

Modelo BIM 8D: Aplicação em sistema de contenção de fachada

Gonçalo Berberan Da Silva Lima Constantino

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientadores

Professora Doutora Alcínia Zita De Almeida Sampaio

Professor Doutor Nuno Gonçalo Cordeiro Marques de Almeida

Júri

Presidente: Professor Doutor José Alexandre De Brito Aleixo Bogas

Orientador: Professora Doutora Alcínia Zita De Almeida Sampaio

Vogal: Doutora Paula Margarida Carvalho Marques Couto

Outubro de 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

Agradecimentos

Aos meus pais pelo amor e apoio incondicional que sempre me deram.

Aos meus orientadores, a professora Zita Sampaio e o professor Nuno de Almeida na ajuda e a elaboração deste trabalho e paciência na formatação e auxílio da escrita.

Ao Kiko e engenheiro Diogo Pires por terem fornecido a documentação relacionada com o caso de estudo utilizado neste trabalho.

À Pipa, Guilherme e Rita pela amizade e grande apoio desde o início do meu percurso académico.

Ao Alfredo, Luísa, Nuno e Tiago pelo bom humor matinal a contrastar com o meu e os convívios e bons momentos que acontecem mesmo depois deste instituto.

Aos meus afilhados, Ana, Cecília, Cláudia e Tiago porque sempre que estão por perto lembra-se de me visitar e perder algum do seu tempo a conversar comigo.

À equipa do escritório, Carolina, Damião, Margarida e Zé por fazerem daquele lugar que ocupei durante muitos anos um local melhor com boa disposição e muito humor, agora nesta minha recta final.

À Carolina, Alícia, Joni, Macara, Mané, pequena Carolina e Rita porque todos os dias foram uma grande viagem e aventura, e uma grande fonte de alegria e apoio importante neste final de percurso.

À D.Cristina e Sr. Nuno (“O Petisqueiro”) pela hospitalidade dada ao longo de todos estes anos.

Resumo

O sector da construção é um dos mais importantes para a economia nacional e que mais trabalhadores emprega. No entanto é um sector pouco eficiente, com baixa produtividade e alta incidência de acidentes ligeiros e graves. O BIM poderá contribuir para dar resposta a estes problemas, possibilitando uma metodologia de trabalho focada na fase de concepção e assente em processos digitais, permitindo modernizar um sector que não se encontra tão desenvolvido em relação aos restantes.

A presente dissertação pretende aplicar a metodologia de trabalho BIM 8D, explorando as suas potencialidades em matéria de preparação dos trabalhos de obra, integração de gestão de prazos e de segurança e saúde no trabalho. Como caso de estudo, utiliza-se uma obra de reabilitação de um edifício, em curso na zona da Mouraria, Lisboa.

O trabalho realizado envolve a utilização integrada de 3 programas de *software* utilizados no sector AEC (Arquitectura, Engenharia e Construção): *Revit*, *Microsoft Project* e *Navisworks Manage*.

Utilizando *Revit* elaborou-se um modelo tridimensional do caso de estudo, estabelecendo-se a base da metodologia BIM. O planeamento e calendarização dos trabalhos foi realizado em *Microsoft Project*. Utilizando *Navisworks Manage* é estabelecida a interoperabilidade dos programas, a coordenação da obra e diversas simulações para identificação de processos construtivos e situações com riscos profissionais, juntamente com as suas medidas de prevenção.

Finalizando foi comprovada a exequibilidade da metodologia e verificada a interoperabilidade entre os três programas. São ainda feitas considerações sobre a sua viabilidade prática e no enquadramento da realidade do sector da construção.

Palavras-Chave: Metodologia BIM, Modelo BIM 8D, Segurança, Prevenção, Interoperabilidade, *Navisworks*

Abstract

The construction sector is one of the most important for the national economy and one which employs a large workforce. However, it is also very inefficient, with a low productivity rate and high count of accidents, both small and severe. BIM appears as a way of facilitating a work methodology focused on the conception phase and done through digital processes, while also modernizing a sector that is somewhat behind in comparison with others.

The present dissertation seeks to elaborate a BIM 8D based work methodology, exploring its capabilities in work preparation, schedule management and safety and health at the construction site. This methodology is based on a case study of a rehabilitation project taking place in Mouraria, Lisbon. The methodology utilizes 3 software programs present in the AEC sector (Architecture, Engineering and Construction): Revit, Microsoft Project and Navisworks Manage.

Utilizing Revit, a tridimensional model of the case study was elaborated, being this the base of a BIM methodology. The planning and schedule of the construction were done in Microsoft Project. The coordination of the project was done in Navisworks Manage, while also performing a clash detection of the project. This program also enabled several simulations of possible construction risk situations and possible safety measures.

Finally, it was proven the feasibility and verified the interoperability existing between the three programs. Further considerations are drawn regarding the practical aspects of the programs, the viability of the methodology and how it would fit with the current reality of the construction sector.

Keywords: BIM methodology, 8D BIM model, Safety, Prevention, Interoperability, Navisworks

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos.....	2
1.3	Estrutura da dissertação.....	3
2	Conceito e aplicabilidade do BIM	5
2.1	Origem.....	5
2.1.1	Interoperabilidade e padrão IFC.....	5
2.1.2	Objectos paramétricos.....	6
2.2	Implementação BIM no estrangeiro	8
2.2.1	Estados Unidos.....	8
2.2.2	Europa	9
2.3	Segurança na obra	10
3	Modelo de arquitectura	13
3.1	Caso de estudo.....	13
3.2	Criação de níveis.....	14
3.3	Geração de fachadas	15
3.4	Criação da cobertura	16
3.5	Envolvente exterior	19
4	Modelo da estrutura de contenção	21
4.1	Descrição do sistema de contenção.....	21
4.2	Geração de componentes	21
4.3	Perfis horizontais	23
4.4	Pórtico.....	24
4.5	Colocação de grua torre	29
5	Planeamento da colocação e remoção	31
5.1	Condicionantes da obra e trabalhos necessários	31
5.2	Definição do período de trabalho	33
5.3	Definição das actividades.....	34
5.4	Duração das actividades	35
5.5	Estabelecimento de relações entre actividades	36

5.6	Elaboração do calendário de actividades.....	38
6	Riscos e segurança	39
6.1	Identificação de riscos e prevenção	39
6.2	Segurança	42
6.2.1	Protecções colectivas	42
6.2.2	Protecções individuais	44
7	Coordenação	45
7.1	Introdução ao programa	45
7.2	Compatibilização de especialidades	46
7.2.1	Determinação de conjunto de objectos/sets.....	46
7.2.2	Detecção de conflitos	47
7.2.3	Resolução de conflitos.....	48
7.3	Definição de acessos e do estaleiro.....	52
7.3.1	Acessos à obra	52
7.3.2	Implementação do estaleiro	53
7.4	Simulação da obra.....	54
7.4.1	Preparação e concretização da interoperabilidade entre os 3 programas.....	54
7.4.2	Introdução de dados para execução da simulação	56
7.5	Análise da simulação de obra	58
7.5.1	Determinação de caminho de circulação nos andaimes.....	58
7.5.2	Colocação da grua torre	58
7.5.3	Colocação de andaimes	59
7.5.4	Colocação de perfis de contenção na fachada	59
7.5.5	Estrutura interior	61
8	Conclusão.....	63
8.1	Discussão de resultados	63
8.2	Desenvolvimentos futuros	64
	Referências Bibliográficas	66
	Anexo A - Vista em alçado de corte no edifício.....	69
	Anexo B - Planta do Piso -1 (Nível 1).....	70
	Anexo C - Planta do Piso 1 (Nível 2).....	71

Anexo D - Planta do Piso 3 (Nível 3).....	72
Anexo E - Lista de condicionantes	73
Anexo F Lista de actividades e gráfico Gantt.....	75
Anexo G - Identificação de riscos especiais existentes na obra, de acordo com art 7.º do DL 273/2003	76
Anexo H - Avaliação e hierarquização dos Riscos.....	77
Anexo I - Equipamentos de protecção individual e partes do corpo a proteger.....	81
Anexo J - Lista de EPI's necessários e a sua obrigatoriedade (P = permanente, T = Temporário)	82

