para o custo de aluguer diário e 5€/m² por o custo de montagem/desmontagem.

No cálculo da duração foi considerado um rendimento correspondente à complexidade baixa, de acordo com a Tabela 10.

A solução final de andaimes traduz-se nos seguintes resultados, presentes na Tabela 19:

Tabela 19 - Resultados da aplicação do algoritmo ao caso de estudo 3

Solução de Andaimes			
Duração	Área Total	Área Total Andaime	Custo
311 dias	11.216,85 m ²	15.075,34 m ²	166.595,7€

A análise individual de um elemento isolado da obra permitiu concluir que, comparando os valores obtidos pelo algoritmo e os presentes no modelo, a diferença de alturas apresentou uma resposta bastante satisfatória. Já os valores de comprimento, apresentaram uma diferença superior de cerca de 3%.

Tabela 20 - Comparação das dimensões entre valores do elemento e os obtidos no algoritmo implementado

Dimensões de um elemento individual:			
Altura		Comprimento	
Elemento	Andaime	Elemento	Andaime
10,39m	10,39 m	4,50 m	4,64 m
Diferença: 0%		Diferença: 3%	

Em termos de uma perspetiva global dos elementos, incluindo todos os elementos nos modelos, os valores médios relativos à diferença de dimensões apresentam valores de acordo com os encontrados em 6.1 e 6.2, tendo-se obtido uma diferença média de 0,5% e 8,8% para os valores de altura e comprimento, respetivamente.

Tabela 21 -Comparação média da diferença entre as dimensões dos elementos e as obtidas no algoritmo implementado

Dimensões Globais:	
Altura	Comprimento
Diferença % Média: 0,5%	Diferença % Média: 8,8%

Com a comparação entre os resultados reais da empresa e os resultados obtidos no algoritmo proposto, presentes na Tabela 22, estimou-se uma área 7,7% superior à real e um custo, considerando a duração calculada pelo algoritmo de 311 dias, tendo-se obtido um custo final 7,6% inferior ao real.

Tabela 22 - Comparação dos resultados finais entre reais e os obtidos no algoritmo implementado

Área total a Intervir		Durações		Custo Final	
Real	Proposta	Real	Proposta	Real	Proposta
14.000,0m ²	15.075,34 m ²	300 dias	311 dias	180.320,0€	166.595,7€
Diferença: +7,7%		Diferença: +3,6%		Diferença: -7,6%	

6.4.ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE ALGORITMO PROPOSTO E. MÉTODO TRADICIONAL

Tendo em conta os resultados apresentados, torna-se essencial analisar o contributo do algoritmo proposto face ao método já implementado pela empresa, avaliando o benefício da aplicação do mesmo na empresa e nas futuras obras.

6.4.1.ANÁLISE DOS CUSTOS

Para avaliar o impacto da aplicação do algoritmo aos casos de estudo seleccionados, procedeu-se, primeiramente, à comparação dos custos finais dos andaimes, obtidos pelos dois métodos em estudo, tendo-se reunido os seguintes resultados.

Tabela 23 - Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza

Custo		
Método Convencional	Real	Algoritmo
19.740,0€	36.920,10€	33.559,90€
-46,5%		- 9,1%

Tabela 24 – Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim

Custo		
Método Convencional	Real	Algoritmo
32.200,0€	41.292,0€	36.056,6€
-18,9%		-12,8%

Tabela 25 - Comparação dos custos entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort

Custo		
Método Convencional	Real	Algoritmo
5.530,56€	180.320,0€	166.595,70€
-96,9%		-7,6%

Observando a Tabela 23 e Tabela 24, no que tange aos custos finais, depreende-se que, para a obra Aliados Plaza, o valor estimado pelo algoritmo foi de 13,3% inferior ao real, enquanto pelo método convencional registou-se uma diferença negativa de 46,5%, verificando-se, em valores absolutos, uma melhoria de 37% no método implementado. O mesmo se sucede nas duas restantes obras, ERPI Bonfim e Palmares Resort, tendo-se registado uma melhoria de 6% e 88%, respetivamente.

Na terceira obra, o valor da melhoria assumiu um valor bastante significativo devido ao valor considerado na fase comercial pelo método tradicional que apresentou valores muito baixos.

Analisando os resultados globalmente, constata-se que, em média, o valor obtido pelo algoritmo é 10% inferior ao real. Em termos de melhoria de precisão, o método do algoritmo representa um contributo de cerca de 14%, em valores médios.

6.4.2. ANÁLISE DAS DURAÇÕES

Seguidamente, avaliando o impacto da aplicação do algoritmo em termos de valores de duração, comparando as durações dadas pelos dois métodos em estudo, reuniram-se os seguintes resultados:

Tabela 26 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza

Duração		
Método Convencional	Real	Algoritmo
270 dias	270 dias	258 dias
0%		- 2,0%

Tabela 27 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim

Duração		
Método Convencional	Real	Algoritmo
240 dias	210 dias	211 dias
+14,3%		+0,3%

Tabela 28 - Comparação das durações entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort

Duração		
Método Convencional	Real	Algoritmo
270 dias	300 dias	311 dias
-10%		+3,6%

Relativamente ao cálculo da duração, analisando as tabelas, verifica-se que o algoritmo, em todas as obras, estima valores inferiores aos reais, tendo-se obtido, para a obra Aliados Plaza, uma duração 2% inferior à real. Já na obra ERPI Bonfim o valor obtido para a duração não sofreu praticamente nenhuma alteração, sendo este 0,3% superior ao considerado no real. Na obra Palmares Resort registou-se um acréscimo de 3,6% na duração.

Em termos globais verificou-se uma melhoria média de quase 7% na precisão da estimacão da duração.

6.4.3. ANÁLISE DAS ÁREAS

Por fim, avaliando o impacto da aplicação do algoritmo em termos de valores de área, comparou-se as áreas calculadas pelos dois métodos em estudo, tendo-se reunido os seguintes resultados:

Tabela 29 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra Aliados Plaza

Área		
Método Convencional	Real	Algoritmo
2400 m ²	4186,2 m ²	5405,5 m ²
- 42,7%		+ 29,1%

Tabela 30 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra ERPI Bonfim

Área		
Método Convencional	Real	Algoritmo
3500 m ²	3720 m ²	4423,7 m ²
- 5,9%		+ 18,9%

Tabela 31 - Comparação das áreas entre método convencional, real e algoritmo obra Palmares Resort

Área		
Método Convencional	Real	Algoritmo
4270,7 m ²	14.000,0m ²	15.075,34 m ²
- 69,5%		+ 7,7%

Analisando o fator área, com recurso às Tabela 29 e Tabela 30, verifica-se que a implementação do algoritmo conduziu a valores de áreas superiores aos reais, tanto na obra Aliados Plaza como ERPI Bonfim, contrastando com sucedido no método convencional cujos resultados apresentaram valores inferiores aos reais.

Analogamente aos resultados das duas primeiras obras, a área estimada pelo algoritmo relativamente à obra de Palmares apresentou um valor também superior ao real de cerca de 7,7%, como se pode observar pela Tabela 31. Analisando também as duas obras com uma diferença mais significativa no fator de área, regista-se também uma melhoria na precisão dos resultados obtidos pelo algoritmo proposto.

Numa perspetiva geral, a implementação do algoritmo conduziu a áreas, em média, 18,6% superiores às reais. Em comparação com o método tradicional, o algoritmo contribuiu para uma melhoria de precisão dos cálculos de cerca de 9%, em valores médios.

6.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Denote-se que, para a quantificação do peso do avanço conseguido pelo algoritmo, foram apenas consideradas as obras Aliados Plaza e ERPI Bonfim, uma vez que os valores da obra de Palmares, obtidos pelo método tradicional em fase comercial, apresentaram valores muito baixos. Esta desfasagem conduz a uma inflação dos valores comparativos médios, não sendo uma abordagem coesa.

A conceção do algoritmo traduziu-se, em termos globais, em resultados com um maior grau de exatidão, uma vez que todo o processo de quantificação dos fatores envolvidos é feito através de métodos automáticos e com maior precisão.

O recurso aos rendimentos como forma de cálculo das durações interfere no resultado do custo final, apresentando valores mais baixos do que o suposto, caso a duração correspondesse à duração total. A adoção deste procedimento deveu-se ao encorajamento de criação de um método de cálculo que aborde corretamente o processo de quantificação e estimação, contribuindo para um incentivo no investimento e aprofundamento deste método de forma a minimizar o *gap* atual.

7

CONCLUSÕES FINAIS

7.1. CONCLUSÕES GERAIS

O setor da construção civil regista um vasto historial de limitações e imperfeições que têm vindo a ser mitigadas com o investimento no avanço tecnológico do próprio setor nos processos e modos de trabalho. No entanto, atualmente, este desenvolvimento tem-se revelado ainda escasso, com maior predomínio na vertente de obra, onde a implementação destas tecnologias, comparativamente com outras especialidades da AEC, está ainda menos presente e onde se regista, de forma contínua, desperdícios e incompetências nos processos adotados.

Uma das metodologias que se mostrou revolucionária e com grande potencial na resolução e atenuação do impacto pejorativo do setor é indubitavelmente o BIM. Esta metodologia, para além de contribuir para uma racionalização adequada dos recursos e materiais a utilizar, contribui também para uma melhoria da qualidade dos trabalhos, com particular enfoque em tarefas repetitivas e monótonas, permitindo a obtenção célere de resultados, com menor esforço. O contributo desta tecnologia tem sido mais expressivo na quantificação de material, orçamentação, deteção de interferências entre especialidades e outras intervenções, no entanto, esta metodologia encontra-se também capacitada para incidir em outras frentes dentro do setor, sendo crucial a aposta de uma amplificação da metodologia para essas vertentes.

O desafio desta dissertação consistiu, primordialmente, em fundamentar o contributo da prática do BIM, em âmbito empresarial, na resposta a carências atuais do setor, carências estas que se têm vindo a prolongar e persistir ao longo dos anos. Neste estudo foi priorizada a incidência na preparação e orçamentação de soluções de andaime. Este estudo permitiu reunir deduções factuais quanto à aplicação da metodologia em práticas menos usuais e que, a nível das empresas nacionais, não são tão exploradas.

A análise de soluções de andaime evidenciou a magnitude da complexidade envolvida no planeamento e orçamentação deste equipamento, bem como o impacto destes na obra e no respetivo desenvolvimento. O aprofundamento do tema elucidou a importância de uma preparação adequada, tendo sido notório o efeito negativo de uma solução desajustada nos custos da obra, na prorrogação do prazo da obra e na eficiência da mesma.

Por sua vez, a comparação quantitativa dos custos das obras analisadas permitiu clarificar a importância de uma correta consideração do fator área, sendo este responsável por uma influência nos custos finais de cerca de 50%. A reflexão deste tema permitiu também salientar a importância da consideração de certos condicionalismos em obra, tais como, tipo e complexidade do acabamento ou material a aplicar, existência de varandas, entre outros, uma vez que conduzem a uma necessidade acrescida de material e de trabalho a realizar.

Adicionalmente, a exploração deste tema denotou também que, à semelhança dos andaimes, existe uma variedade de equipamentos e recursos que devem ser alvo de análise e estudo de forma a mitigar o impacto negativo que uma incorreta preparação e contabilização pode ter nos custos finais da obra.

Por outro lado, o algoritmo implementado, que quantifica e dimensiona, de modo automático, soluções de andaimes e o respetivo custo, com base em modelações BIM, possibilitou a obtenção de diversos resultados e cenários em tempo real. A aplicação deste algoritmo nas três obras estudadas disponibilizou resultados, a diversos níveis, sendo estes bastante satisfatórios e promissores, principalmente em contraste com o método tradicional.

Primeiramente, o esforço adicional de modelação torna-se reduzido, podendo ser adotados modelos de baixo nível de desenvolvimento na aplicação do algoritmo proposto, como é o exemplo da obra ERPI Bonfim, não havendo qualquer interferência com a precisão e qualidade dos resultados finais

Em segundo, a estimação do número de andaimes por elemento face às respetivas dimensões, evidenciou que o algoritmo implementado permite a obtenção de modelações eficientes e precisas, sem grandes discrepâncias face às dimensões do respetivo elemento a intervir. Esta versatilidade e fácil adaptação permite que, em fase de preparação, haja uma melhor consciencialização do material necessário e das respetivas dimensões, facilitando o processo de orçamentação, gestão e aquisição de material.

Por outro lado, não obstante os resultados apresentarem valores conservadores, providenciam uma estimativa mais realista e próxima da real, tanto na estimação de quantidades como de custos. Em termos práticos, no conjunto das obras analisadas em 3.5.1, a implementação do algoritmo contribuiu para uma melhoria de 14% na precisão do processo de cálculo dos custos, apresentando custos finais com uma diferença, face aos reais, de apenas menos 10%.

Semelhantemente, os valores estimados de áreas, geradas pelo algoritmo, facultam ao utilizador, tal como referenciado em 6.4, quantidades superiores às reais, com um valor médio de mais 18.9%, permitindo uma ponderação mais adequada e conservativa das áreas a considerar para a obra, minimizando o risco de insuficiência material em fase de produção, que prejudica significativamente o desenvolvimento, produtividade, custos e prazos da obra. O processo foi sujeito a uma evolução de 9% com a implementação deste algoritmo.

Por sua vez, o avanço da metodologia de cálculo permite, particularmente em fase comercial e de preparação, a existência de um processo mais acessível e capaz de elaborar, rapidamente, diversos cálculos, estimativas e cenários financeiros. Esta possibilidade permite aos profissionais uma maior produtividade e melhores capacidades de fundamentar e aprovar a adequabilidade e precisão da solução final obtida, minimizando assim o risco de surgimento de erros de cálculo desnecessários e contratempos futuros.