Índice de Figuras

Figura 2.1 – Comunicação pré-operabilidade (a) e pós-operabilidade (b) [9].....	6
Figura 2.2 - Gráfico que relaciona a capacidade para influenciar a segurança versus o planeamento e decorrer do projecto [27] e [28].....	11
Figura 3.1 - Localização da obra (figura retirada do <i>google maps</i>).....	13
Figura 3.2 - Comando e representação dos níveis do caso de estudo.	14
Figura 3.3 – Representação da planta do piso 0 após importação para o <i>Revit</i>	15
Figura 3.4 - Modelação paramétrica das paredes e inserção de vãos.....	15
Figura 3.5 - Selecção do tipo de material para as paredes de fachada.	16
Figura 3.6 - Modelo 3D completo das paredes de fachada após acabamento	16
Figura 3.7 – Modelação da geometria da cobertura: planta (a) e alçado principal (b).....	17
Figura 3.8 - Constituição da laje de cobertura.....	17
Figura 3.9 - Modelação do elemento telha e sua aplicação como revestimento da cobertura.....	17
Figura 3.10 – Cobertura com a representação de elementos de rincão e inserção de elemento de sacada.	18
Figura 3.11 – Modelação da estrutura de madeira de suporte à cobertura [38].....	18
Figura 3.12 – Pormenores construtivos da estrutura de madeira e cobertura final.....	19
Figura 3.13 - Modelo de arquitectura e da envolvente exterior.	19
Figura 4.1 – Perfis: Perfil 2C HD (a), Perfil 2C e 2C +C + C extensíveis (b) e Perfil 2C extensível (c).....	22
Figura 4.2 – Barra horizontal e diagonal vertical SHD (a), barra reforçada e diagonal Reforçada SHD (b), escora estabilizadora simples (c) e ancoragem estabilizadora simples (d).....	22
Figura 4.3 – Nós de ligação: SHD 2C 450mm (a) e 2C 700mm (b); Nós laterais: SHD 2C 170mm (c) e SHD 2C 420mm (d); Adaptador: SHD Perflex (e); Parafusos M24 (f) e M16 (g); e Cavilha: Ø32 (h).	23
Figura 4.4 - Sapata SHD 2C.....	23
Figura 4.5 - Planta do nível -1 após a colocação dos elementos horizontais	24
Figura 4.6 – Pormenores de escora (a) e de ancoragem (b).	24
Figura 4.7 – Colocação de perfis horizontais na fachada.....	24
Figura 4.8 – Traçado de rede de alinhamentos de apoio à colocação do pórtico.....	25
Figura 4.9 – Colocação de sapata no maciço de betão e pormenor da sapata aparafusada.....	25
Figura 4.10 - Grupo de elementos referente a nó lateral SHD 2C 170mm aparafusado.	26
Figura 4.11 – Representação de ligação entre elementos horizontais e coluna do pórtico.	26
Figura 4.12 – Estrutura treliçada.	26
Figura 4.13 – Plantas do sistema de contenção do piso -1 (a) e dos pisos 1 e 3 (b).	27
Figura 4.14 – Representação do projecto modelado e fotografias da obra.	28
Figura 4.15 – Vista da grua torre em alçado (a) e a sua localização no modelo(b).....	29
Figura 4.16 – Representações da grua torre no modelo e em obra.....	30
Figura 5.1 - Vista aérea da obra e localização da grua no seu interior	32
Figura 5.2 – Definição de dias de feriado(a) e período de trabalho(b).....	34
Figura 5.3 - Aplicação da estrutura de decomposição WBS aplicada às actividades da obra.....	35
Figura 7.1 – Menu referente à procura de sets(a) e sua gestão(b).....	46

Figura 7.2 - Interface de <i>Clash Detective</i> e conflito geométrico.....	48
Figura 7.3 – Conflitos geométricos detectados	48
Figura 7.4 - Correção da tolerância geométrica aceite entre sobreposições de objectos	49
Figura 7.5 - Agrupamento de conflitos e a sua edição, estando destacados os comandos <i>New Group</i> , <i>Assign</i> e <i>Add coment</i>	49
Figura 7.6 - Comentários feitos ao agrupamento de conflitos geométricos criados.....	50
Figura 7.7 - Activação da ligação entre <i>Revit</i> e <i>Navisworks</i>	50
Figura 7.8 - Localização do comando <i>SwitchBack</i> no software <i>Navisworks</i>	51
Figura 7.9 - Representação esquemática da metodologia de interoperabilidade entre <i>Revit</i> e <i>Navisworks</i>	51
Figura 7.10 – Simulação da entrada principal da obra	52
Figura 7.11 – Simulação da entrada adjacente da obra.....	53
Figura 7.12 – Simulação da implementação do estaleiro.....	53
Figura 7.13 - Diagrama de interoperabilidade entre <i>Revit</i> , <i>MS Project</i> e <i>Navisworks</i>	54
Figura 7.14 - Criação de <i>Shared parameter</i>	55
Figura 7.15 - Menu de introdução do <i>Shared parameter</i> criado no resto do projecto <i>Revit</i>	55
Figura 7.16 - Menu que controla as definições da simulação.	56
Figura 7.17 - Menu <i>Field Selector</i> e atribuição das fases de obra a cada actividade.	57
Figura 7.18 – Simulação da circulação e perspectiva de espaço em andaime.....	58
Figura 7.19 – Simulação de colocação da grua torre(a) e medida de segurança(b).	58
Figura 7.20 – Simulação da construção do pórtico	59
Figura 7.21 – Simulação do movimento do bailéu(a) e perfil metálico(b)	60
Figura 7.22 – Simulação de perigo por esmagamento(a) e sugestão de movimentação de carga(b). 60	
Figura 7.23– Simulação do espaço ocupado pela estrutura de contenção no interior.....	61
Figura 7.24 – Simulação da limitação de circulação devido à estrutura de contenção.....	61
Figura 7.25 – Simulação de perigo de queda em altura e medida de segurança.	62
Figura A.1 - Vista em alçado de corte no edifício.....	69
Figura A.2 - Planta do Piso -1 (Nível 1)	70
Figura A.3 - Planta do Piso 1 (Nível 2)	71
Figura A.4 - Planta do Piso 3 (Nível 3)	72

Índice de tabelas

Tabela 6.1 - Classificação do parâmetro probabilidade	39
Tabela 6.2 - Classificação do parâmetro gravidade	40
Tabela 6.3 - Código de cores sobre aceitação de riscos	40
Tabela 6.4 - Conjugação dos critérios existentes para a classificação de riscos existentes em obra. 41	
Tabela 6.5 - Riscos e medidas preventivas	43

1 Introdução

1.1 Enquadramento

O setor da construção trata-se de um dos setores mais importantes no que toca à economia nacional sendo também um dos setores que emprega um grande número de trabalhadores. No entanto, é também um setor com baixa produtividade, com diversos problemas de custos e no cumprimento de prazos e pouco eficiente nos seus processos.

Este facto é verificado não só a um nível nacional mas também de um modo global, pois a taxa anual de produtividade deste sector aumentou apenas 1% nos últimos 20 anos [1].

Adicionalmente, a indústria portuguesa tem apresentado uma execução de prazos ultrapassados, de orçamentos excedidos, de segurança deficiente e ainda de uma fraca qualidade [2]. Estes problemas originam uma perda de conectividade face aos outros países sendo as principais causas os desvios de custos e de prazos em obras públicas. Para reduzir estes aspectos negativos subjacentes ao sector, é requerido que o dono de obra e os técnicos envolvidos consigam implementar um sistema integrado de desenvolvimento e gestão de todo o processo.[3].

No sentido de poderem ser ultrapassados os problemas verificados, e acompanhando a evolução e a modernização do sector os processos relacionados com a construção têm caminhado para a sua digitalização. Neste contexto, surge a metodologia *Building Information Modelling* (BIM), procurando dar resposta aos problemas de falta de eficiência de processos e do desempenho do sector. A adopção do BIM oferece uma base para a reestruturação do sector com um forte ênfase na elaboração de processos em suporte digital e na possibilidade de obter uma colaboração e comunicação mais eficiente entre os diversos intervenientes no domínio da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC).

A metodologia BIM engloba um procedimento de trabalho colaborativo e centralizador recorrendo à utilização de diversos *softwares* com um elevado nível de interoperabilidade, de suporte à elaboração de diversas fases de projecto, construção e uso de um edifício, envolvendo múltiplos intervenientes das áreas de arquitectura, engenharia ou de sistemas. O conceito fundamental da metodologia é a geração de um modelo tridimensional (3D) digital, composto por objetos paramétricos. O modelo BIM admite a capacidade de armazenar toda a informação gerada em todos os processos inerentes a um projeto de um edifício durante todo o seu ciclo de vida. As tarefas associadas ao projecto podem assumir diversas dimensões [4]:

- Modelo 4D (tempo) - incorpora o factor tempo no modelo 3D BIM permitindo a simulação visual dinâmica da evolução da construção da obra seguindo a cronologia estabelecida no mapa de *Gantt*, apoiando a gestão do estaleiro, o fornecimento de materiais, o controlo do planeamento das actividades e dos recursos humanos;
- Modelo 5D (orçamentação) – associa os custos ao modelo 3D permitindo a análise económica e financeira do projecto, a obtenção da estimativa dos custos da obra em diferentes fases e a quantificação do material;
- Modelo 6D (sustentabilidade) – engloba a análise do consumo de energia permitindo obter uma estimativa do consumo energético com base no projeto desenvolvido em modelo 3D e a monitorização posterior do consumo em fase de ocupação;

- Modelo 7D (gestão e manutenção) - considera as actividades de gestão e de manutenção do edifício durante a sua ocupação;
- Modelo 8D (segurança) – apoia o planeamento de segurança em obra.

A geração do modelo 3D BIM e o desenvolvimento das várias tarefas que podem ser elaboradas sobre o modelo, permitem acrescentar valor ao desempenho do edifício. Podem ser analisadas perspectivas específicas em fase de projecto englobando concepção, interação com vista à optimização, diverso tipo de análises, geração de simulações, visualização global e detalhada e, ainda, produção de documentos actualizados e detalhados.

1.2 Objetivos

O objetivo principal da presente dissertação é, essencialmente, explorar a dimensão 8D do BIM focada na perspectiva de segurança dos trabalhadores e dos trabalhos em obra, propondo uma metodologia de trabalho útil no estabelecimento do planeamento da segurança na construção. No desenvolvimento do trabalho são utilizados três programas para a modelação 3D, o *Revit*, para o planeamento da construção, o *Microsoft Project*, e para a simulação da construção, o *Navisworks Manage*. Estas três aplicações são relativamente acessíveis e conhecidas dentro do ambiente de engenharia civil, sendo também disponíveis a nível universitário através de licenças de estudantes:

- O *Revit* é uma ferramenta de software pertencente à *Autodesk* com capacidades para a geração de modelos 3D, abrangendo as diversas especialidades, nomeadamente, arquitectura, as estruturas e os sistemas de wi-fi, redes prediais e HVAC. O programa permite visualizar o modelo 3D representativo do edifício a construir, recorrendo a perspectivas, cortes e desenhos obtidos de uma forma dinâmica a partir do modelo em processo de desenvolvimento do projeto. Estas capacidades avançadas de visualização ajudam a comunicar a informação contida no projecto desde a sua concepção até à sua conclusão. O conceito base da geração do modelo BIM é o uso de objectos paramétricos. Os objectos são seleccionados a partir da biblioteca de elementos disponível no sistema e são adaptados de acordo com a forma e constituição requeridas no projecto. Adicionalmente, no âmbito do presente trabalho é também utilizada a capacidade de geração de novas famílias de objectos, necessários na modelação do caso de estudo seleccionado, e da adição de novos parâmetros aos objectos existentes. A característica de incorporação de materiais ou de especificações aos parâmetros que compõem o modelo BIM, permite compreender o tipo de dados inserido no modelo e como a base de dados do modelo permite gerar os modelos nD BIM, que actuam sobre o modelo 3D criado;
- O software *Microsoft Project (MS Project)*, da *Microsoft*, é frequentemente utilizado pelos engenheiros e gestores do projecto, no controlo e planeamento de obra. Permite a definição de tarefas e a sua associação a períodos de tempo de execução, a atribuição de relações de dependências e a organização dos recursos humanos e de material em estaleiro;
- A ferramenta *Navisworks*, também da *Autodesk*, é utilizada na revisão e gestão de projectos. O sistema *Navisworks* possibilita a importação dos ficheiros provenientes dos softwares referidos. Este software permite a visualização em sobreposição dos projectos das diferentes

especialidades e a análise de conflitos entre disciplinas promovendo a optimização do produto final sem incoerências. Contudo, no contexto do caso de estudo, o sistema é utilizado para criar os modelos de 8D (planeamento da segurança em obra associada às diferentes etapas construtivas). O processo construtivo pode ser apresentado segundo uma simulação visual animada, sendo possível adicionar um avatar para conferir um maior grau de realismo ao cenário virtual observado e de percepção do projecto de construção.

A capacidade de interoperabilidade entre os sistemas envolvidos é analisada durante o desenvolvimento do trabalho. É seguido um procedimento de actuação inerente à modelação 3D, ao planeamento da construção e da actividade segurança em obra e à geração dos modelos 8D. O acompanhamento em obra, da construção e do modo de segurança, pode ser monitorizado, e os modelos criados podem ser actualizados em função do observado no decorrer real da obra. A aplicação da metodologia BIM é ilustrada com um caso de estudo, sendo feita a descrição das diferentes etapas do estudo. O caso de estudo refere uma estrutura de contenção de fachada, executada numa obra de reabilitação situada no bairro da Mouraria, em Lisboa.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está organizada em 7 capítulos, sendo complementada com anexos associados ao seu desenvolvimento:

- O presente capítulo estabelece o enquadramento da dissertação, os principais objectivos e a sua organização;
- O capítulo 2 aborda o conceito de BIM e a sua evolução histórica, com base numa pesquisa bibliográfica da especialidade e numa perspetiva de evidenciar o estado de arte do BIM ao nível nacional e internacional. O texto aborda a principal temática do presente trabalho, estabelecendo a ligação entre os objetivos pretendidos e a metodologia a ser aplicada;
- O capítulo 3 descreve o caso de estudo selecionado sobre o qual é desenvolvido o procedimento BIM a considerar;
- O capítulo 4 apresenta o processo de modelação 3D do caso de estudo com recurso ao programa *Revit*. Esta modelação inclui o edifício a ser reabilitado, o sistema de contenção de fachada, a envolvente do edifício e da grua torre utilizada nos trabalhos da obra;
- O capítulo 5 descreve o levantamento das características físicas do edifício, condicionantes da obra e os trabalhos a serem efectuados. Com base neste levantamento é efetuado o planeamento e calendarização da obra com o recurso ao programa *MS Project*. Finalmente, são identificados e classificados os riscos verificados na obra (virtual) e estabelecidas as medidas de segurança apropriadas;
- O capítulo 6 considera a fase de coordenação do projeto de construção. São importados para o *Navisworks Manage* os ficheiros anteriormente criados. Inicialmente, sobre o modelo 3D transferido é efectuada uma análise referente à compatibilização geométrica entre especialidades e são eliminadas as incorrecções e inconsistências verificadas. A informação transferida é utilizada na geração dos modelos 8D. É realizada uma análise à simulação do

processo construtivo no decorrer da obra e são identificadas as situações de risco e sugeridas actuações de prevenção;

- O capítulo 7 apresenta as principais conclusões e considerações da dissertação, complementada com uma apreciação do seu possível enquadramento a nível nacional.

2 Conceito e aplicabilidade do BIM

2.1 Origem

A forma de criar e utilizar a informação referente a uma obra é baseada, essencialmente, no traçado e interpretação do desenho, inicialmente à mão e posteriormente com recurso ao computador. A base de trabalho bidimensional (2D), na forma de desenho técnico, que embora traçado em suporte digital por recurso a computador, apresenta no conjunto de desenhos de um projecto, frequentemente, inconsistências, erros e omissões. Uma representação 3D do projecto é melhor entendível, constituindo uma base mais clara de comunicação entre os técnicos de uma equipa de projecto.

A primeira formulação documentada de BIM pode ser encontrada num trabalho de Chuck Eastwood em 1974 [5]. Posteriormente, Robert Aish [6] estabelece as bases para a incorporação de sistemas *Computer-Aided Design* (CAD) numa base conceptual da geração de um modelo 3D dinâmico e acessível, em formato digital. Aish [7] idealiza a criação de um sistema CAD capaz de suportar as diversas representações de um edifício de forma a encorajar a consistência e a coordenação de trabalhos no decorrer do projecto. Define as bases teóricas para um sistema CAD integrado como o BIM, combinando a modelação geométrica e representação simbólica.

É então formulada a premissa da informação estar compilada numa base de dados, acessível por computador. Este sistema, baseado numa visualização tridimensional da obra, contém a informação geométrica 3D e algumas propriedades específicas dos componentes construtivos como as paredes, as lajes ou os pilares. O sistema admite a criação de uma base de dados acessível permitindo automatizar a obtenção de quantidades de elementos. Este sistema, denominado *Building Design System* (BDS) mais tarde evoluiu para o actual conceito BIM em que o modelo é criado com base em objectos paramétricos [5].

A definição actual de BIM começa a surgir na década de 90 do século passado com a designação *Building Information Modelling*, documentada num artigo de van Nederveen e Tolman [8] em que é abordada a necessidade de modelação da informação referente ao projecto de construção e de um modo centralizado. É requerido que a manipulação da informação referente a um projecto de construção, que é desenvolvida de um modo independente por cada especialista, possa ser transferida entre parceiros de uma forma integrada. Esta premissa é o principal fundamento de uma metodologia que apoia a geração, a gestão e o controlo de toda a informação referente às diversas especialidades e actividades (modelos nD) que operam sobre a informação do projecto (modelo 3D).