Destaca-se também a relevância do contributo das linguagens de programação na resolução de erros e otimização dos processos existentes, dado que a inclusão destas linguagens permite alcançar métodos de resposta com uma maior gama de abrangência, acautelando ainda melhor os problemas e falhas. A programação terá cada vez mais notoriedade no setor AEC assim que a magnitude das suas competências e aptidões forem apreciadas no mercado e comunidade, tal como se verificou na metodologia BIM.

Por sua vez, esta proposta de aplicação soluciona outra grande adversidade, dita crucial: o tempo disponível para a realização dos cálculos e medições necessárias. A aplicação desta proposta providencia a obtenção de diversos resultados de carácter global, em particular, os custos finais e individuais, mais especificamente o número de andaimes por altura, por comprimento, entre outros, em tempo imediato. O mesmo se sucede aquando da necessidade de alteração ou substituição de certas variáveis ou elementos, resultando também, de forma instantânea, a extração destes novos resultados.

A inclusão do software Navisworks no processo de estimação de soluções de andaime assume um papel oportuno uma vez que, estabelecendo um meio de ligação mais automatizado e breve, contrário ao método manual, este promove uma visualização expedita da solução final vinculada à gestão e logística prevista para o elemento em obra, possibilitando a identificação de abordagens mais eficientes e favoráveis para a obra, de acordo com a solução empregada. A conexão com estas ferramentas de visualização tridimensional permite avaliar a solução adotada de uma forma mais acessível para os intervenientes, possibilitando uma perceção mais globalizada, identificando possíveis constrangimentos ou potencialidades que, na abordagem tradicional não seria possível prever ou verificar de forma tão expedita.

Por fim, é de referir que, embora a aposta e desenvolvimento de soluções mais automatizadas seja uma maior valência para o setor e para as empresas, estes processos não substituem ou prescindem da função do engenheiro civil na validação dos resultados obtidos. O *know-how* e experiência dos trabalhadores do setor AEC são componentes que dificilmente se consegue incutir num algoritmo, estando estas sempre sobrepostas aos resultados adquiridos. Em síntese, a programação adquire um valor notório no setor e que deverá, imprescindivelmente, atuar como método de apoio e auxílio à função do engenheiro civil.

7.2.DIFICULDADES SENTIDAS

Com o desenvolvimento desta dissertação foi notório a identificação de alguns aspetos adversos à implementação deste tipo de proposta nas empresas portuguesas de construção. Estes constrangimentos advêm, maioritariamente, da limitação de recursos, principalmente humanos, disponíveis para apostar e investir em estratégias mais automáticas ligadas à programação. A ausência de conhecimentos de programação, por parte dos profissionais numa empresa corrente de construção, limita o desenvolvimento de processos mais automatizados já que, sem estes conhecimentos, o processo torna-se muito difícil e impraticável.

Por outro lado, o nível de implementação da metodologia BIM nas empresas, que ainda é reduzido, complexifica a adoção deste estilo de processos, visto que o conhecimento da metodologia e softwares é ainda fraco e o número de modelações existentes é insuficiente. Um ponto essencial na adoção de procedimentos automatizados passa por validar as capacidades do procedimento com exemplos reais, de forma a averiguar a viabilidade dos resultados. Adicionalmente, os modelos existentes nas empresas são feitos, maioritariamente, a pedido de entidades externas às empresas, não havendo uma necessidade interna de modelar e aprofundar a temática em prol de acrescentar conhecimento e *feedback* para a própria empresa.

7.3.DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A ferramenta criada nesta dissertação, apesar de já ser capaz de providenciar resultados práticos e relativamente precisos, prevê, mesmo assim, uma continuação do seu desenvolvimento, com o intuito de expandir as suas capacidades e robustez. Esta linha de continuidade e evolução pode ser concebível através do prosseguimento do estudo realizado até este momento.

Relativamente ao conteúdo do algoritmo implementado, a estrutura adotada expressa-se como um recurso de grande potencial de melhoria e aperfeiçoamento, podendo este estar posteriormente capacitado para cálculos cada vez mais precisos e obter soluções mais eficientes e economicamente favoráveis. Assim, destacam-se algumas sugestões a implementar:

- Otimização geral do algoritmo, tornando a estrutura mais fluída e clara;
- Aperfeiçoamento do processo de determinação da modelação longitudinal dos andaimes e, em seguida, evolução para um método também capaz de encontrar a solução economicamente mais viável.
- Desenvolvimento de um processo que identifique zonas de interferência entre andaimes e consiga recalcular as quantidades dos mesmos;
- Desenvolvimento de um processo automático de atribuição do parâmetro de identificação a todos os elementos relevantes do modelo, bem como de atribuição automática, consoante a respetiva identificação, do tipo de acabamento de cada um;

Adicionalmente, de forma a facilitar a visualização da solução e da respetiva disposição espacial, identifica-se como uma potencial melhoria, a inclusão de um processo que apresente automaticamente a solução de andaimes final no próprio modelo. Similarmente, considera-se também pertinente a apresentação da progressão gradual da montagem e desmontagem da solução de andaimes ao longo da simulação temporal da obra, permitindo que, com o desenvolvimento da mesma seja possível visualizar cada nível de andaime a ser montado e desmontado.

Um outro desenvolvimento seria aplicar conceitos de *Machine Learning* ao projeto, através de métodos como *Artificial Neural Networks* (ANN) e *Support Vector Machines* (SVM). Estes métodos são amplamente utilizados, devido à grande versatilidade no processo de previsão e estimação de custos das obras, quantidades necessárias, durações dos trabalhos, entre outros. Num momento inicial, iria-se proceder à recolha de uma amostra de resultados obtidos através da execução do método proposto em diferentes obras. Em seguida, esses mesmos resultados seriam armazenados e organizados consoante o seu conteúdo e respetiva obra. Por fim, com base nos resultados obtidos, seria criado um modelo capaz de receber os parâmetros essenciais de uma obra e, consequentemente, determinar os valores dos custos e quantidades da mesma. Assim, o processo de tomada de decisão tornar-se-ia mais acessível e expedito.

Uma outra perspetiva a explorar seria aplicar este formato de proposta a outros elementos em obra, sendo necessário adaptar o algoritmo às características específicas de cada elemento e às fórmulas de cálculo envolvidas. Esta vertente de proposta futura não só permite contribuir para uma melhoria gradual da eficiência do setor como, no panorama da empresa, permite um melhor controlo global das obras e dos custos associados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Nascimento e E. Santos, *A contribuição da tecnologia da informação ao processo de projeto na construção civil*. São Paulo, 2001.
- [2] J. P. Martins, *Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção*. FEUP, 2009.
- [3] P. Okamoto, *Teoria e Prática de coordenação de Projetos de Edificações Residenciais na Cidade de São Paulo*. Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- [4] G. Nunes e M. Leão, *Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM*, n. 55. Universidade do Estado de Mato Grosso, 2018.
- [5] M. Venâncio, *Avaliação Da Implementação De Bim – Building Information Modeling Em Portugal*. FEUP, 2015.
- [6] B. M. L. Ferreira, *Desenvolvimento De Metodologias Bim De Apoio Aos Trabalhos Construtivos De Medição E Orçamentação*. FEUP, 2015.
- [7] M. Al Hattab e F. Hamzeh, *Information Flow Comparison Between Traditional and Bim-Based*. Fortaleza, Brasil, 2013.
- [8] I. Czmoch e A. Pękala, *Traditional design versus BIM based design*, vol. 91. Varsóvia, Polónia, 2014.
- [9] A. Barbosa, *A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia*. ISEP, 2014.
- [10] J. Fonseca, *BIM e Arquitetura: Processos e Gestão de Informação no Projeto de Arquitetura João Pedro Matos da Fonseca Arquitetura*. Instituto Superior Técnico - Lisboa, 2019.
- [11] K. Eastman, Chuck; Teicholz, Paul; Sacks, Rafael; Liston, *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.
- [12] A. Baptista, *Utilização De Ferramentas BIM No Planeamento De Trabalhos De Construção – Estudo De Caso*. FEUP, 2015.
- [13] B. Ferreira, J. Lima, J. Rio, e J. Poças Martins, *Integração da Tecnologia BIM no Projeto de Estruturas de Betão*. FEUP, 2012.
- [14] T. Gouveia, *Integração de Ferramentas BIM na Gestão de Obra*. Universidade do Estado de Mato Grosso, 2016.
- [15] A. Monteiro e J. Poças Martins, *A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design*, vol. 35. FEUP, 2013.
- [16] A. Velasco, *Assessment of 4D BIM applications for project management functions*, n. August. Univerisidade de Cantabria, 2013.
- [17] D. Dung e M. Tarar, *Impact of 4D Modeling on Construction Planning*. Chalmers University of Technology, Suécia, 2012.
- [18] A. Basu, *4D scheduling - A case study*. New Jersey, 2007.
- [19] J. Campagna-Wilson e C. Botton, *Challenges Related to 4D BIM Simulation in the Construction Industry*. Montréal, Canada: Springer International Publishing, 2020.
- [20] B. Koo e M. Fischer, *Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction*, vol. 126, n. 4. 2000.
- [21] D. Carreiró, *Aplicação da Metodologia BIM a um Caso de Estudo através do software Autodesk Navisworks*. Instituto Superior De Engenharia de Lisboa, 2017.

- [22] F. Pinho, *Norma BIM Portuguesa*. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, 2015.
- [23] M. E. A. Arnaldo, *20 Anos Na Construção Civil*. Instituto Politécnico de Tomar.
- [24] J. Martins, *Factores de Competitividade nas Empresas de Construção Civil: uma análise comparada entre uma empresa portuguesa e uma francesa*. Universidade de Aveiro, 2008.
- [25] T. Romão, *Evolução do Sector da Construção em Portugal: Aplicação do Modelo Structure - Conduct - Performance*. Instituto Superior Técnico, 2015.
- [26] P. R. Soares, «O futuro da engenharia civil também passa pela revolução digital», *Jornal de Negócios*, 2018. <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/detalhe/o-futuro-da-engenharia-civil-tambem-passa-pela-revolucao-digital> (acedido Mar. 02, 2021).
- [27] C. Mota, *Modelo 4D do planeamento da construção apoiado na tecnologia BIM*. Instituto Superior Técnico, 2015.
- [28] IPQ, «Instituto Português da Qualidade - Normalização», 2021. http://www1.ipq.pt/pt/normalizacao/comissoestecnicas/Pages/Comissoes_Tecnicas.aspx (acedido Mar. 04, 2021).
- [29] P. Ferreira, *Do início do ciclo à vida do edifício à gestão de informação : BIM - metodologia e estudo de um caso*. 2017.
- [30] J. Vinagre, *O Impacto das Inovações Sistémicas na Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção: O Caso BIM - Building Information Modeling*. Universidade de Lisboa - Lisbon School of Economics and Management, 2019.
- [31] A. Costa e M. Azenha, *Livro de Atas do 2º Congresso português de Building Information Modelling*. 2018.
- [32] CT197, «Comissão Técnica de Normalização BIM -Missão», 2021. <http://www.ct197.pt/index.php/homepage/visao-ct197> (acedido Mar. 04, 2021).
- [33] M. Pereira, *Implementação do BIM nas Organizações: Práticas e Sugestões para a Implementação*. Universidade do Minho, 2016.
- [34] J. Pontes, *Modelo de Maturidade BIM para a Indústria Nacional*. Instituto Superior Técnico - Lisboa, 2016.
- [35] P. Taborda e N. Cachadinha, *BIM nas obras públicas em Portugal: Condicionantes para uma implementação com sucesso*. 2012.
- [36] J. Couto e J. Teixeira, *As Consequências do Incumprimento dos Prazos para a Competitividade da Indústria de Construção – Razões para os Atrasos*. Universidade do Minho, 2005.
- [37] Al. Meira, *Direção de Obra - Preparação Individual: A Internacionalização*. FEUP, 2012.
- [38] V. Ferreira, *Procedimento de Preparação e Acompanhamento de Obra*. Instituto Superior Técnico - Lisboa, 2008.
- [39] J. A. Faria, *Gestão de Obras e Segurança*. FEUP, 2013.
- [40] A. Silva, *Metodologia BIM, aplicada à preparação, controlo e gestão de obra*. ISEP, 2012.
- [41] H. Dias e J. Martins, *Gestão e Direcção de Obra Uma versão simples e unificada*. Universidade Fernando Pessoa, 2008.
- [42] M. Junior, *BIM 4D e 5D - Planeamento e Orçamentação*. ISEP, 2016.
- [43] D. Coelho, *Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planeamento, preparação e monitorização de obras*. Universidade do Minho, 2016.