2.1.1 Interoperabilidade e padrão IFC

Os distintos especialistas, envolvidos no desenvolvimento do projecto completo de um edifício ou infraestrutura, utilizam diferentes programas informáticos para a realização das respectivas componentes. O actual mercado de *software* disponibiliza diversas aplicações que actuam de um modo separado e sequencial. No entanto, o conceito BIM requer que os modelos gerados possam ser transferidos entre sistemas, de um modo eficaz, sem inconsistências ou omissões. A capacidade de transferência de informação correcta entre aplicações é referida, no âmbito BIM, como interoperabilidade. Apesar da recente investigação ao nível da análise do grau de interoperabilidade e do desenvolvimento de sistemas com uma crescente eficácia quanto à qualidade dos dados transferidos, subsistem ainda

relevantes limitações. Os técnicos devem poder comunicar por meio dos programas com confiança, pois o uso de sistemas de informação isolados resulta na identificação de dados inconsistentes ou redundantes, originando o incremento de dispêndio de tempo e de custos adicionais.

Nos anos 90 do século XX, por iniciativa da *Autodesk*, várias empresas com presença activa no sector da construção formam uma aliança cujo objectivo é a validação dos benefícios da interoperabilidade com um intercâmbio completo e correcto da informação, entre os vários sistemas existentes. O objectivo é criar e actualizar os *softwares* com um crescente nível de capacidade de interoperabilidade de forma a apoiarem eficientemente o desenvolvimento de projectos e a realização de distintas tarefas apoiadas no projecto. A Figura 2.1 ilustra, o grau de complexidade entre os diferentes intervenientes, com e sem uma interoperabilidade eficaz [9].

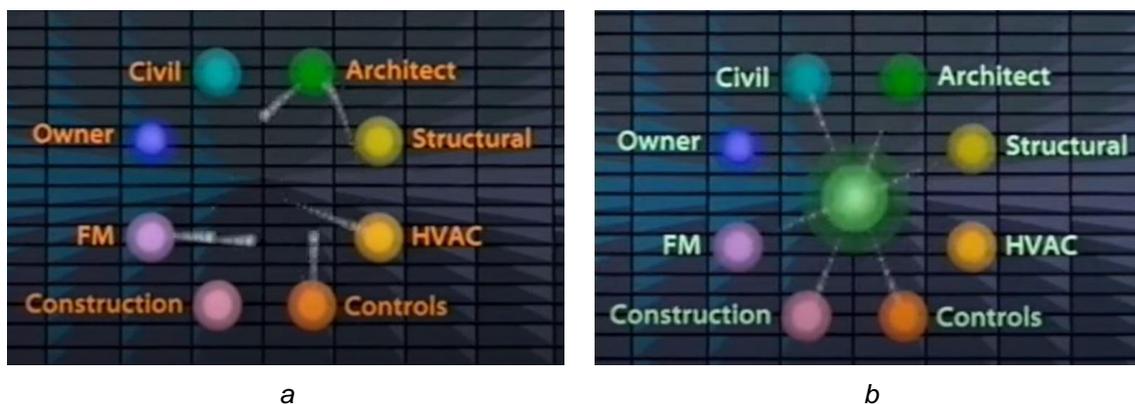


Figura 2.1 – Comunicação pré-operabilidade (a) e pós-operabilidade (b) [9].

O grupo criado assume, em 1996, o estatuto de organização sem fins lucrativos com a designação *International Alliance for Interoperability (IAI)*, com o objectivo de coordenar o desenvolvimento de padrões internacionais de transferência de informação. Este grupo de profissionais admite uma participação aberta a qualquer parte interessada e trabalha com o intuito de criar modos eficazes de transferência de dados e no estabelecimento de guias e regras gerais de actuação. Em 2008, a aliança é designada de *Building Smart*, responsável pela criação a actualização do formato de dados designado de *Industry Foundation Classes (IFC)*. Os sistemas de base BIM permitem arquivar os ficheiros neste formato possibilitando que os modelos criados num sistema possam ser entendidos noutros sistemas, sem perda de informação.

O arquitecto cria o seu ficheiro no formato do sistema modelador e pode arquivar o modelo no formato IFC para que possa ser utilizado por outros técnicos utilizando outros sistemas BIM. O engenheiro pode receber o ficheiro em formato IFC e actua sobre a informação importada no desenvolvimento da sua componente de trabalho. Os ficheiros transferidos contêm informação suficiente para o desenvolvimento de diversos tipos de análise ou de simulação.

2.1.2 Objectos paramétricos

O modelo BIM 3D, representativo de um edifício, é formado pelos objectos paramétricos seleccionados das bibliotecas de objectos disponíveis nos sistemas de base BIM. Os objectos paramétricos representam paredes, lajes, pilares ou portas e são seleccionados e adaptados a cada projecto. Os parâmetros dos objectos referem as propriedades físicas e comportamentais dos materiais que

compõem os elementos. Os objectos são definidos no início da fase de concepção do modelo BIM podendo ser alteradas e incrementadas posteriormente. Os objectos modelados admitem uma classificação, um espaço 3D e uma inter-relação, aspectos que proporcionam não só a verificação da sua consistência geométrica, mas também a sua posterior utilização no suporte a distinta actividade [10]. O conceito de objectos paramétricos torna-se então uma peça central do BIM, sendo a compreensão da sua diferenciação face aos objectos 3D tradicionais, fundamentais. [11].

Um modelo com estas características torna-se então um modelo paramétrico, respeitando as interações entre os diversos objectos que o compõem face a alterações introduzidas no modelo. Por exemplo, se a inclinação do telhado for alterada, as paredes de apoio a esse telhado são automaticamente corrigidas [11]. Estes objectos podem ser delineados em vários níveis da agregação, sendo assim possível definir uma parede e as suas componentes, tornando então possível a sua gestão a qualquer nível de hierarquização. Por exemplo, a alteração do peso de um dos constituintes de uma parede resultará na alteração do peso dessa parede num todo. [11].

As características físicas definidas inicialmente para os objectos podem ser alteradas ou informação nova pode ser acrescentada quando disponível. A possibilidade de incrementação de informação a estes objectos significa que o utilizador não precisa de conhecer toda a informação na fase inicial da modelação podendo esta ser actualizada à medida que o projecto vai sendo executado e adaptado às suas necessidades.

No presente caso de estudo, os modelos BIM criados utilizam na sua composição os objectos disponibilizados na biblioteca do sistema de modelação BIM e alguns objectos criados especificamente para uma representação realista da obra BIM na actualidade.

O sector da construção tem vindo a acompanhar o processo de conversão e a sua adaptação para utilização de novas tecnologias, embora, comparativamente com outras indústrias, demonstre ainda alguma lentidão.

A transição para uma base mais tecnológica e digital também se traduz num benefício a um nível financeiro. Como um dos principais prejuízos registados no sector corresponde à derrapagem de prazos e ao aumento de trabalhos repetidos, o modelo BIM centralizador pode suportar adequadamente o estudo atempado, em fase de projecto, e não, posteriormente, em processo de construção, fortemente penalizado por erros de projecto e omissões contractuais [12]. O modelo BIM promove uma melhor definição, compreensão e visualização do projecto.

Segundo um relatório elaborado por *Boston Consulting Group* (BCG) a digitalização dos processos de construção e de engenharia permite uma redução de custos na ordem de 10% a 15%, associadas à construção vertical, como edifícios comerciais e públicos [13]. O relatório refere ainda que a implementação do BIM deverá permitir alcançar uma redução nos custos de infra-estruturas a um nível global, na ordem dos 13% a 21%, até 2025.

Uma análise aos retornos em investimentos feitos com a implementação de BIM demonstram que o investimento é justificado só com base na detecção de colisões que não seriam detectadas por um profissional [14]. Segundo Rafael Sacks e Ronen Barak [15] o retorno obtido por um gabinete de projectistas de estruturas justifica e cobre o investimento feito ao terceiro ano de utilização, verificando lucros operacionais maiores do que sem a utilização de BIM.

Os engenheiros, arquitectos e outros profissionais devem, pois, adquirir conhecimentos sobre a temática BIM e o uso das ferramentas disponíveis. A par da actualização dos técnicos, o processo colaborativo e integrado requer uma adequada coordenação de projecto, surgindo a função do gestor BIM (*BIM manager*). Adicionalmente, as escolas técnicas têm vindo a incorporar nos seus programas curriculares o ensino desta temática, incluindo a manipulação de *software* de base BIM. O Instituto Superior Técnico tem vindo a oferecer ainda cursos profissionais com uma forte participação por parte dos técnicos em actividade [16]. Neste âmbito também surge um maior aparecimento de artigos de investigação relacionados com BIM, registando-se uma maior participação por parte de universidades em cujos países já contam com algum grau de implementação de BIM.[17]. O processo de disseminação da implementação do BIM no sector AEC tem vindo a ser explorado no ensino e formação de futuros engenheiros e na divulgação à comunidade, de uma forma mais generalizada, através da publicação de artigos relacionados com o BIM. Isto tem como objectivo colmatar uma das maiores barreiras à disseminação de BIM na indústria da construção, a falta de profissionais qualificados e com conhecimentos em BIM.

A implementação de BIM nas empresas leva a mudanças drásticas no funcionamento das mesmas, sendo um processo que demora algum tempo até verificar resultados e ter retorno. Em particular as licenças de *software* implicam um grande encargo financeiro para a empresa e não é viável garantir uma para todos os trabalhadores. Estima-se que uma licença *Revit* em regime de aluguer seja equivalente a cerca de 15% do custo directo de um posto de trabalho [18].

Empresas mais pequenas poderão não possuir o capital necessário para ultrapassar os custos de entrada à utilização destas tecnologias. No entanto, a utilização BIM na análise de conflitos e omissões num projecto tem um retorno positivo relativamente rápido perante o investimento necessário [19].

2.2 Implementação BIM no estrangeiro

Como forma de ultrapassar as barreiras identificadas nas empresas de construção e incentivar a implementação do BIM no sector, os governos de diversos países têm introduzido estratégias de adopção obrigatória. Aliás, é de referir que, em países desenvolvidos, o sector da construção regista a sua maior actividade em obras públicas, tendo o governo como seu principal cliente [20]. O papel dos governos na implementação BIM é essencial para a rápida implementação do BIM na indústria da construção [21].

2.2.1 Estados Unidos

Nos Estados Unidos, a implementação de BIM teve início nos anos 70 do século XX, mas apenas na década de 90, com a criação de ficheiros IFC, a sua adopção é mais evidente. Em 2003, a *General Services Administration* criou um programa denominado *National 3D-4D-BIM Program* que estabelece normas e directrizes de apoio à utilização de BIM. A adopção do BIM pelo sector da construção subiu de 28% em 2007 para 71% em 2012 [22].

Em 2010 *Wisconsin* tornou-se no primeiro estado a requerer a utilização de BIM em todos os projectos públicos com um orçamento superior a 5 milhões de euros, e, embora não seja requerido por lei em todos os estados a sua utilização, é cada vez mais frequente. Para efeitos de contexto numérico e da importância de implementação de uma metodologia que pudesse melhorar o desempenho e

comunicação, o Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos EUA (NIST) emitiu um relatório que estima que 15,8 biliões de US\$ são perdidos devido a comunicações ineficazes no sector da construção civil [23].

2.2.2 Europa

Dado a crescente utilização e dinamização por parte dos países europeus a Comissão Europeia co-financiou a criação de dois grupos de trabalho para impulsionar e auxiliar na generalização do BIM na Europa:

- o grupo CEN/TC 442 tem o objectivo de criar a normalização de adequação da forma tradicional de trabalho ao BIM;
- o grupo *EU BIM Task Group* tem a intenção de auxiliar os governos e entidades públicas a impulsionar BIM, tendo recentemente publicado *Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector*.

Actualmente, são os países **escandinavos**, os maiores utilizadores da metodologia na concepção e manipulação de projectos, em plataformas BIM, na Europa. A Finlândia foi o país pioneiro na aplicação do conceito embrionário do BIM e no desenvolvimento do primeiro *software* BIM, da Teckla. A Finlândia começou a sua utilização de BIM em 2001, sendo que em 2007, por iniciativa da *Senate Properties* (departamento que trata dos bens imobiliários públicos), tornou-se obrigatório a utilização de ficheiros em formato IFC e de modelos BIM em todos os projectos públicos. Na Noruega, apesar de apenas em 2016 ter sido criada a legislação oficial, a utilização de BIM começou em 2011, por iniciativa da *Statsbygg* (empresa controlada pelo estado que gere projectos e gestão de instalações publicas) que adoptou ficheiros IFC e os modelos BIM em todos os seus projectos. A Suécia possui desde cedo um nível de adopção de BIM elevado existindo vários artigos e recomendações sobre a sua implementação mesmo sem directrizes ou iniciativa do governo. Em 1991 a *Swedish Standards Institute* publicou uma série de guias com o objectivo de promover a utilização de BIM. Em 2014, a *BIM Alliance Sweden* reúne os diversos intervenientes no sector da construção, englobando os sectores público e privado, para dinamizar a implementação de BIM, contando este grupo com cerca de 170 empresas. Na Dinamarca a utilização de BIM iniciou em 2000, atingindo em 2006 o seu uso por 50% dos intervenientes na construção, sendo desde 2007 obrigatória. Nestes países, o ensino da metodologia BIM tem vindo a ser introduzida nas faculdades e politécnicos, sendo uma componente importante na formação de estudantes nos cursos de engenharia e arquitectura.

O governo do **Reino Unido** já iniciou a obrigatoriedade da sua adopção. Este país apresenta uma das maiores taxas de utilizadores de BIM, sendo hoje uma referência a um nível mundial. Em 2011 o governo definiu como objectivo reduzir os custos no sector público da construção em 20%, requerendo o apoio na metodologia BIM. Em 2016, um estudo efectuado pela National Building Specification (NBS) indica que a utilização de BIM por parte das empresas de construção subiu de 13% para 54%. Neste mesmo ano o governo implementou a obrigatoriedade de utilização de BIM em todos os projectos públicos, consolidando a necessidades das empresas aderirem à metodologia. Um estudo, de 2019, elaborado pela NBS, refere que 49% das empresas de construção afirmam que os seus lucros aumentaram e reconhecem que é mais fácil trabalhar a um nível internacional utilizando plataformas BIM [24].

A **Alemanha** começou a verificar uma diminuição nos lucros da construção, bem como uma diminuição de obras públicas neste último século, atribuindo em parte a responsabilidade à ineficácia na elaboração dos diversos projectos públicos, com custos acima do previsto. A Alemanha tardou a implementar a utilização de BIM, causada pelas práticas e mentalidades conservadoras, e pela dificuldade da implementação de normas nacionais comuns, devido a divisão administrativa do país. Em 2015, foi criado o *Digital Building Platform* um comité com o objectivo de desenvolver normas de utilização de BIM. No final de 2020 entrou em vigor a legislação que obriga a utilização do BIM em todos os concursos públicos.

Em Dezembro de 2018 **Itália** aprova a legislação que prevê tornar obrigatório a utilização de BIM para todos os projectos de novos edifícios públicos e infra-estruturas de grande escala. Esta legislação auxiliou a adopção progressiva de BIM, sendo já desde 1 de Janeiro de 2019 obrigatória a sua utilização em construção cujo orçamento seja igual ou superior a 100 milhões de euros. Prevê-se que, a partir de 2025, em todos os projectos públicos seja requerida a utilização do BIM.

Em Espanha, o governo inicia, em 2012, a sua estratégia de implementação de BIM, apoiada na associação espanhola de certificação, AENOR, com a criação de um subcomité no âmbito de normas BIM. A partir de 2019 a utilização do BIM é obrigatória em todas as obras públicas e infra-estruturas.

Em **Portugal** não há ainda proposta de legislação, no entanto foi criada a Comissão Técnica de Normalização BIM, CT 197. Esta comissão, coordenada pelo Organismo de Normalização Sectorial do Instituto Superior Técnico (ONS/IST) é a entidade delegada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ) como responsável pelo desenvolvimento da normalização no âmbito do desenvolvimento da normalização dos sistemas de classificação, modelação da informação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção. Como principais acções desenvolvidas ou em desenvolvimento, salientam-se as seguintes: guia para a contratação BIM; plano de execução BIM; especificações para bibliotecas de objectos e propriedades; metodologias BIM; plano de implementação e maturidade BIM [25].

A mesma comissão técnica desenvolveu um plano estratégico para implementação do BIM em Portugal, seguindo uma estrutura faseada e concebido para estar completamente implementado até 2025.

2.3 Segurança na obra

O sector da construção é, actualmente, um dos sectores mais propícios a acidentes em trabalho, tanto ligeiros como graves. Segundo dados recolhidos do site do Instituto Nacional de Estatística o sector da construção contabiliza 13% de todos os acidentes ocorridos no trabalho em todas as indústrias empregadoras (a 3ª mais alta), sendo que contabiliza 25% de todos os acidentes mortais ocorridos (a mais alta). Estes dados são referentes ao ano mais recente contabilizado (2018) e cuja base de dados foi actualizada a 10 de novembro de 2020.

Uma tendência gravosa e constante no decorrer das últimas décadas, o que demonstra a perigosidade e o risco a que estão sujeitos os trabalhadores nesta indústria.

Na crescente adaptação do sector à tecnologia digital, tem vindo a ser verificado algum incremento de eficiência na construção, mas também na segurança durante a execução da obra. A utilização da

metodologia BIM constitui uma inovadora perspectiva, que pode trazer benefícios no auxílio ao planeamento da segurança e análise de risco em obra.

Uma das causas para a sinistralidade deste sector poderá ser a baixa importância atribuída na identificação de riscos e a fraca formação dada aos trabalhadores. Esta desvalorização pode ser atribuída ao facto de o foco principal da concepção ser, geralmente, o custo de materiais e mão-de-obra, e o estabelecimento e cumprimento de prazos. Adicionalmente, a importância e pressão de cumprir prazos, para evitar derrapagens dos mesmos e custos adicionais, também é um factor importante que leva à existência de acidentes, pois os trabalhadores desvalorizam ou ignoram os riscos e perigos existentes em obra [26].