- [44] J. Semedo, *Direcção de obra fora de Portugal: preparação individual*. FEUP, 2009.
- [45] M. Babo, *A Lean Construction e a Gestão Económica de Empreitadas*. FEUP, 2008.
- [46] D. Gouveia, *Planeamento da Execução de Uma Obra e a Sua Relevância no Mercado*. Universidade da Madeira, 2011.
- [47] D. Mendes, *Construção de edifícios – Preparação inicial de obra – Estudo de caso*. FEUP, 2009.
- [48] A. Fernandes, *Planeamento e Acompanhamento de Obra - Estágio na Exsepi*. ISEC, 2012.
- [49] P. Sousa, *Gestão de Projectos Modelo para gestão e controlo de custos de obras de construção civil*. Universidade da Madeira, 2012.
- [50] A. J. S. Tavares, *Controlo de Custos na Construção na Ótica do Dono de Obra*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico de Bragança, 2015.
- [51] N. Sousa, *Gestão de Projetos na Construção - Modelo de avaliação do desempenho em projectos*, n. 0. Instituto Superior Técnico, 2008.
- [52] A. Silva, *Classificação e organização de objetos BIM e sua aplicação em modelos 4D e 5D*. Universidade do Minho, 2015.
- [53] Doka, «Sistema de andaime modular - Instruções para montagem e utilização», 2018.
- [54] ACT, «Ficha de Segurança - Andaimos», 2002.
- [55] EDA, *Ficha de procedimentos – Prevenção de riscos*. Açores, 2010.
- [56] METALUSA, «Catálogo Andaime Multidirecional: Sistema Adapt». http://www.metaliberica.pt/wp-content/uploads/2018/07/Catalogo_Adapt.compressed.pdf (acedido Set. 06, 2021).
- [57] A. P. de S. APSEI, «Segurança no Trabalho». <https://www.apsei.org.pt/areas-de-atuacao/seguranca-no-trabalho/trabalhos-em-altura/> (acedido Mar. 09, 2021).
- [58] R. Rodrigues, *Previsão da Probabilidade de Acidentes Não Fatais na Construção*. FEUP, 2009.
- [59] ACT, «Estatística de Acidentes de Trabalho Graves», 2021. [https://www.act.gov.pt/\(pt-pt\)/centroinformacao/estatistica/paginas/acidentesdetrabalhograves.aspx](https://www.act.gov.pt/(pt-pt)/centroinformacao/estatistica/paginas/acidentesdetrabalhograves.aspx) (acedido Mai. 18, 2021).
- [60] *Decreto nº 41821*. 1958.
- [61] BS-EN12811-1:2003, *Temporary works equipment — Part 1: Scaffolds*. 2003.
- [62] H. Ribeiro, *Segurança na Reabilitação de Edifícios - ênfase na Demolição*. FEUP, 2019.
- [63] Disset Odiseo, «Andaime modelo marte para varandas». <https://www.dissetodiseo.com/pt/produto/andaime-modelo-marte-para-varandas/> (acedido Jun. 15, 2021).
- [64] Systema Vertical, «Elevadores Monta-Cargas». <https://www.systema-vertical.pt/elevadores-monta-cargas/> (acedido Jun. 15, 2021).

Bibliografia elaborada com a formatação IEEE.

ANEXOS

Anexo A – Fichas de Obra

Anexo B – Código IronPython: Estimação nº de andaimes por altura

Anexo C – Código IronPython: Estimação nº de andaimes por comprimento

Anexo D – Código IronPython: Estimação dos custos

Anexo E – Resultados obtidos no caso prático Hotel Aliados Plaza

Anexo F – Resultados obtidos no caso prático ERPI Bonfim

Anexo G – Resultados obtidos no caso prático Palmares Resort

ANEXO A

FICHAS DE OBRA
(TCL-PARQUE DE CONTENTORES LEIXÕES A EB. ARQ.
GONÇALO RIBEIRO)

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra		Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
		Fachadas	Interiores						
0230 - TCL - Parque de Contentores Leixões (Apenas o Exterior do Edifício da Adminstração e Interiores do Edifício de manutenção)		1520 m2 (Edifício de Administração)	320 m2 (alvenarias interiores edifício de manutenção)	*Edifício Manutenção: estrutura metálica e painéis metálicos - no exterior não utilizou andaime; *Edifício Administração: Fachada ventilada (Sistema Equitone) e fachada em zinco;	Edifício Manutenção: alvenarias interiores; Edifício Administração: fachada ventilada;	Sim, + 8,8 meses	Aplicável (o andaime ficou em obra cerca de mais dois meses, a fachada apresentou atrasos devido a demora na produção da empresa contratante)	8,3 meses (Zona dos edifícios)	Obra concluída

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									A comercial não considerou necessidade de andaimes.
0	0%	0,00	0 Meses	- €	- €	- €	- €	- €	
Reorçamento 2									
1500	100%	1500	5 Meses	0,040 €	9 000,00 €	4,00 €	6 000,00 €	15 000,00 €	
Realidade em obra									No edifício da administração apenas se montou 50% das fachadas com andaimes, pois utilizou-se plataformas articuladas para executar o resto dos trabalhos na fachada. No edifício de manutenção não se utilizou andaimes pois como é uma estrutura metálica revestida com paineis, foram utilizados equipamentos pontuais de elevação.
1520	54%	818,52	7 Meses	0,035 €	6 016,12 €	3,15 €	2 578,34 €	11 696,34 €	
					3 101,88 €				

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra		Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
		Fachadas	Interiores						
0233 - Ed. Gondarém - Porto		490	32,84 (caixa de escadas, acesso claraboias)	Capoto	Acabamentos exteriores (capoto)	Sim, + 5,2 meses	Não aplicável (a obra teve parada cerca de 1 mês devido à chuva que não permitiu terminar os trabalhos na fachada)	16 meses	Fase de acabamentos interiores

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									Quantidades estimadas
1098,222	100%	1098,22	5 Meses	0,030 €	4 942,00 €	3,00 €	3 294,67 €	8 237,00 €	
Reorçamento 2									Quantidades estimadas
555,555	100%	555,56	5 Meses	0,030 €	2 500,00 €	10,80 €	6 000,00 €	8 500,00 €	
Realidade em obra									Inicialmente tinham previsto em contrato 128 dias, no entanto derivado às condições climáticas o andaime esteve em obra 210 dias (+82dias). Acrescentou-se ainda valores de andaime no elevador, andaime no monta autos e na caixa de escadas, acesso claraboias
490	100%	490,00	4 Meses	0,030 €	1 808,10 €	4,50 €	2 205,00 €	7 613,10 €	
490	100%	490,00	82 Dias	0,030 €	1 205,40 €				
vg (vários)			3 Meses		2 394,60 €				

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra	Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra	
	Fachadas	Interiores							
0235 - Aliados Plaza Hotel		4186,18	0	Painel GRC, Capoto, Restauro da fachada	Paredes de betão	sim, + 45 dias	Não aplicável (a prorrogação foi para a fase de contenção, aquando da realização dos muros de berlim)	24 meses	Em execução

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									
2400	50%	1200,00	9 Meses	0,035 €	11 340,00 €	3,50 €	8 400,00 €	19 740,00 €	
Reorçamento 3 (realizado com base no orçamento do Tubos Vouga)									
4186,18				0,030 €	19 438,02 €	3,90 €	17 482,08 €	36 920,10 €	(Ver tabela da obra)
Realidade estimada para obra									
4186,18	58%	2407,05	9 Meses	0,030 €	19 438,02 €	3,90 €	17 482,08 €	36 920,10 €	Valores médios mensais

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra						
Obra	Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
	Fachadas	Interiores						
0237 - ERPI Sintra	7200	800 (escadas e duas torres nas pontas da obra)	Fachada e tectos com Pedra	Alvenarias / Caixa de escadas	sim, + 2,4 meses	Aplicável (a obra apresenta um atraso na fase de acabamentos)	21 meses	Em execução

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									
6000	50%	3000,00	11 Meses	0,040 €	39 600,00 €	4,00 €	24 000,00 €	63 600,00 €	
Reorçamento 2									
8000	25%	2000,0	4 Meses	0,030 €	7 200,00 €	1,98 €	9 127,80 €	68 811,00 €	Valores estimados
8000	77%	6160	8 Meses	0,030 €	44 352,00 €	1,32 €	8 131,20 €		
Realidade estimada para obra									No reorçamento foi considerado que só se iria montar 6155 como valor máximo mas, na realidade, eles pretendem 8000m2. Neste momento, no mercado, não há essa quantidade total disponível.
8000	51%	4080,00	13 Meses	0,030 €	47 736,00 €	3,30 €	26 400,00 €	74 136,00 €	

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra						
Obra	Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
	Fachadas	Interiores						
0240 - ERPI Bonfim	3720	0	Sistema ETICS e placas de aço	Acabamentos exteriores da fachada	Não	-	16 meses	Em execução

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									
3500	50%	1750,00	8 Meses	0,035 €	14 700,00 €	5,00 €	17 500,00 €	32 200,00 €	
Reorçamento 1									
3720	100%	3720	7 Meses	0,035 €	27 342,00 €	3,75 €	13 950,00 €	41 292,00 €	
Realidade estimada para obra - sem dados									

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra		Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra
		Fachadas	Interiores						
0244 - ERPI Braga		2800,00	0	Maioritariam/ granito, reboco pintado, betão à vista e revestimento cerâmico	Acabamentos exteriores da fachada (out/nov 2021)	Não	-	24 meses	Fase de escavação

ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									
2800	100%	2800,00	20 Meses	0,040 €	67 200,00 €	2,00 €	5 600,00 €	72 800,00 €	
Reorçamento 1									
2800	100%	2800	11 Meses	0,040 €	36 960,00 €	3,75 €	10 500,00 €	47 460,00 €	
Realidade estimada para obra - expectativa direção de obra quanto a quantidades									(Admitindo os valores/pressupostos reorçamento. A direção de obra tem uma fachada em betão pronto pelo que retirou essas quantidades da necessidade de andaimes)
1998,47	100%	1998,47	11 Meses	0,040 €	26 379,80 €	3,75 €	7 494,26 €	33 874,07 €	

ACA GRUPO		Fichas da obra: Descrição da obra							
Obra	Quantidades totais m²		Tipo de acabamentos da fachada	Momento de arranque dos andaimes	Prorrogação do prazo	Efeitos da Prorrogação em obra	Duração contratual da obra	Fase da obra	
	Fachadas	Interiores							
0251 - EB Arq. Gonçalo Ribeiro		4941,49	0			Não	-	24 meses (contratual) + 12 meses (manutenção espaços verdes)	A arrancar
ACA GRUPO		Fichas da obra: Quantidades e Orçamento							
Quantidades total de andaimes m²	Pressuposto	Quantidade considerada m²	Duração	Valor aluguer	Valor total aluguer	Valor Montagem / Desmontagem	Valor total Montagem / Desmontagem	Valor total para andaimes	Comentários
Fase comercial									(Quantidades admitidas)
5714,286	50%	2857,14	15 Meses	0,035 €	45 000,00 €	1,02 €	5 808,00 €	50 808,00 €	
Reorçamento 0									
Realidade estimada para obra - expectativa direção de obra quanto a quantidades									(Admitindo os valores/pressupostos do orçamento)
4941,49	50%	2470,745	15 Meses	0,035 €	38 914,23 €	3,75 €	18 530,59 €	57 444,82 €	

ANEXO B

CÓDIGO IRONPYTHON: ESTIMAÇÃO Nº DE ANDAIMES POR ALTURA

#Load the Python Standard and DesignScript Libraries

```
import sys
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import*
import System.Collections.Generic
```

#Definir variáveis

```
h_surface = IN[0]
hmin = IN[1]
h_scaff = IN[2]
safety = IN[3]
elements = IN[4]
scaff1 = IN[5]
scaff2 = IN[6]
```

```
flag_dict_h = False
wall_N = len(h_surface)
```

```
i = 0
```

#Definir vetores

```
scaff1_h_N = [0]*wall_N
scaff2_h_N = [0]*wall_N
scaff1_h_per = [0]*wall_N
scaff2_h_per = [0]*wall_N
scaff_h_3 = [0]*wall_N
scaffs = [0]*wall_N
h_max = [0]*wall_N
L1 = [0]*wall_N
L2 = [0]*wall_N
L = [0]*wall_N
```

#Cálculo

```
while (i <= (wall_N - 1) ):
```

```
    h_max[i] = h_surface[i] + safety
```

```
    if elements[i][0] == scaff1:
        if h_max[i] >= hmin:
            n = h_scaff[0]
            while (n <= h_max[i]):
                scaff1_h_N[i] += 1
                n += h_scaff[0]
```

```
    elif elements[i][0] == scaff2:
        if h_max[i] >= hmin:
            n = h_scaff[1]
            while (n <= h_max[i]):
                scaff2_h_N[i] += 1
                n += h_scaff[1]
```

```
    i += 1
```

```
i = 0
```

```
for n in scaff1_h_N:
```

```
    if n != 0:
        diff = h_max[i] - (n*h_scaff[0])

        if diff <= 1.5 and diff > 0:
            scaff1_h_per[i] = round(diff,2)

        elif diff > 1.5 :
            scaff1_h_per[i] = 2
    i += 1
i = 0

for n in scaff2_h_N:

    if n != 0:
        diff = h_max[i] - (n*h_scaff[1])

        if diff <= 2 and diff > 0:
            scaff2_h_per[i] = round(diff,2)

        elif diff > 2 :
            scaff2_h_per[i] = 3
    i += 1
i = 0

while (i <= (wall_N-1)):

    L1[i] = [scaff1_h_N[i],scaff1_h_per[i]]
    L2[i] = [scaff2_h_N[i],scaff2_h_per[i]]

    if L1[i][0] != 0 and L1[i][1] != 0:
        L[i]=L1[i]

    elif L1[i][0]== 0 and L1[i][1] == 0:
        L[i] = L2[i]

    i +=1
```


ANEXO C

CÓDIGO IRONPYHTON: ESTIMAÇÃO Nº DE ANDAIMES POR COMPRIMENTO


```
import sys
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import*
import System.Collections.Generic
```

#Definir variáveis

```
l_surface = IN[0]
sm = IN[1]
wall_L = len(l_surface)
measures = len(sm)
list_l_scaff = [0] * measures
L = [0]*wall_L
list_l_scaff = [0] * measures
```

```
i = 0
```

#Cálculo

```
while (i <= (wall_L - 1)):

    l_surface_tmp = l_surface[i]

    #1
    # Scaff with L = 3.07m
    if l_surface_tmp > sm[4]:
        while (l_surface_tmp > sm[4]):
            list_l_scaff[measures - 1] += 1
            l_surface_tmp -= sm[5]

    #2
    # Scaff with L = 2.57m
    if l_surface_tmp <= sm[4] and l_surface_tmp > sm[3]:
        while (l_surface_tmp <= sm[4] and l_surface_tmp > sm[3]):
            list_l_scaff[measures - 2] += 1
            l_surface_tmp -= sm[4]

    #3
    # Scaff with L = 2.07m
    if l_surface_tmp <= sm[3] and l_surface_tmp > sm[2]:
        while (l_surface_tmp <= sm[3] and l_surface_tmp > sm[2]):
            list_l_scaff[measures - 3] += 1
            l_surface_tmp -= sm[3]

    #4
    # Scaff with L = 1.57m
    if l_surface_tmp <= sm[2] and l_surface_tmp > sm[1]:
        while (l_surface_tmp <= sm[2] and l_surface_tmp > sm[1]):
            list_l_scaff[measures - 4] += 1
            l_surface_tmp -= sm[2]

    #5
    # Scaff with L = 1.07m
    if l_surface_tmp <= sm[1] and l_surface_tmp > sm[0]:
        while (l_surface_tmp <= sm[1] and l_surface_tmp > sm[0]):
            list_l_scaff[measures - 5] += 1
            l_surface_tmp -= sm[1]

    #6
```

```
# Scaff with L <= 0.73m
if l_surface_tmp <= sm[0] and l_surface_tmp > 0:
    while (l_surface_tmp <= sm[0] and l_surface_tmp > 0):
        list_l_scaff[measures - 6] += 1
        l_surface_tmp -= sm[0]

list_l_scaff[0] = list_l_scaff[0]
list_l_scaff[1] = list_l_scaff[1]
list_l_scaff[2] = list_l_scaff[2]
list_l_scaff[3] = list_l_scaff[3]
list_l_scaff[4] = list_l_scaff[4]
list_l_scaff[5] = list_l_scaff[5]

L[i] = list_l_scaff
```


ANEXO D

CÓDIGO IRONPYHTON: ESTIMAÇÃO DOS CUSTOS


```

Import sys
import clr
clr.AddReference('ProtoGeometry')
from Autodesk.DesignScript.Geometry import*
import math

```

#Definir Variáveis:

```

height = IN[0]
length = IN[1]
elements = IN[2]
scaff_rent= IN [3]
c_MeD = IN[4]
temp= IN[5]
elements = IN[6]
type=IN[7]
teams=IN[8]
rot=IN[9]

```

```

measures = length[1]
lengths = length [0]
dim = len(elements)
cost=[0]*dim
costTM=[0]*dim
areas = [0]*dim
duration = [0]*dim

```

```

heights = height [0]
scaff_type = height [1]
scaff1=height [2]
scaff2=height [3]

```

```

flag_fachada=0
flag_multi=0
areaT = 0
durationT = 0

```

```

i = 0

```

#Cálculo:

```

while (i <= (dim - 1)):
    if elements [i][0] == scaff1:

        flag_fachada =1
        h = (heights[i][0] *scaff_type[0]) + heights[i][1] # scaffolding height
        c = (lengths[i][0] * measures [0]) + (lengths[i][1] *measures [1]) + (lengths[i][2] *
        measures [2]) + (lengths[i][3] * measures [3]) + (lengths[i][4] * measures [4]) +
        (lengths[i][5] * measures [5]) # scaffolding length
        areas [i] = c*h

    elif elements [i][0] == scaff2
        flag_multi=1
        h = (heights[i][0] *scaff_type[1]) + heights[i][1] # scaffolding height
        c = (lengths[i][0] * measures [0]) + (lengths[i][1] * measures [1]) + (lengths[i][2] *
        measures [2]) + (lengths[i][3] * measures [3]) + (lengths[i][4] * measures [4]) +
        (lengths[i][5] * measures [5])
        areas [i] = c*h

```

```
areaT = math.fsum(areas)

if type[i] == "Alta":
    rendimento = 10
    duration[i] = areas[i] / (teams[i] * rendimento)

elif type[i] == "Média":
    rendimento = 21
    duration[i] = areas[i] / (teams[i] * rendimento)

elif type[i] == "Baixa":
    rendimento = 50
    duration[i] = areas[i] / (teams[i] * rendimento)

durationT = math.fsum(duration)

if flag_fachada == 1:
    cost[i] = areas[i] * (scaff_rent[0] + (c_MeD[0] * durationT * rot))

elif flag_multi == 1:
    cost[i] = areas[i] * (scaff_rent[1] + (c_MeD[1] * durationT * rot))

i+=1

flag_multi=0
flag_fachada=0
```

ANEXO E

RESULTADOS OBTIDOS NO CASO PRÁTICO HOTEL ALIADOS PLAZA

Type	ID	Height	Length	Area	N	Altura Residual	Comprimento de 0.73m	Comprimento de 1.07m	Comprimento de 1.57m	Comprimento de 2.07m	Comprimento de 2.57m	Comprimento de 3.07m	Area Andaime	Cost
S_8	364756	3,47	15,332213	50,902947	2	0,97	0	0	0	0	0	5	76,2895	301,748614
S_8	365959	3,47	8,23335081	27,3347247	2	0,97	0	0	0	0	1	2	43,2887	172,578809
S_8	366212	3,47	3,35	11,122	2	0,97	1	0	0	0	0	0	18,886	75,5513003
S_8	366630	3,87	2,25999993	7,50319975	2	1,37	0	0	0	0	1	1	13,8009	55,3470217
S_8	367544	3,47	2,56167347	8,5173551	2	0,97	0	0	0	0	1	0	12,7729	51,3426201
S_8	368026	3,47	3,00901208	9,9899201	2	0,97	0	0	0	0	0	1	15,2579	61,5002392
S_8	368392	3,47	10,1078742	32,8941424	2	0,97	0	1	0	0	0	3	51,0916	207,828159
S_8	371721	3,95	2,4	8,45	2	1,45	0	0	0	0	1	0	14,0065	57,1172555
S_8	372727	3,95	2,4	7,15	2	1,45	0	0	0	0	1	0	14,0065	57,2594875
S_8	373548	3,95	2,4	7,15	2	1,45	0	0	0	0	1	0	14,0065	57,4017195
S_8	374724	3,47	2,06	6,8392	2	0,97	0	0	0	1	0	0	10,2879	42,238813
S_5	403777	31,71	1,86	58,9806	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	285,669887
S_5	403779	31,71	2,03499993	64,5298477	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	289,096117
S_5	403783	31,71	1,86	58,9806	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	292,522346
S_5	403785	31,71	2,03076546	64,3955727	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	295,948576
S_8	422814	2,65	2,49594605	5,97472824	2	0,15	0	0	0	0	1	0	10,6655	45,9978582
S_8	424368	3	12,212213	32,8923643	2	0,5	0	0	0	0	0	4	55,26	240,53763
S_8	424567	2,65	4,22128428	10,6564034	2	0,15	0	1	0	0	0	1	19,256	84,0870049
S_8	465242	3,47	10,0164504	35,1040828	2	0,97	0	1	0	0	0	3	51,0916	224,999049
S_8	465689	2,4	2,4	7,923	1	2	0	0	0	0	1	0	10,28	45,3480553
S_8	466364	4,8	2,4	12,48	3	0,3	0	0	0	0	1	0	16,191	71,6132448
S_8	470312	4,8	2,2	9,6	3	0,3	0	0	0	0	1	0	16,191	71,8033025
S_8	470402	4,8	2,2	9,6	3	0,3	0	0	0	0	1	0	16,191	71,9933601
S_8	471140	3,74	5,11259493	18,878105	2	1,24	0	0	0	1	0	1	26,9336	120,286312
S_8	471310	3,74	4,70385546	17,3494194	2	1,24	0	0	0	1	0	1	26,9336	120,81224
S_5	559131	10,95	3,095	33,89025	6	0,45	1	0	0	0	0	1	47,31	213,834497
S_4	563245	3,72	18,4583969	68,6652364	2	1,22	1	0	0	0	0	6	99,963	459,063234
S_8	662881	2,65	2,49594605	5,08825231	2	0,15	0	0	0	0	1	0	10,6655	49,0619825
S_8	662985	2,65	2,49594605	5,08825231	2	0,15	0	0	0	0	1	0	10,6655	49,1444533
S_8	663070	2,65	2,49594605	5,08825231	2	0,15	0	0	0	0	1	0	10,6655	49,2269241
S_8	663215	2,65	2,49594605	5,97472824	2	0,15	0	0	0	0	1	0	10,6655	49,309395
S_8	663671	1,7	12,212213	20,420762	1	1,2	0	0	0	0	0	4	39,296	182,795209
S_8	663863	1,7	12,212213	20,420762	1	1,2	0	0	0	0	0	4	39,296	183,914737
S_5	674667	2,47	2,2691864	5,6048904	1	2	0	0	0	0	1	0	10,28	48,1894907
S_8	697751	3	4,22128428	12,6638529	2	0,5	0	0	1	0	0	1	20,88	99,1951249
S_8	698203	3	12,212213	32,3623643	2	0,5	0	0	0	0	0	4	55,26	262,092386
S_8	698669	3	4,22128428	12,0638529	2	0,5	0	1	0	0	0	1	20,88	99,3477322
S_5	721997	6,27	3,56036731	22,950503	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	145,314224
S_5	722315	6,045263158	2,98192975	17,4220238	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	117,835912
S_4	759177	3,7	14,7487523	54,5133836	2	1,2	0	0	0	0	1	4	77,22	374,815351
S_4	759626	3,13	3,69160652	11,5547284	2	0,63	1	0	0	0	1	1	17,594	85,6233
S_4	760155	2,71	3,72338925	10,0903849	2	0,21	1	0	0	0	0	1	15,998	78,0417292
S_4	771429	14,62	1,807	27,88034	8	0,12	0	0	1	0	0	0	33,3684	163,585576
S_3	780772	21,35	0,80000694	24,4666093	11	0,85	0	1	0	0	0	0	24,4495	120,294861
S_3	781007	21,35	4,36964012	97,4512844	11	0,85	0	1	0	0	0	1	106,024	529,80227
S_3	781359	21,35	0,75424775	14,3344085	11	0,85	0	1	0	0	0	0	24,4495	122,607619
S_3	781794	21,35	0,80000695	24,4666096	11	0,85	0	1	0	0	0	0	24,4495	123,041009
S_3	781822	21,35	0,75424772	20,295454	11	0,85	0	1	0	0	0	0	24,4495	123,474398
S_5	796947	31,71	1,94790215	55,4259772	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	350,5994
S_5	797106	31,71	2,34	74,2014	16	1,21	0	0	0	0	1	0	85,3497	440,566559
S_5	797108	31,71	1,74790215	55,4259772	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	358,27945
S_5	797110	31,71	2,33999978	74,2013929	16	1,21	0	0	0	0	1	0	85,3497	450,101695
S_5	801482	8,048286628	3,10209285	24,9665324	4	2	1	0	0	0	0	1	38	201,444375
S_5	802244	6,73	6,99986899	47,1091183	4	0,23	1	0	0	0	0	2	59,3383	317,115033
S_5	802962	8,05	5,30057061	41,8645934	4	2	0	0	0	0	1	1	56,4	303,718401
S_5	803681	31,71	2,00598781	61,4019889	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	373,621804
S_5	803689	31,71	1,94809174	61,7739889	16	1,21	0	0	0	1	0	0	68,7447	377,048033
S_5	807133	11,39	5,51996294	61,4808778	6	0,89	0	0	0	0	1	1	72,6996	402,571495
S_5	807135	11,66	3,0746522	35,8504447	6	1,16	1	0	0	0	0	1	50,008	278,730633

Construção de Algoritmo de Gestão e Otimização de Soluções de Andaime com Recurso à Metodologia BIM