A etapa mais adequada para estabelecer um planeamento de segurança é durante a concepção do projecto, pois a capacidade de realizar alterações diminui à medida que o projecto atinge níveis mais avançados (como se ilustra na Figura 2.2).

:

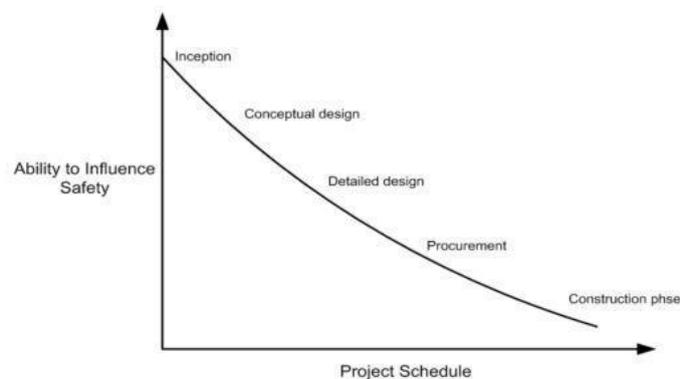


Figura 2.2 - Gráfico que relaciona a capacidade para influenciar a segurança versus o planeamento e decorrer do projecto [27] e [28].

A noção de prevenção de risco, *Accident Prevention Through Design* (PTD) [29], consiste na identificação sistemática e mitigação dos riscos de segurança que os trabalhadores poderão encontrar na obra, ainda durante a fase da concepção, criando assim desde o início um espaço mais seguro. Riscos que não poderão ser resolvidos nesta fase serão então comunicados de forma que o responsável pela obra possa planejar os trabalhos a executar ciente dos mesmos.

Outro factor para a alta incidência de riscos será a falta ou ineficaz comunicação das situações de risco. A informação relevante é tradicionalmente comunicada através da distribuição de equipamentos de protecção individual (EPI's) e formações, realizadas sobre a interpretação do desenho 2D. Os modelos BIM permitem a visualização espacial. Podem ainda envolver os trabalhadores em simulações e visualizações dos trabalhos da obra que irão efectuar e do espaço associado [30]. O modelo 4D permite criar simulações virtuais do decorrer da obra, comunicando visualmente e com maior eficácia os seus perigos e medidas a serem tomadas, levando a um aumento da qualidade das formações dadas aos trabalhadores.

Uma investigação conduzida por burke e all[31] estabeleceu uma relação entre os métodos de formação de segurança existentes e os eventuais acidentes. A investigação afirma que uma formação que requeira uma participação e envolvimento mais activo por parte dos trabalhadores resulta na

redução de acidentes, em comparação com as formações mais passivas dadas com base em palestras e documentação em texto.

Um outro estudo, sobre a possibilidade de formação de segurança com base em visualizações, revelou que um aumento da consciencialização das principais causas de acidentes pode contribuir para a sua prevenção [32].

Ainda outro estudo, realizado com o objectivo de verificar a eficiência da utilização da metodologia BIM, baseada em visualizações na formação dos trabalhadores [33], revelou que os trabalhadores que receberam a formação BIM obtiveram uma melhor classificação, demonstrando uma melhor compreensão dos assuntos leccionados, em comparação com o grupo que assistiu a uma formação por meios tradicionais.

Este estudo abrangeu também os supervisores e os responsáveis pela segurança das obras, num total de 54 pessoas. A média de idade deste grupo é de 40 anos e com experiência de trabalho 13 de anos em média. De acordo com este grupo, o modelo 4D BIM traduz, de um modo bastante realista, o ambiente e as condições de trabalho esperadas em obra, promovendo a participação activa dos trabalhadores. O interesse manifestado conduziu a uma melhor captação e retenção da informação fornecida [34].

A detecção de conflitos entre as diferentes especialidades que constituem o projecto, influencia indirectamente a segurança. Ao ser assegurada, em fase de concepção, a compatibilidade geométrica entre as diferentes especialidades existentes no projecto, ficam reduzidos as eventuais situações de conflito e é melhorado o estabelecimento do planeamento e sequenciação entre actividades de obra. Assim, resulta numa construção mais segura devido a uma estimativa e compreensão mais realista de toda a logística dos trabalhos a serem realizados e do espaço da obra.

No presente trabalho, de forma a atribuir uma relevante importância à segurança e à prevenção de acidentes na fase de concepção, foi utilizada a metodologia BIM na concepção dos modelos 8D, com recurso ao programa *Navisworks Manage*.

3 Modelo de arquitectura

De forma a ilustrar a metodologia, foi seleccionado um caso de estudo que consiste numa obra de reabilitação, com a conservação da fachada, por auxílio de um sistema de contenção, em Lisboa. Em relação ao caso de estudo foram modelados os elementos de arquitectura, com a excepção de janelas e portas, a envolvente exterior, o sistema de contenção, e foi efectuado o estudo de segurança em obra.

3.1 Caso de estudo

O caso de estudo baseia-se numa obra a decorrer na zona da Mouraria, em Lisboa. No início deste trabalho a obra encontrava-se com apenas as suas paredes de fachada erguidas, com auxílio do sistema metálico de contenção de fachada. A sua localização e topologia está incluída na Figura 3.1.:

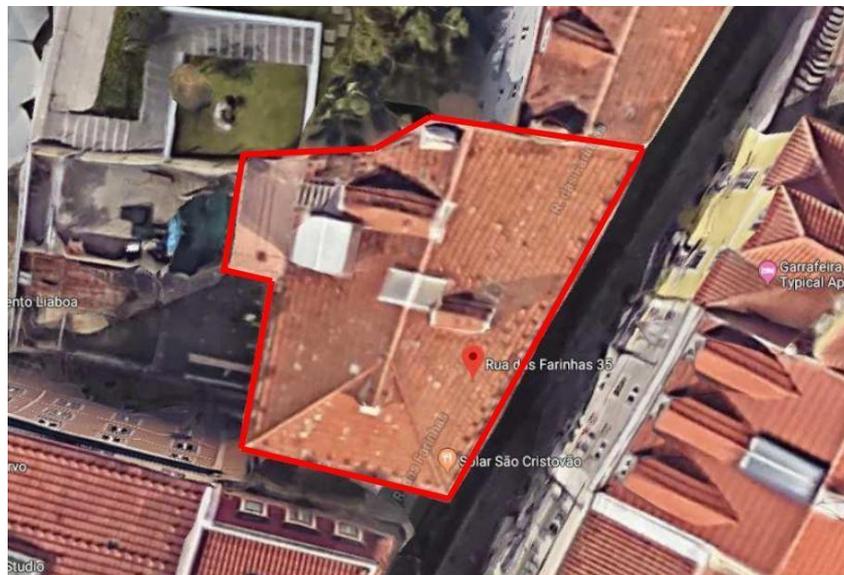


Figura 3.1 - Localização da obra (figura retirada do *google maps*).

O edifício urbano é destinado a uso residencial e é constituído por 5 pisos acima do solo, incluindo a cobertura, e dois em cave. Esta obra de reabilitação consiste na demolição integral do interior mantendo apenas as paredes de fachada. A reconstrução é destinada a uso residencial. No processo, foi necessária a implementação de um sistema provisório de contenção de todas as fachadas. Este tipo de técnica é cada vez mais corrente pois permite que os edifícios se adaptem a novas exigências funcionais mantendo o seu carácter histórico, cultural e arquitectónico. Foi utilizado um sistema de suporte modular estrutural metálico SHORFLEX HD do tipo pórtico.

O edifício, tal como os restantes da sua zona, apresenta uma construção pré-pombalina, tendo sobrevivido ao terramoto de 1755 [35]. Estes edifícios, considerados de qualidade por terem resistido ao terramoto e, tratando-se de edifícios pré-período de construção pombalina, são constituídos por um rés-do-chão em alvenaria de pedra e pavimento em arco, que serve de suporte aos pisos superiores com uma estrutura vigada em madeira e com revestimento exterior das paredes em alvenaria mista [35];

- As fundações são directas, muito rudimentares de fraca qualidade e de constituição heterogénea;
- As paredes de fachada são constituídas por alvenaria mista formada por blocos de pedra de vários tipos e pedaços de tijolo, ligados através de uma argamassa de cal e areia;
- Devido à localização ser na cidade de Lisboa e com uma abundância de material calcário, o pavimento do piso térreo é constituído por lajes de pedra calcária;
- Os pavimentos dos pisos superiores são constituídos por um sistema de vigas rudimentares, que suportam o soalho em madeira, ficando o conjunto de vigas apoiadas nas paredes de alvenaria da fachada principal e numa parede de alvenaria paralela a estas, situada aproximadamente a meio vão. O revestimento aplicado nos pavimentos era constituído por soalho em madeira colocado sobre um fasquiado em madeira;
- A cobertura, apresenta três águas, e é composta por uma estrutura em madeira, revestida na sua parte superior por um tabuado, onde assenta o telhado. O revestimento é constituído por telhas de canudo ligadas por argamassa;
- O acesso aos pisos superiores é efectuado através de escadas, situadas na zona central do edifício. Estas escadas que vencem com um único lanço todos os pisos, denominadas escadas de tiro, e são suportadas por duas vigas obliquas apoiadas nas vigas dos pavimentos;
- O revestimento das pedras é composto por um reboco de argamassa de areia e cal aérea, com uma espessura superior a 5 cm [36].