S_5	807503	7,9	5,62377008	43,6377836	4	1,4	0	0	0	0	1	1	53,016	297,53414
S_5	808203	31,71	4,15	137,9385	16	1,21	0	0	1	0	0	1	154,0944	882,017223
S_4	830145	11,27	1,71727133	19,3441726	6	0,77	0	0	0	1	0	0	26,4339	151,810958
S_6	834258	3,73	9,915	32,98145	2	1,23	1	0	0	0	0	3	51,9862	300,518211
S_6	840249	4,42	0,92667508	4,09590384	2	2	0	1	0	0	0	0	6,42	37,1421715
S_6	842966	11,64	1,84793385	22,10245	6	1,14	0	0	0	1	0	0	27,1998	157,89769
S_4	845512	3,01	3,01361061	9,37196792	2	0,51	0	0	0	0	0	1	13,8457	80,5147249
S_4	849137	17,63	11,8105589	208,220154	9	1,13	0	0	0	0	0	4	234,9164	1406,08209
S_4	855010	14,62	2,98641295	45,1233574	8	0,12	0	0	0	0	0	1	49,4884	297,986306
S_4	856954	14,62	4,57745014	63,998321	8	0,12	0	0	1	0	0	1	74,7968	454,432755
S_6	857320	3,21	9,91502838	27,6916074	2	0,71	1	0	0	0	0	3	46,8174	286,031221
S_6	859002	3,62	0,82389814	3,26251124	2	1,12	0	1	0	0	0	0	5,4784	33,492081
S_6	859103	3,21	0,9111788	2,92488393	2	0,71	0	0	0	0	0	0	5,0397	30,828512
S_4	888086	3,72	18,4483459	68,6278468	2	1,22	1	0	0	0	0	6	99,963	618,731538
S_3	889645	14,62	4,76	69,5672	8	0,12	0	0	0	1	0	1	82,8568	517,828214
S_6	916406	11,11	2,56040222	28,9190288	6	0,61	0	0	0	0	1	0	32,4077	203,299086
S_5	919871	0,96	2,49860047	2,39865646	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S_5	923786	3,76	1,81238662	6,43857367	2	1,26	0	0	0	1	0	0	10,8882	68,3895055
S_5	924640	3,62	2,14722232	7,4109448	2	1,12	0	0	0	1	0	0	13,1584	82,7743111
S_6	938298	3,55	2,06010581	7,31401187	2	1,05	0	0	1	0	0	0	10,4535	65,8380755
S_6	938461	2,88	1,66707365	4,53980017	2	0,38	0	0	0	1	0	0	9,0666	57,1627203
S_6	1026795	10,99	1,47262598	18,8660514	6	0,49	0	0	1	0	0	0	19,6093	123,910674
S_6	1027017	10,99	0,69946649	7,23520649	6	0,49	1	0	0	0	0	0	9,1177	57,6747885
S_6	1048749	3,76	9,915	33,0904005	2	1,26	1	0	0	0	0	3	52,2844	332,711331
S_6	1048776	3,76	0,82559513	3,48023769	2	1,26	0	1	0	0	0	0	5,6282	35,837968
S_6	1048778	3,76	0,9111788	3,42603227	2	1,26	0	1	0	0	0	0	5,6282	35,8609335
S_4	1050173	10,7	11,7615665	123,708761	6	0,2	0	0	0	0	1	3	143,716	930,682743
S_1	1206354	24,31832917	27,0987501	658,996326	12	2	0	0	0	0	1	8	705,38	4928,66423
S_2	1206680	18,7	9,76519238	182,609098	10	0,2	1	0	0	0	0	3	200,788	1432,1843
S_5	1209610	31,71	4,15	125,2545	16	1,21	0	0	1	0	0	1	154,0944	1116,34253
S_4	1213169	10,7	4,78059299	51,1384647	6	0,2	0	0	0	1	0	1	62,708	457,141317
S_4	1218570	14,62	3,06786513	43,3901883	8	0,12	0	0	0	0	0	1	49,4884	362,546032
S_3	1219908	21,35	2,53493868	49,9103563	11	0,85	0	0	0	0	1	0	58,7245	432,708795
S_3	1220386	14,62	3,08935575	45,1663811	8	0,12	1	0	0	0	0	1	61,256	454,082452
S_3	1220609	21,35	2,38153468	48,7059706	11	0,85	0	0	0	0	1	0	58,7245	437,816996
S_4	1221769	3,01	7,73303628	22,9754392	2	0,51	0	0	0	1	0	2	37,0271	277,047308
S_6	1223267	14,84	7,87129972	116,117467	8	0,34	0	0	0	1	0	2	134,1514	1016,80652
S_6	1223468	14,84	5,67079231	84,2439852	8	0,34	0	0	0	0	0	2	100,3276	767,735096
S_4	1224186	14,19	2,75724558	40,0389303	7	2	0	0	0	0	0	1	49,12	377,629358
S_4	1224367	14,19	8,03999409	112,680286	7	2	0	0	0	1	0	2	131,36	1022,39197
S_4	1225180	14,62	2,87808137	40,6155497	8	0,12	0	0	0	0	0	1	49,4884	386,950254

ANEXO F

RESULTADOS OBTIDOS NO CASO PRÁTICO ERPI BONFIM

Type	ID	Height	Length	Area	N	Altura Residual	Comprimento de 0.73m	Comprimento de 1.07m	Comprimento de 1.57m	Comprimento de 2.07m	Comprimento de 2.57m	Comprimento de 3.07m	Area Andaime	Cost
S_1	410811	3,35	87,1	291,9525	2	0,85	0	0	1	0	0	28	424,5205	1854,77
S_6	410915	9,96	87,1	868,014	5	1,46	0	0	1	0	0	28	1003,0938	5849,98
S_2	411576	13,91	87,1	1212,2565	7	1,41	0	0	1	0	0	28	1348,8373	10519,57
S_4	411906	13,91	16,6	229,91	7	1,41	0	0	1	0	0	5	260,7372	2132,63
S_5	412205	7,3	87,1	635,8	4	0,8	0	0	1	0	0	28	770,264	7165,41
S_8	413458	3,881	13,89	53,90709	2	1,38	0	0	0	1	0	4	77,203	726,88
S_8	413616	3,881	13,89	53,90709	2	1,38	0	0	0	1	0	4	77,203	735,57
S_8	413709	3,881	34,72	134,36022	2	1,38	0	1	0	0	0	11	187,4392	1837,10
S_8	414308	3,881	34,72	135,13642	2	1,38	0	1	0	0	0	11	187,4392	1888,34
S_3	416410	3,35	17,5	58,29	2	0,85	0	0	0	0	1	5	86,912	886,60

ANEXO G

RESULTADOS OBTIDOS NO CASO PRÁTICO PALMARES RESORT

Construção de Algoritmo de Gestão e Otimização de Soluções de Andaime com Recurso à Metodologia BIM

Type	ID	Height	Length	Area	N	Altura Residual	Comprimento de 0.73m	Comprimento de 1.07m	Comprimento de 1.57m	Comprimento de 2.07m	Comprimento de 2.57m	Comprimento de 3.07m	Area Andaime	Cost
S_4	320419	5,64	9,696167823	55,25584981	3	1,14	1	0	0	0	0	3	70,9716	501,84
S_4	320451	5,64	5,632699623	32,09200285	3	1,14	0	0	0	0	1	1	40,2696	286,37
S_4	320461	5,64	2,250637382	12,70083077	3	1,14	0	0	0	0	1	0	18,3498	130,83
S_4	320491	5,64	2,00000283	11,28001596	3	1,14	0	0	0	1	0	0	14,7798	105,59
S_4	320509	5,34	0,738580155	4,047779034	3	0,84	0	1	0	0	0	0	7,3188	52,34
S_4	320523	5,34	5,197596488	27,95600818	3	0,84	0	0	0	0	1	1	38,5776	277,38
S_4	322500	5,13	18,87753212	63,3389252	3	0,63	1	0	0	0	0	6	126,9645	929,03
S_4	324427	5,13	18,87700762	63,33849841	3	0,63	1	0	0	0	0	6	126,9645	945,15
S_5	324895	3,34	6,992503498	20,11496721	2	0,84	0	1	0	0	0	2	34,8964	260,99
S_5	324943	2,53	4,826015816	11,44859171	2	0,03	0	0	0	1	0	1	20,7142	155,35
S_6	325438	1,331001217	3,408849052	5,392820086	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0,00
S_5	325883	3,34	5,841836765	17,55869031	2	0,84	0	0	0	0	0	2	29,7176	223,76
S_5	326245	2,53	10,26982496	20,84603501	2	0,03	0	1	0	0	0	3	41,4284	313,65
S_5	326280	2,53	1,731230455	2,456733405	2	0,03	0	0	0	1	0	0	8,3421	63,23
S_0	682048	6,5	5,593321349	36,44145015	3	2	0	0	0	0	1	1	45,12	344,01
S_0	682229	6,44	8,104792073	51,550317	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	505,09
S_0	682252	6,44	6,9124446	44,56910668	3	2	0	1	0	0	0	2	57,68	446,89
S_0	682444	7,49	1,230946797	14,01122583	4	0,99	0	0	1	0	0	0	14,1143	109,55
S_0	682469	7,49	2,6	20,53087749	4	0,99	0	0	0	0	0	1	27,5993	214,98
S_0	682509	7,49	5,8	42,92528356	4	0,99	0	0	0	0	0	2	55,1986	433,02
S_0	682534	6,44	8,255960397	53,82500615	3	2	0	0	0	0	1	2	69,68	551,47
S_2	682875	7,39	4,39999038	33,27125791	4	0,89	0	0	1	0	0	1	41,2496	328,17
S_1	682927	6,09	2,42347185	15,41822377	3	2	0	0	0	0	1	0	20,56	163,99
S_0	683156	9,24	3,02660724	28,14597795	5	0,74	0	0	0	0	0	1	32,9718	264,08
S_2	683545	6,74	1,972220982	12,18866138	4	0,24	0	0	0	1	0	0	17,0568	136,90
S_2	683578	6,74	2,172311814	19,29670264	4	0,24	0	0	0	0	1	0	21,1768	170,42
S_2	683656	7,39	6,009772639	43,67492684	4	0,89	0	0	0	0	0	2	54,5846	442,24
S_2	684079	6,55	1,276246274	8,923271623	4	0,05	0	0	1	0	0	0	12,6385	102,56
S_3	684110	3,43	2,61991843	8,659416798	2	0,93	0	0	0	0	0	1	15,1351	123,04
S_3	684134	6,39	8,106563794	52,4505164	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	538,28
S_3	684505	2,8	1,976173512	5,262598968	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	73,03
S_2	684637	4,59	2,27	9,980564569	3	0,09	0	0	0	0	1	0	15,6513	128,65
S_2	684864	7,59	4,295248695	32,63699996	4	1,09	0	0	1	0	0	1	42,1776	348,48
S_2	684993	7,39	3,205393289	23,72296851	4	0,89	1	0	0	0	0	1	33,782	280,25
S_1	685567	8,89	4,5	40,005	5	0,39	0	0	1	0	0	1	48,2096	402,27
S_2	685714	7,39	3,598283403	26,59131435	4	0,89	1	0	0	0	0	1	33,782	283,02
S_2	685755	7,59	3,36047359	25,57187206	4	1,09	1	0	0	0	0	1	34,542	290,58
S_2	686032	9,54	3,099888948	31,65776912	5	1,04	1	0	0	0	0	1	41,952	354,68
S_2	686070	9,54	4,451352828	41,5878842	5	1,04	0	0	1	0	0	1	51,2256	435,71
S_3	686093	8,1	4,9	39,69	4	2	0	0	0	1	0	1	51,4	439,83
S_3	686249	4,85	5,31970308	26,32461285	3	0,35	0	0	0	0	1	1	35,814	307,74
S_4	686320	2,96	2,002734487	5,347965639	2	0,46	0	0	0	1	0	0	9,2322	79,42
S_3	687054	7,65	3,101019116	24,10842517	4	1,15	1	0	0	0	0	1	34,77	300,30
S_3	687088	7,65	4,411893102	33,048	4	1,15	0	0	1	0	0	1	42,456	368,49
S_4	687131	6,69	6,108179628	40,91844342	4	0,19	0	0	0	0	0	2	50,2866	438,98
S_4	687153	6,69	6,607959693	44,26050069	4	0,19	1	0	0	0	0	2	56,2653	494,34
S_3	687314	7,65	5,767928723	45,32108212	4	1,15	0	0	0	0	0	2	56,181	496,76
S_3	687335	7,65	2,397357258	21,75139526	4	1,15	0	0	0	0	1	0	23,5155	208,48
S_3	687366	7,65	1,263547118	10,32035622	4	1,15	0	0	1	0	0	0	14,3655	127,56
S_4	687418	2,7	2,494769804	6,479298126	2	0,2	0	0	0	0	1	0	10,794	95,97
S_4	687453	6,69	4,600806399	30,78478962	4	0,19	0	0	1	0	0	1	38,0016	339,31
S_4	687480	6,69	3,967937663	26,55089778	4	0,19	0	1	0	0	0	1	33,9066	303,89
S_5	687550	2,8	1,91131381	5,351678667	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	79,86
S_3	688360	8,1	1,40029416	11,35699748	4	2	0	0	1	0	0	0	15,7	141,10
S_3	688400	8,1	1,375795899	11,20899284	4	2	0	0	1	0	0	0	15,7	141,35
S_0	689341	6,44	10,68833193	68,19149128	3	2	0	0	1	0	0	3	86,24	783,85
S_0	689394	6,19	3,907991152	24,23661305	3	2	0	1	0	0	0	1	33,12	302,13
S_0	689410	6,19	2,767232167	17,1297837	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	224,65
S_0	689431	8,99	3,084257144	28,69853448	5	0,49	1	0	0	0	0	1	39,862	366,20
S_0	689454	8,99	4,4944971	39,57131581	5	0,49	0	0	1	0	0	1	48,6736	449,52
S_2	689487	7,59	5,719410259	43,45103347	4	1,09	0	0	0	0	0	2	55,8126	518,57
S_0	689606	6,44	5,294228072	35,46055856	3	2	0	0	0	0	1	1	45,12	421,25
S_0	689637	6,5	7,946945552	51,01386284	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	617,52
S_0	689714	6,44	3,006448984	19,40306292	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	231,52

S_0	689733	7,49	2,863473278	22,62949136	4	0,99	0	0	0	0	0	1	27,5993	260,93
S_0	689757	7,49	2,399307541	21,59519429	4	0,99	0	0	0	1	0	0	23,1043	218,97
S_0	689780	7,49	1,251773704	10,02707919	4	0,99	0	0	1	0	0	0	14,1143	133,96
S_2	689817	3,37	2,64389022	8,589660705	2	0,87	0	0	0	0	0	1	14,9509	142,13
S_2	689839	6,39	6,12878387	39,45217328	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	469,36
S_2	689869	7,59	2,581974007	19,64798725	4	1,09	0	0	0	0	0	1	27,9063	267,44
S_2	689887	7,59	5,163163098	40,35857601	4	1,09	0	0	0	1	0	1	51,2676	493,94
S_3	689940	2,8	2,16	5,776948895	2	0,3	0	0	0	0	1	0	11,051	106,59
S_3	690745	7,59	2,422158852	21,9412534	4	1,09	0	0	0	0	1	0	23,3613	225,88
S_3	690773	7,59	1,267037239	10,27042275	4	1,09	0	0	1	0	0	0	14,2713	138,19
S_3	690797	3,59	2,851186317	9,893702891	2	1,09	0	0	0	0	0	1	15,6263	151,56
S_3	690828	6,39	4,347293802	27,78013835	3	2	0	0	1	0	0	1	37,12	361,40
S_2	690857	6,39	3,599076965	23,04094101	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	296,90
S_3	690877	7,38	2,999174145	22,18230625	4	0,88	0	0	0	0	0	1	27,2616	266,99
S_3	690909	7,38	2,842364352	22,15913612	4	0,88	0	0	0	0	0	1	27,2616	267,74
S_4	690938	2,3	2,378772624	5,29	1	2	0	0	0	0	1	0	10,28	101,07
S_4	690958	2,3	1,275884808	3,202167199	1	2	0	0	1	0	0	0	6,28	61,78
S_2	691203	6,49	5,678066501	37,56336381	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	485,63
S_2	691223	9,29	3,185318118	29,37117071	5	0,79	1	0	0	0	0	1	41,002	407,05
S_2	691256	9,29	4,59500185	41,805	5	0,79	0	0	1	0	0	1	50,0656	499,54
S_3	691300	7,39	5,183987212	38,33913099	4	0,89	0	0	0	0	1	1	50,1396	502,79
S_3	691355	4,6	5,388326018	25,26803974	3	0,1	0	0	0	0	1	1	34,404	346,18
S_4	691400	2,8	2,049959087	5,739885444	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	89,64
S_3	692033	7,38	2,287518108	16,94345731	4	0,88	0	0	0	0	1	0	22,8216	230,36
S_3	692115	7,4	3,103694279	23,08373726	4	0,9	1	0	0	0	0	1	33,82	342,52
S_3	692136	7,4	8,192171468	59,94	4	0,9	0	0	0	1	0	2	73,069	745,37
S_4	692197	3,52	2,734572713	9,273695949	2	1,02	0	0	0	0	0	1	15,4114	157,45
S_4	692219	6,39	4,300167256	27,47806877	3	2	0	0	1	0	0	1	37,12	380,61
S_4	692271	6,39	3,596989647	23,02689352	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	312,63
S_5	692298	6,39	5,806593063	37,14625934	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	507,55
S_5	692400	7,08	1,806442152	12,83522087	4	0,58	0	0	0	1	0	0	17,7606	183,83
S_5	692433	7,08	7,523273079	53,30931354	4	0,58	0	0	1	0	0	2	66,1518	689,09
S_5	692498	2,8	2	5,6	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	92,80
S_2	692906	7,59	1,6048547	12,24562204	4	1,09	0	0	0	1	0	0	18,8163	196,53
S_0	702118	6,44	10,68833193	68,19149128	3	2	0	0	1	0	0	3	86,24	908,18
S_0	702119	6,19	3,907991152	24,23661305	3	2	0	0	1	0	0	1	33,12	349,88
S_0	702120	6,19	2,767232167	17,1297837	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	260,05
S_0	702121	8,99	3,084257144	28,69853448	5	0,49	1	0	0	0	0	1	39,862	423,67
S_0	702122	8,99	4,4944971	39,57131581	5	0,49	0	0	1	0	0	1	48,6736	519,69
S_2	702123	7,59	5,719410259	43,45103347	4	1,09	0	0	0	0	0	2	55,8126	599,03
S_0	702124	6,44	5,294228072	35,46055856	3	2	0	0	0	0	1	1	45,12	486,30
S_0	702125	6,5	7,946945552	51,01386284	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	712,21
S_0	702126	6,44	3,006448984	19,40306292	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	266,92
S_0	702127	7,49	2,863473278	22,62949136	4	0,99	0	0	0	0	0	1	27,5993	300,72
S_0	702128	7,49	2,399307541	21,59519429	4	0,99	0	0	0	0	1	0	23,1043	252,27
S_0	702129	7,49	1,251773704	10,02707919	4	0,99	0	0	1	0	0	0	14,1143	154,31
S_2	702130	3,37	2,64389022	8,589660705	2	0,87	0	0	0	0	0	1	14,9509	163,68
S_2	702131	6,39	6,12878387	39,45217328	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	540,18
S_2	702132	7,59	2,581974007	19,64798725	4	1,09	0	0	0	0	0	1	27,9063	307,67
S_2	702133	7,59	5,163163098	40,35857601	4	1,09	0	0	0	0	1	1	51,2676	567,85
S_3	702134	2,8	2,16	5,776948895	2	0,3	0	0	0	0	1	0	11,051	122,53
S_3	702135	7,59	2,422158852	21,9412534	4	1,09	0	0	0	0	1	0	23,3613	259,56
S_3	702136	7,59	1,267037239	10,27042275	4	1,09	0	0	1	0	0	0	14,2713	158,77
S_3	702137	3,59	2,851186317	9,893702891	2	1,09	0	0	0	0	0	1	15,6263	174,09
S_3	702138	6,39	4,347293802	27,78013835	3	2	0	0	1	0	0	1	37,12	414,92
S_3	702139	6,39	3,599076965	23,04094101	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	340,73
S_3	702140	7,38	2,999174145	22,18230625	4	0,88	0	0	0	0	0	1	27,2616	306,29
S_3	702141	7,38	2,842364352	22,15913612	4	0,88	0	0	0	0	0	1	27,2616	307,04
S_4	702142	2,3	2,378772624	5,29	1	2	0	0	0	0	1	0	10,28	115,89
S_4	702143	2,3	1,275884808	3,202167199	1	2	0	0	1	0	0	0	6,28	70,83
S_2	702144	6,49	5,678066501	37,56336381	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	556,45
S_2	702145	9,29	3,185318118	29,64944745	5	0,79	1	0	0	0	0	1	41,002	466,16
S_2	702146	9,29	4,59500185	41,805	5	0,79	0	0	1	0	0	1	50,0656	571,72
S_3	702147	7,39	5,183987212	38,33913099	4	0,89	0	0	0	0	1	1	50,1396	575,08
S_3	702148	4,6	5,388326018	25,26803974	3	0,1	0	0	0	0	1	1	34,404	395,78

S_4	702149	2,8	2,049959087	5,750684152	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	102,48
S_3	702150	7,38	2,287518108	16,94345731	4	0,88	0	0	0	0	1	0	22,8216	263,26
S_3	702151	7,4	3,103694279	23,08373726	4	0,9	1	0	0	0	0	1	33,82	391,28
S_3	702152	7,4	8,192171468	59,94	4	0,9	0	0	0	1	0	2	73,069	850,71
S_4	702153	3,52	2,734572713	9,273695949	2	1,02	0	0	0	0	0	1	15,4114	179,66
S_4	702154	6,39	4,300167256	27,47806877	3	2	0	0	1	0	0	1	37,12	434,12
S_4	702155	6,39	3,596989647	23,02689352	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	356,45
S_5	702156	6,39	5,806593063	37,14625934	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	578,37
S_5	702157	7,08	1,806442152	12,83522087	4	0,58	0	0	0	1	0	0	17,7606	209,44
S_5	702158	7,08	7,523273079	53,30931354	4	0,58	0	0	1	0	0	2	66,1518	784,46
S_5	702159	2,8	1,900510581	5,617083155	2	0,3	0	0	0	1	0	0	8,901	105,63
S_2	702160	7,59	1,6048547	12,24562204	4	1,09	0	0	0	1	0	0	18,8163	223,65
S_2	705278	6,46	4,910918381	33,10412289	3	2	0	0	0	1	0	1	41,12	490,45
S_2	705316	6,44	8,052202448	51,26106595	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	787,70
S_2	705342	6,44	4,212905431	27,18113534	3	2	0	0	1	0	0	1	37,12	446,56
S_2	705368	6,44	6,640833722	42,12608231	3	2	1	0	0	0	0	2	54,96	664,20
S_2	705429	9,11	3,067440544	29,63022309	5	0,61	0	0	0	0	0	1	32,5727	394,70
S_2	705469	9,11	4,600182491	41,06997736	5	0,61	0	0	1	0	0	1	49,2304	598,98
S_2	705540	6,79	9,544489204	64,13741584	4	0,29	1	0	0	0	0	3	82,4026	1009,37
S_2	705563	6,79	5,869119121	40,89246974	4	0,29	0	0	0	0	0	2	50,9006	626,09
S_2	705586	7,49	2,381367781	21,34391122	4	0,99	0	0	0	0	1	0	23,1043	284,72
S_2	705610	7,49	1,253914466	10,0366	4	0,99	0	0	1	0	0	0	14,1143	174,13
S_3	705638	3,31	2,915075526	9,333434983	2	0,81	0	0	0	0	0	1	14,7667	182,40
S_3	705688	6,39	7,74768117	49,54817962	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	815,60
S_4	705754	2,96	1,939381108	5,74056808	2	0,46	0	0	0	1	0	0	9,2322	114,73
S_3	706454	6,39	5,406681093	34,59138437	3	2	0	0	0	0	1	1	45,12	562,75
S_3	706488	6,61	7,42126184	49,71613274	4	0,11	0	0	1	0	0	2	62,5281	783,77
S_3	706510	9,45	3,027379795	28,73780156	5	0,95	0	0	0	0	0	1	33,6165	422,50
S_3	706535	9,45	3,7	34,08403303	5	0,95	1	0	0	0	0	1	41,61	524,70
S_3	706608	7,59	5,868973982	45,70916535	4	1,09	0	0	0	0	0	2	55,8126	706,91
S_4	706632	5,54	2,381566558	15,77342515	3	1,04	0	0	0	0	1	0	18,0928	229,49
S_4	706653	5,54	1,213900308	7,202038143	3	1,04	0	0	1	0	0	0	11,0528	140,31
S_4	706675	5,54	2,666999408	14,24774203	3	1,04	0	0	0	0	0	1	21,6128	274,84
S_5	706702	2,84	2,23674379	6,050675804	2	0,34	0	0	0	0	1	0	11,1538	141,96
S_4	706738	8,43	7,66	64,875574	4	2	0	0	1	0	0	2	77,1	987,25
S_4	707342	6,43	6,5	41,795	3	2	1	0	0	0	0	2	54,96	706,77
S_3	707880	6,44	8,340909307	54,41480489	3	2	0	0	0	0	1	2	69,68	900,92
S_3	707939	6,44	3,757463978	24,24972695	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	393,98
S_3	707966	5,97	3,6	21,53988879	3	1,47	1	0	0	0	0	1	28,386	368,68
S_3	708089	5,97	3,258809388	18,90407346	3	1,47	1	0	0	0	0	1	28,386	369,49
S_3	708101	9,03	3,131976107	30,23839639	5	0,53	1	0	0	0	0	1	40,014	522,45
S_3	708192	5,86	4,916251102	28,88302975	3	1,36	0	0	0	1	0	1	37,8304	495,37
S_3	708226	6,49	9,24283614	59,34727656	3	2	1	0	0	0	0	3	79,52	1047,59
S_3	708257	6,49	6,169051534	41,0301123	3	2	1	0	0	0	0	2	54,96	727,06
S_3	708283	7,49	2,381628828	21,34391122	4	0,99	0	0	0	0	1	0	23,1043	306,18
S_3	708307	7,49	1,224028222	9,81275203	4	0,99	0	0	1	0	0	0	14,1143	187,24
S_4	708333	5,34	2,657881159	13,68414788	3	0,84	0	0	0	0	0	1	20,9988	279,01
S_4	708400	8,4	8,003351897	67,57050598	4	2	0	0	0	1	0	2	82,1	1097,61
S_5	708924	3,06	1,88118014	5,464207431	2	0,56	0	0	0	1	0	0	9,4392	126,28
S_3	709151	9,07	4,591982199	40,81208934	5	0,57	0	0	1	0	0	1	49,0448	658,56
S_4	709184	6,65	5,422317461	36,10158393	4	0,15	0	0	0	0	1	1	45,966	619,33
S_5	709209	3,04	4,606492152	14,02347228	2	0,54	0	0	1	0	0	1	21,0656	284,27
S_5	709307	3,04	5,805969791	17,66829633	2	0,54	0	0	0	0	0	2	27,8756	376,95
S_4	709899	5,85	4,931684532	28,9270604	3	1,35	0	0	0	1	0	1	37,779	512,30
S_4	709942	5,99	4,926308538	28,95668061	3	1,49	0	0	0	1	0	1	38,4986	523,54
S_4	710097	5,99	7,467013958	44,77643522	3	1,49	0	0	1	0	0	2	57,7479	788,64
S_4	710121	5,99	6,706404475	40,21811757	3	1,49	1	0	0	0	0	2	51,4563	705,37
S_4	710190	5,99	11,89150738	71,84125033	3	1,49	0	0	0	0	0	4	91,9772	1269,29
S_4	710240	7,59	1,92956418	14,74991754	4	1,09	0	0	0	1	0	0	18,8163	260,02
S_4	710258	5,2	1,555118984	9,035681191	3	0,7	0	0	1	0	0	0	10,519	145,47
S_4	710320	7,59	2,412939341	21,94439569	4	1,09	0	0	0	0	1	0	23,3613	323,62
S_4	710351	7,59	1,695976386	12,02892022	4	1,09	0	0	0	1	0	0	18,8163	261,01
S_4	710405	5,2	1,484681206	6,676763907	3	0,7	0	0	1	0	0	0	10,519	146,03
S_5	711258	6,36	5,139271197	34,04212954	3	2	0	0	0	1	0	1	41,12	572,52
S_5	711311	6,36	7,080777881	44,4467088	3	2	0	0	1	0	0	2	57,68	806,42