3.2 Criação de níveis

Para efectuar a criação do modelo 3D optou-se pela utilização do programa *Revit*. Na organização deste modelo considerou-se duas especialidades diferentes: arquitectura e estruturas (estrutura de contenção). Foi iniciado o processo de modelação com a selecção de *Arquitectural template*, facilitando o desenvolvimento do modelo, pois assim o programa disponibiliza as diversas opções de apoio, como as famílias de objectos paramétricos, unidades e padrões de preenchimento.

Introduzidos os dados de trabalho iniciais foram de seguida introduzidos os níveis relativos a cada piso. Estes níveis, designados adequadamente, são associados a cotas e actuam como planos de referência para a imposição de restrições verticais a objectos paramétricos como paredes ou pilares. Foram considerados sete níveis como se ilustra na Figura 3.2.

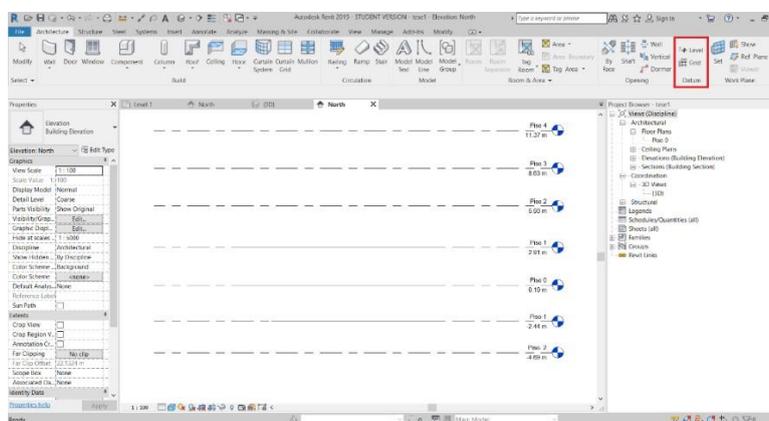


Figura 3.2 - Comando e representação dos níveis do caso de estudo.

3.3 Geração de fachadas

Para a geração do modelo das paredes de fachadas, foram fornecidos, pelo engenheiro responsável da obra, vários desenhos (2D) do projecto constituídos por plantas e alçados, em formato DWG, os quais foram importados para o *Revit* (Figura 3.3).

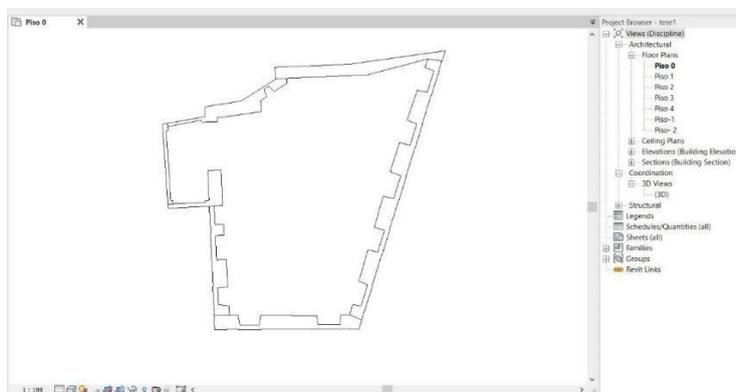


Figura 3.3 – Representação da planta do piso 0 após importação para o *Revit*.

Dado que as paredes de fachada apresentam espessuras variadas e ângulos erráticos ao longo do seu comprimento foi necessária a criação directa da sua geometria de um modo específico, pois os objectos paramétricos existentes na biblioteca de elementos do *Revit*, não permite a modelação rigorosa das paredes.

Dada à natureza única das paredes de fachada, recorreu-se ao comando *Model in Place*, acessível através do ícone *Component*, presente na secção *Build* no separador *Architecture*. Uma vez seleccionado este comando, é apresentado o menu e seleccionada a opção *Walls*. Devido à necessidade de um traçado livre da configuração das paredes foi seleccionado o ícone *Extrusion*. Este processo permitiu modelar o contorno das paredes sobre as plantas importadas. A restrição em altura, em cada piso, é indicada através da atribuição de valores às variáveis *Extrusion End* e *Extrusion Start*. As paredes das fachadas apresentam vãos correspondentes a portas e janelas retiradas. O comando aplicado foi *Void Extrusion* acessível através do ícone *Void Forms* (Figura 3.4).

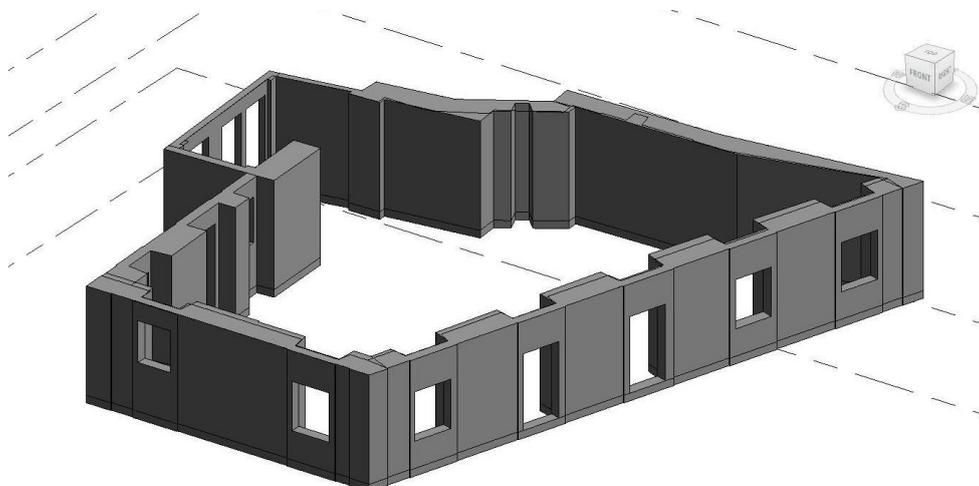


Figura 3.4 - Modelação paramétrica das paredes e inserção de vãos.

Como o material a atribuir às paredes não se encontra disponível na biblioteca de matérias do *Revit*, pois corresponde a alvenaria de material pobre, foi necessário recorrer a uma pesquisa via internet, de forma a permitir a selecção do tipo de material classificado como *Stone Venner* (Figura 3.5), sendo atribuído o material identificado por *Stone Cypress countryside*. A pesquisa e transferência de materiais ou de objetos paramétricos é facilmente permitido entre projectos.

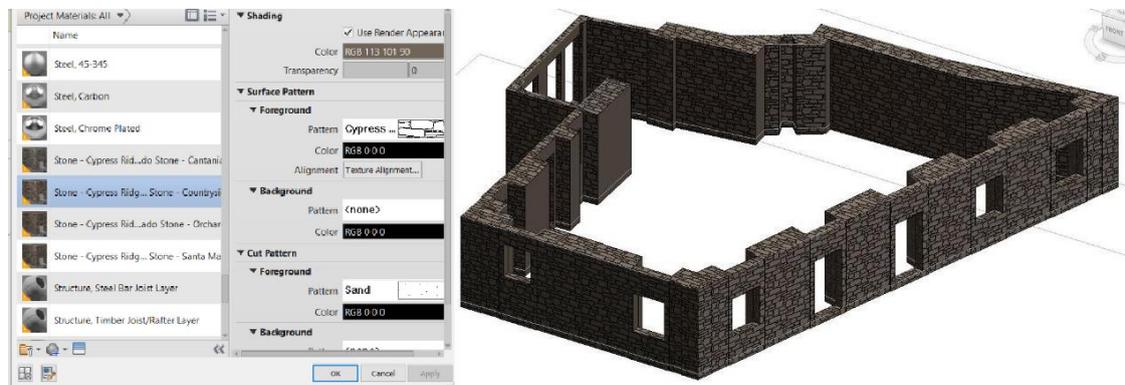


Figura 3.5 - Selecção do tipo de material para as paredes de fachada.

Para o acabamento foi criada uma camada de reboco também modelada através da funcionalidade *extrusion*, sendo esta ajustada à superfície exterior das paredes (Figura 3.6).