S_5	724463	9,27	3,948071447	36,94153402	5	0,77	0	1	0	0	0	1	44,5878	625,37
S_5	724511	6,07	3,100471326	18,9151898	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	427,30
S_5	724532	6,07	6,1580752	36,7856421	3	2	1	0	0	0	0	2	54,96	775,53
S_6	724549	3	2,298324099	7,204771086	2	0,5	0	0	0	0	1	0	11,565	163,33
S_6	724566	3	3,373410215	10,20765499	2	0,5	1	0	0	0	0	1	17,1	241,79
S_6	724585	3	1,19534994	3,687138586	2	0,5	0	0	1	0	0	0	7,065	99,95
S_6	724614	3	2,116680674	6,398276512	2	0,5	0	0	0	0	1	0	11,565	163,74
S_6	724641	3	7,358412255	22,14323034	2	0,5	0	0	1	0	0	2	34,695	492,42
S_6	724656	3,29	3,224024934	9,990171684	2	0,79	1	0	0	0	0	1	18,202	258,67
S_5	724683	3,07	5,486755397	16,60347641	2	0,57	0	0	0	0	1	1	25,7748	366,95
S_5	724709	6,36	1,05248765	6,734814376	3	2	0	1	0	0	0	0	8,56	121,94
S_5	724870	6,36	8,286705116	52,0682391	3	2	0	0	0	0	1	2	69,68	997,47
S_6	725030	3,01	2	6,329558923	2	0,51	0	0	0	1	0	0	9,3357	133,73
S_5	725031	6,56	7,092382906	45,89887229	4	0,06	0	1	0	0	0	2	58,1126	835,81
S_5	725032	9,27	3,973842098	37,76804009	5	0,77	0	1	0	0	0	1	44,5878	643,27
S_5	725033	6,27	3,100471326	19,53842504	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	439,51
S_5	725034	6,27	6,1580752	37,99768962	3	2	1	0	0	0	0	2	54,96	797,60
S_6	725035	3,2	2,298324099	7,387164859	2	0,7	0	0	0	0	1	0	12,079	175,44
S_6	725036	3,2	3,373410215	11,1702747	2	0,7	1	0	0	0	0	1	17,86	259,73
S_6	725037	3,2	1,19534994	3,932947825	2	0,7	0	0	1	0	0	0	7,379	107,36
S_6	725038	3,2	2,116680674	6,877175101	2	0,7	0	0	0	0	1	0	12,079	175,89
S_6	725039	3,2	7,358412255	23,6194457	2	0,7	0	0	1	0	0	2	36,237	528,99
S_6	725040	3,49	3,224024934	11,2977599	2	0,99	1	0	0	0	0	1	18,962	277,17
S_5	725041	6,56	7,497721055	48,57084657	4	0,06	0	1	0	0	0	2	62,1426	912,20
S_5	725042	6,56	1,05248765	6,946600991	4	0,06	0	1	0	0	0	0	8,6242	126,67
S_5	725043	6,56	8,286705116	53,70560511	4	0,06	0	0	0	0	1	2	70,2026	1036,05
S_6	725102	3,01	2	6,335822666	2	0,51	0	0	0	1	0	0	9,3357	137,86
S_5	725103	6,81	7,089787159	47,69073482	4	0,31	0	1	0	0	0	2	59,9151	888,38
S_5	725104	9,27	3,569077878	34,01678284	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	608,50
S_5	725105	6,52	3,100446344	20,30807776	4	0,02	1	0	0	0	0	1	30,476	454,05
S_5	725106	6,52	6,1580752	39,51274901	4	0,02	1	0	0	0	0	2	55,0974	823,91
S_6	725107	3,45	2,298324099	8,285486749	2	0,95	0	0	0	0	1	0	12,7215	190,40
S_6	725108	3,45	3,373410215	10,96050857	2	0,95	1	0	0	0	0	1	18,81	281,87
S_6	725109	3,45	1,19534994	4,939012613	2	0,95	0	0	1	0	0	0	7,7715	116,52
S_6	725110	3,45	2,116680674	7,395597066	2	0,95	0	0	0	0	1	0	12,7215	190,90
S_6	725111	3,45	7,358412255	25,46471489	2	0,95	0	0	1	0	0	2	38,1645	574,15
S_6	725112	3,74	3,224024934	12,10705502	2	1,24	1	0	0	0	0	1	19,912	299,95
S_5	725113	6,81	7,497721055	50,42186969	4	0,31	0	1	0	0	0	2	64,0701	969,25
S_5	725114	6,81	1,05248765	7,211334261	4	0,31	0	1	0	0	0	0	8,8917	134,59
S_5	725115	6,81	8,286705116	55,75231262	4	0,31	0	0	0	0	1	2	72,3801	1100,84
S_6	725178	3,01	1,96	6,215422666	2	0,51	0	0	0	1	0	0	9,3357	142,08
S_5	725179	7,06	7,379612318	51,16738046	4	0,56	0	0	1	0	0	2	65,9976	1008,74
S_5	725180	9,27	4,275469061	39,68878597	5	0,77	0	1	0	0	0	1	49,9728	766,31
S_5	725181	6,77	3,100285595	21,05592909	4	0,27	1	0	0	0	0	1	31,426	482,89
S_5	725182	6,77	6,1580752	41,0278084	4	0,27	1	0	0	0	0	2	56,8149	876,24
S_6	725183	3,7	2,298324099	8,885884339	2	1,2	0	0	0	0	1	0	13,364	206,29
S_6	725184	3,7	3,373410215	11,84799639	2	1,2	1	0	0	0	0	1	19,76	305,41
S_6	725185	3,7	1,19534994	5,296912078	2	1,2	0	0	1	0	0	0	8,164	126,25
S_6	725186	3,7	2,116680674	7,645301297	2	1,2	0	0	0	0	1	0	13,364	206,84
S_6	725187	3,7	7,358412255	27,30998409	2	1,2	0	0	1	0	0	2	40,092	622,13
S_6	725188	3,99	3,224024934	12,95446626	2	1,49	1	0	0	0	0	1	20,862	324,16
S_5	725189	7,06	7,497721055	52,2728928	4	0,56	0	1	0	0	0	2	65,9976	1029,85
S_5	725190	7,06	1,05248765	7,47606753	4	0,56	0	1	0	0	0	0	9,1592	143,01
S_5	725191	7,06	8,286705116	57,79902013	4	0,56	0	0	0	0	1	2	74,5576	1169,67
S_5	725277	6,81	1,9	13,65165924	4	0,31	0	0	0	1	0	0	17,2017	270,16
S_5	725278	6,81	7,013540289	47,08652974	4	0,31	0	1	0	0	0	2	59,9151	944,57
S_5	725279	9,27	3,948554975	36,94646326	5	0,77	0	1	0	0	0	1	44,5878	704,92
S_5	725280	6,52	3,103450117	20,33919902	4	0,02	1	0	0	0	0	1	30,476	482,75
S_7	725281	0,16	6,131008749	0,965482051	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0,00
S_6	725282	3,45	2,325271283	8,377911742	2	0,95	0	0	0	0	1	0	12,7215	201,67
S_6	725283	3,45	3,415418916	11,18365218	2	0,95	1	0	0	0	0	1	18,81	298,55
S_6	725284	3,45	1,203174668	4,21737604	2	0,95	0	0	1	0	0	0	7,7715	123,41
S_6	725285	3,45	2,09191798	8,020103431	2	0,95	0	0	0	0	1	0	12,7215	202,17
S_6	725286	3,45	7,410088069	25,64363372	2	0,95	0	0	1	0	0	2	38,1645	607,98
S_6	725287	3,74	3,167471663	11,90021706	2	1,24	1	0	0	0	0	1	19,912	317,60

S_7	725288	0,41	4,08277188	1,63599326	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0,00
S_5	725289	6,81	4,559408593	31,09748844	4	0,31	0	0	1	0	0	1	38,5584	616,51
S_5	725290	6,81	8,107727914	54,53937684	4	0,31	0	0	0	1	0	2	68,2251	1095,50
S_6	725299	6,56	2,1	14,375751	4	0,06	0	0	0	0	1	0	20,7142	333,04
S_5	725300	6,56	0,561479747	3,08151633	4	0,06	1	0	0	0	0	0	5,8838	94,63
S_5	725301	9,27	3,630731709	33,72439725	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	659,92
S_5	725302	6,27	3,05096921	19,22181418	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	396,63
S_5	725303	6,27	6,136691148	37,86247957	3	2	0	0	0	0	0	2	49,12	795,66
S_5	725304	6,27	1,489071064	9,679976288	3	2	0	0	1	0	0	0	12,56	203,61
S_6	725305	3,2	3,417913887	11,03056536	2	0,7	1	0	0	0	0	1	17,86	289,85
S_6	725306	3,2	1,191410672	3,920337711	2	0,7	0	0	1	0	0	0	7,379	119,81
S_6	725307	3,2	2,086605513	6,728585869	2	0,7	0	0	0	0	1	0	12,079	196,26
S_6	725308	3,2	7,41849754	23,81171993	2	0,7	0	0	1	0	0	2	36,237	590,10
S_6	725309	3,49	3,171728165	10,41496768	2	0,99	1	0	0	0	0	1	18,962	309,15
S_5	725310	6,56	6,973852623	46,45524824	4	0,06	0	1	0	0	0	2	58,1126	950,81
S_5	725311	6,56	1,655389519	10,90176239	4	0,06	0	0	0	1	0	0	16,6842	273,26
S_5	725312	6,56	8,157431837	52,86204339	4	0,06	0	0	0	1	0	2	66,1726	1088,17
S_5	725371	6,13	2,09120095	13,46203202	3	2	0	0	0	0	1	0	20,56	338,52
S_4	725372	9,5	6,241489517	59,03293673	5	1	1	0	0	0	0	2	75,57	1249,97
S_6	725373	2,83	4,146665561	11,45132907	2	0,33	0	0	1	0	0	1	20,0912	332,72
S_6	725374	2,84	1,975080783	5,609229422	2	0,34	0	0	0	1	0	0	8,9838	148,86
S_6	725377	3,07	3,241908279	10,57852547	2	0,57	1	0	0	0	0	1	17,366	288,05
S_6	725378	3,07	1,34724594	4,190437414	2	0,57	0	0	1	0	0	0	7,1749	119,06
S_6	725379	3,07	1,807298755	5,548450595	2	0,57	0	0	0	1	0	0	9,4599	157,07
S_6	725380	3,07	5,230693009	16,1003759	2	0,57	0	0	0	0	1	1	25,7748	428,62
S_5	725382	6,13	4,656264924	29,51549494	3	2	0	0	0	1	0	1	41,12	685,49
S_5	725383	6,13	1,269569063	7,821867533	3	2	0	0	1	0	0	0	12,56	209,54
S_5	725384	6,13	7,945439115	48,0943217	3	2	0	0	0	1	0	2	65,68	1100,06
S_5	725397	6,56	4,786427526	31,50088603	4	0,06	0	0	0	1	0	1	41,4284	695,59
S_5	725398	6,56	10,09727059	66,90586463	4	0,06	0	1	0	0	0	3	82,8568	1398,04
S_5	725399	6,56	3,135022776	19,91535994	4	0,06	1	0	0	0	0	1	30,628	517,73
S_6	725400	3,49	0,435076341	2,257209521	2	0,99	1	0	0	0	0	0	3,6427	61,59
S_6	725401	3,9	2,303257669	8,982704909	2	1,4	0	0	0	0	1	0	13,878	234,83
S_6	725405	3,9	2,605000082	10,15950032	2	1,4	0	0	0	0	0	1	16,578	280,79
S_6	725406	3,9	0,876607819	3,482233938	2	1,4	0	1	0	0	0	0	5,778	97,90
S_6	725407	3,49	2,35032105	8,261913459	2	0,99	0	0	0	0	1	0	12,8243	217,45
S_6	725408	3,49	1,406409481	4,635546054	2	0,99	0	0	1	0	0	0	7,8343	132,90
S_6	725409	3,49	4,618466795	16,15468571	2	0,99	0	0	1	0	0	1	23,1536	393,32
S_5	725410	6,56	8,276700583	53,63861267	4	0,06	0	0	0	0	1	2	70,2026	1197,48
S_5	726309	6,13	2,469512728	18,00947237	3	2	0	0	0	0	1	0	20,56	351,13
S_5	726329	6,13	3,33098345	20,96763004	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	520,10
S_6	726513	3,07	6,820922553	20,63929193	2	0,57	1	0	0	0	0	2	31,3959	538,12
S_5	726980	6,43	4,786427526	30,87663067	3	2	0	0	0	1	0	1	41,12	706,48
S_5	726981	6,83	10,09727059	69,6596121	4	0,33	0	1	0	0	0	3	85,6324	1478,58
S_5	726982	6,43	3,135022776	19,52069579	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	525,83
S_6	726983	3,36	0,435076341	2,173130084	2	0,86	1	0	0	0	0	0	3,5478	61,38
S_6	726984	3,77	2,303257669	8,683281412	2	1,27	0	0	0	0	1	0	13,5439	234,50
S_6	726985	3,77	2,605000082	9,820850309	2	1,27	0	0	0	0	0	1	16,1789	280,39
S_6	726986	3,77	0,876607819	3,366159474	2	1,27	0	1	0	0	0	0	5,6389	97,76
S_6	726987	3,36	2,35032105	7,954163101	2	0,86	0	0	0	0	1	0	12,4902	216,69
S_6	726988	3,36	1,406409481	4,462875284	2	0,86	0	0	0	0	0	0	7,6302	132,43
S_6	726989	3,36	4,618466795	15,55293524	2	0,86	0	0	1	0	0	1	22,5504	391,90
S_5	726990	6,43	8,276700583	52,57565236	3	2	0	0	0	0	1	2	69,68	1215,80
S_4	727002	9,61	4,786427526	46,14687725	5	1,11	0	0	0	1	0	1	57,1054	999,65
S_4	727003	9,61	10,09727059	98,01301205	5	1,11	0	1	0	0	0	3	114,2108	2012,35
S_4	727004	8,61	3,135022776	26,13890992	5	0,11	1	0	0	0	0	1	38,418	678,39
S_4	727005	8,61	0,435076341	5,568645839	5	0,11	1	0	0	0	0	0	7,3803	130,38
S_4	727006	9,02	2,303257669	20,77538417	5	0,52	0	0	0	0	1	0	27,0364	478,34
S_4	727007	9,02	2,605000082	23,49710074	5	0,52	0	0	0	0	0	1	32,2964	572,45
S_4	727008	9,02	0,876607819	8,053782083	5	0,52	0	1	0	0	0	0	11,2564	199,84
S_4	727009	8,61	2,35032105	20,38254295	5	0,11	0	0	0	0	1	0	25,9827	461,50
S_4	727010	8,61	1,406409481	11,43611792	5	0,11	0	0	1	0	0	0	15,8727	282,18
S_4	727011	8,61	4,618466795	39,85439655	5	0,11	0	0	1	0	0	1	46,9104	836,17
S_4	727012	9,61	8,276700583	78,57729692	5	1,11	0	0	0	0	1	2	96,7681	1734,23
S_4	727022	9,61	4,786427526	46,14687725	5	1,11	0	0	0	1	0	1	57,1054	1026,68

S_4	727023	9,61	10,09727059	98,01301205	5	1,11	0	1	0	0	0	3	114,2108	2066,40
S_4	727024	8,61	3,135022776	26,13890992	5	0,11	1	0	0	0	0	1	38,418	696,57
S_4	727025	8,61	0,435076341	5,68645839	5	0,11	1	0	0	0	0	0	7,3803	133,87
S_4	727026	9,02	2,303257669	20,77538417	5	0,52	0	0	0	0	1	0	27,0364	491,14
S_4	727027	9,02	2,605000082	23,49710074	5	0,52	0	0	0	0	0	1	32,2964	587,73
S_4	727028	9,02	0,876607819	8,053782083	5	0,52	0	1	0	0	0	0	11,2564	204,97
S_4	727029	8,61	2,35032105	20,38254295	5	0,11	0	0	0	0	1	0	25,9827	473,80
S_4	727030	8,61	1,406409481	11,43611792	5	0,11	0	0	1	0	0	0	15,8727	289,69
S_4	727031	8,61	4,618466795	39,85439655	5	0,11	0	0	0	0	0	1	46,9104	858,37
S_4	727032	9,61	8,276700583	78,57729692	5	1,11	0	0	0	0	1	2	96,7681	1780,03
S_5	727161	6,35	4,786427526	30,49247352	3	2	0	0	0	1	0	1	41,12	758,08
S_5	727162	6,35	10,09727059	64,76406103	3	2	0	1	0	0	0	3	82,24	1522,93
S_5	727163	6,35	3,135022776	19,27782555	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	563,88
S_4	727164	9,63	0,435076341	3,676274591	5	1,13	1	0	0	0	0	0	8,1249	150,77
S_4	727165	10,04	2,303257669	23,124707	5	2	0	0	0	0	1	0	30,84	573,24
S_4	727166	10,04	2,605000082	26,15420082	5	2	0	0	0	0	0	1	36,84	686,12
S_4	727167	10,04	0,820076808	8,396948833	5	2	0	1	0	0	0	0	12,84	239,30
S_4	727168	9,63	2,135836229	19,73987736	5	1,13	0	0	0	0	1	0	28,6041	533,92
S_4	727169	9,63	1,20632387	10,86409491	5	1,13	0	0	1	0	0	0	17,4741	326,47
S_6	727170	3,28	4,618466795	15,18262726	2	0,78	0	0	1	0	0	1	22,1792	414,87
S_5	727171	6,35	8,276700583	51,92152294	3	2	0	0	0	0	1	2	69,68	1308,25
S_6	728336	2,83	4,40308332	12,4836081	2	0,33	0	0	1	0	0	1	20,0912	377,62
S_5	728360	6,14	3,243977001	19,6191459	3	2	1	0	0	0	0	1	30,4	572,30
S_5	728408	3,07	3,605720249	10,79078095	2	0,57	1	0	0	0	0	1	17,366	327,23
S_6	729361	3,2	0,825976001	3,006102986	2	0,7	1	0	0	0	0	0	5,029	94,79
S_5	729941	9,27	3,678348123	34,44148549	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	773,05
S_5	729993	6,36	2,767423728	18,28989007	3	2	0	0	0	0	0	1	24,56	464,52
S_5	730069	9,27	3,666734492	34,33619471	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	775,73
S_5	730115	6,56	2,7	18,31747241	4	0,06	0	0	0	0	0	1	24,7442	469,62
S_5	730288	6,81	2,755445168	18,76837198	4	0,31	0	0	0	0	0	1	25,5117	484,84
S_5	730364	9,27	3,679015217	33,17254651	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	779,46
S_5	730386	7,06	2,446972825	18,02909337	4	0,56	0	0	0	0	1	0	21,9992	419,47
S_5	730423	9,27	3,704111224	34,68104437	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	782,04
S_5	730457	6,81	2,805665243	19,80599825	4	0,31	0	0	0	0	0	1	25,5117	488,14
S_5	730563	6,56	6,505988728	42,68409539	4	0,06	1	0	0	0	0	2	55,3722	1062,56
S_5	730570	6,56	0,7	4,592	4	0,06	1	0	0	0	0	0	5,8838	112,94
S_7	730632	2,91	3,986204174	11,64796345	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	350,79
S_7	730655	2,91	3,823748541	10,83583452	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	351,12
S_7	730671	2,91	3,800502206	11,35192284	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	351,46
S_7	730688	2,91	4,030640756	11,19128238	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	351,79
S_7	730735	2,91	4,030000251	11,77692708	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	352,12
S_7	730736	2,91	3,823749016	10,83665986	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	352,46
S_7	730737	2,91	3,800502206	11,35192284	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	352,79
S_7	730738	2,91	4,097354256	11,38585482	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	353,12
S_7	730747	2,91	4,066466484	11,88067858	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	353,46
S_7	730748	2,91	3,944787873	11,18740385	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	353,79
S_7	730749	2,91	3,678381627	10,99603113	2	0,41	1	0	0	0	0	1	16,758	325,02
S_7	730750	2,91	4,059302415	11,76875674	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	354,43
S_7	730759	2,91	3,891893516	11,64208101	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	354,76
S_7	730760	2,91	3,61330625	10,22326953	2	0,41	1	0	0	0	0	1	16,758	325,91
S_7	730761	2,91	4,014036321	11,97466272	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	355,40
S_7	730762	2,91	4,06100283	11,87302911	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	355,73
S_7	730771	2,91	4,027252834	11,72271508	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	356,07
S_7	730772	2,91	3,949552661	11,20126938	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	356,40
S_7	730773	2,91	3,702442538	11,06604838	2	0,41	1	0	0	0	0	1	16,758	327,41
S_7	730774	2,91	4,060047883	11,27754371	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	357,04
S_7	730783	2,91	3,903869477	11,67554457	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	357,37
S_7	730784	2,91	3,949552662	11,20126938	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	357,71
S_7	730785	2,91	3,702442538	11,06604838	2	0,41	1	0	0	0	0	1	16,758	328,61
S_7	730786	2,91	4,060605481	11,27883196	2	0,41	0	1	0	0	0	1	18,2574	358,35
S_4	732182	10,43	3,179275074	34,27988403	5	2	1	0	0	0	0	1	45,6	897,09
S_4	732222	10,18	3,205942424	33,74591527	5	2	1	0	0	0	0	1	45,6	899,17
S_4	732313	9,93	2,99468023	29,58047736	5	1,43	0	0	0	0	0	1	35,0901	693,16
S_4	732416	9,5	3,090915747	30,24759071	5	1	1	0	0	0	0	1	41,8	827,46
S_5	732510	9,27	3,379735009	31,64810671	5	0,77	1	0	0	0	0	1	40,926	811,83

Construção de Algoritmo de Gestão e Otimização de Soluções de Andaime com Recurso à Metodologia BIM

S_5	732559	6,56	2,694919587	18,37930609	4	0,06	0	0	0	0	0	1	24,7442	491,45
S_4	732756	10,18	3,139272905	33,05424296	5	2	1	0	0	0	0	1	45,6	907,75
S_4	732802	9,93	3,139271197	30,98073492	5	1,43	1	0	0	0	0	1	43,434	866,52
S_5	733056	9,3	4,054490175	37,46697024	5	0,8	0	1	0	0	0	1	44,712	894,02
S_4	735924	6,67	1,484776059	9,849437227	4	0,17	0	1	0	0	0	0	12,8269	256,64
S_4	735944	6,67	4,76062062	32,47475705	4	0,17	0	0	0	1	0	1	41,9938	841,97
S_4	735965	3,37	25,96792838	87,51406921	2	0,87	0	0	1	0	0	8	127,2531	2567,59
S_4	736199	3,37	6,021410255	20,1370034	2	0,87	0	0	0	0	0	2	29,9018	604,22
S_4	736360	3,37	8,100309838	27,65114363	2	0,87	0	0	0	1	0	2	39,9827	809,53
S_4	736376	3,37	3,384195199	11,41953202	2	0,87	1	0	0	0	0	1	18,506	375,03
S_4	736391	3,37	1,098108972	3,082405573	2	0,87	0	0	1	0	0	0	7,6459	155,01
S_4	736714	3,37	2,295353603	6,986092252	2	0,87	0	0	0	0	1	0	12,5159	253,89
S_4	736779	3,37	2,299896877	7,002560155	2	0,87	0	0	0	0	1	0	12,5159	254,05
S_4	736829	3,37	2,351030394	7,175981488	2	0,87	0	0	0	0	1	0	12,5159	254,21
S_4	736915	3,37	2,364984042	7,222890531	2	0,87	0	0	0	0	1	0	12,5159	254,36
S_4	736975	3,37	2,337510392	7,130304331	2	0,87	0	0	0	0	1	0	12,5159	254,52
S_4	737017	4,53	5,79856632	27,44185028	3	0,03	0	0	0	0	0	2	37,0242	754,28
S_4	737094	4,53	2,600238126	11,75203403	3	0,03	0	0	0	0	0	1	18,5121	377,48
S_5	737182	3,3	7,382955693	24,36375379	2	0,8	0	0	1	0	0	2	37,008	756,01
S_5	737224	3,3	3,442097254	10,70761951	2	0,8	1	0	0	0	0	1	18,24	372,94
S_5	742214	6,36	7,497721055	48,03333417	3	2	0	0	1	0	0	2	61,68	1264,94
S_4	742271	6,44	16,93601298	109,514646	3	2	0	0	0	1	0	5	139,36	2877,44
S_4	743502	6,35	13,71933716	85,84779094	3	2	0	0	1	0	0	4	110,8	2300,02
S_4	743529	6,79	1,523796975	8,873838226	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	270,34
S_4	743696	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	356,74
S_4	743712	6,79	1,298651935	7,459846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	270,74
S_4	743856	6,35	11,20734509	69,89664129	3	2	0	0	0	1	0	3	90,24	1885,27
S_4	743857	6,79	1,523823854	8,819017991	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	272,08
S_4	743858	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	359,03
S_4	743859	6,79	1,298651935	7,459846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	272,47
S_4	743870	6,35	11,06	69,596	3	2	0	0	0	1	0	3	90,24	1897,31
S_4	743871	6,79	1,527037981	8,84095199	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	273,82
S_4	743872	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	361,32
S_4	743873	6,79	1,298651935	7,459846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	274,21
S_4	743888	6,35	11,12	69,977	3	2	0	0	0	1	0	3	90,24	1909,35
S_4	743889	6,79	1,52784742	8,951370031	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	275,55
S_4	743890	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	363,61
S_4	743891	6,79	1,298651935	7,459846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	275,95
S_4	743912	6,35	11,00710805	69,89513612	3	2	0	0	0	1	0	3	90,24	1921,39
S_4	743913	6,79	1,524440071	8,823198082	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	277,29
S_4	743914	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	365,90
S_4	743915	6,79	1,298651935	7,459846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	277,68
S_4	743928	6,35	11,18534172	69,75691994	3	2	0	0	0	1	0	3	90,24	1933,43
S_4	743929	6,79	1,524738979	8,825234897	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	279,03
S_4	743930	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	368,19
S_4	743931	6,79	1,298651935	8,817846639	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	279,42
S_4	743944	6,35	17,44245936	110,124617	3	2	0	0	0	0	1	5	143,36	3098,30
S_4	744056	6,35	15,60241958	97,48786434	3	2	1	0	0	0	0	5	128,64	2796,72
S_4	744057	6,79	1,525984724	8,833624466	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	283,13
S_4	744058	6,79	1,69289195	12,85273634	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	373,59
S_4	744059	6,79	1,38	8,6912	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	283,52
S_4	744119	6,79	1,646619047	9,822662182	4	0,29	0	0	0	1	0	0	17,1603	374,11
S_4	744203	6,79	1,347856693	10,48195231	4	0,29	0	0	1	0	0	0	13,0153	283,92
S_4	744322	6,35	9,302818493	58,43859489	3	2	1	0	0	0	0	3	79,52	1740,97
S_4	744337	6,35	10,39061666	65,34552641	3	2	0	0	1	0	0	3	86,24	1895,54
S_4	744539	6,79	3,490786562	22,34444076	4	0,29	1	0	0	0	0	1	31,502	693,40
S_4	744640	6,79	3,260636573	21,11407636	4	0,29	1	0	0	0	0	1	31,502	694,39
S_5	744876	3,24	6,249565285	19,51796968	2	0,74	1	0	0	0	0	2	32,5638	718,86