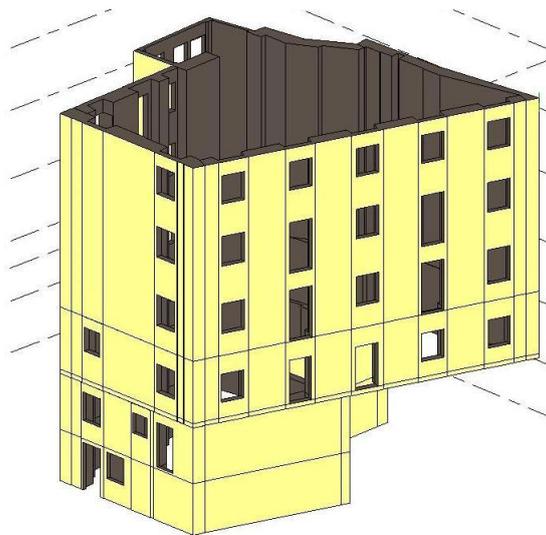


Figura 3.6 - Modelo 3D completo das paredes de fachada após acabamento.

Tanto a representação do tipo de material como o reboco colocado na fachada apenas contribuem para fins estéticos e de melhor visualização e compreensão neste trabalho. As paredes interiores foram modeladas com a mesma abordagem e as lajes através de objectos já disponíveis em *Revit*.

3.4 Criação da cobertura

A modelação da cobertura foi efectuada em duas fases, a estrutura em madeira e o revestimento em telha cerâmica. Devido à geometria irregular do perímetro do edifício, foi necessário efectuar uma abordagem específica, recorrendo ao ícone *Roof by footprint*. Cada água é criada como plana, sendo posteriormente, ajustada às inclinações requeridas. Deste modo, foram definidos pontos específicos

da cobertura (*Add point*), alterada a sua cota (*Modify Sub Elements*) e criados espigões (*add split line*), permitindo a criação da cobertura com a geometria desejada. Foram criados dois pontos com uma cota de 2,60 metros, em relação ao piso da cobertura, e definida uma cumeeira horizontal (Figura 3.7).

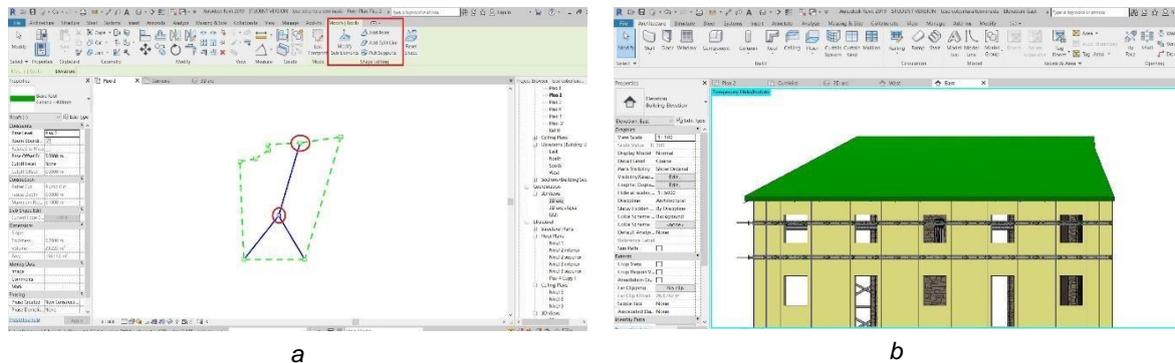


Figura 3.7 – Modelação da geometria da cobertura: planta (a) e alçado principal (b).

A configuração definida permite a adaptação do tipo de laje de cobertura que foi seleccionada e ajustada de acordo com a composição requerida. A laje de cobertura é constituída por três camadas (Figura 3.8): fasquiado de madeira, argamassa e telha de fibrocimento, ordenadas do interior para o exterior

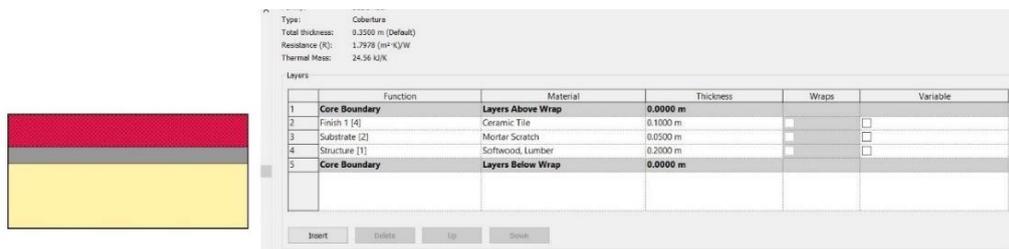


Figura 3.8 - Constituição da laje de cobertura.

Por fim procede-se à modelação do acabamento da cobertura, as telhas. As telhas foram modeladas num ficheiro de família *Generic Pattern*, como ilustrado na Figura 3.9.

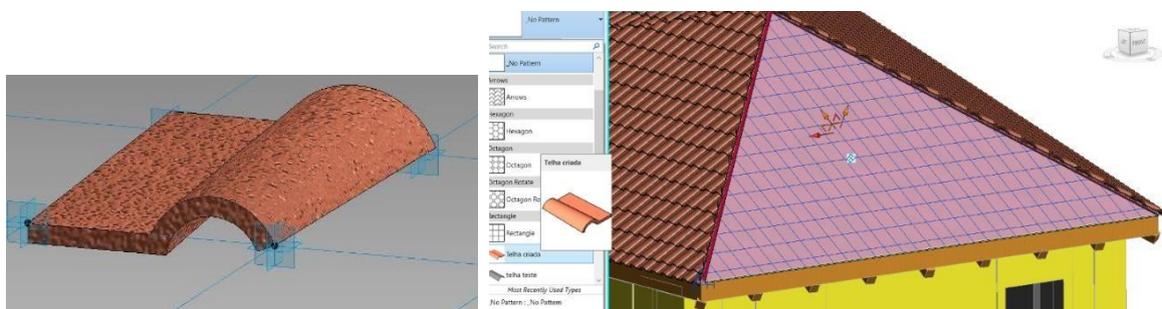


Figura 3.9 - Modelação do elemento telha e sua aplicação como revestimento da cobertura.

É delimitada a superfície das águas da cobertura e, utilizando o comando *Create Form: Solid Form*, é criada a massa sobre a qual assentaram as telhas. Com recurso ao *Divide surface*, cada água é representada com uma grelha, com o padrão adaptado às dimensões da telha. Sobre cada água, o

padrão é orientado de forma a apresentar uma grelha paralela à linha de cada beiral. Para completar a modelação da cobertura procede-se à colocação do rincão que separa cada água e a cumeeira. Estas componentes foram descarregadas a partir do *site* de *internet RevitCity* [37], que inclui uma vasta diversidade de objectos já modelados e disponibilizados para utilizadores do *Revit* (Figura 3.10).

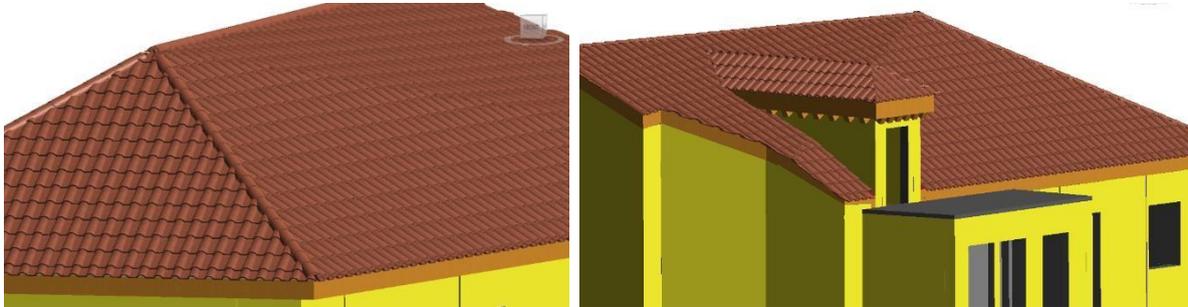


Figura 3.10 – Cobertura com a representação de elementos de rincão e inserção de elemento de sacada.

A cobertura apresenta ainda um elemento de sacada. A modelação desta componente é realizada através dos comandos *Wall: Architecture* e *Roof by Footprint* ambas presentes na secção *Build* do separador *Architecture*. Foi ainda utilizado o comando *Join/Unjoin Roof*, para efectuar a ligação entre os diferentes corpos da cobertura (Figura 3.10).

A modelação da estrutura em madeira foi efectuada com base num levantamento documental sobre este tipo de construção, pois os dados relativos à cobertura existente, entretanto demolida, era insuficiente [38]. A modelação do sistema de vigas foi efectuada recorrendo ao comando *Beam System* que permite a criação de uma série de vigas associadas a um plano, neste caso, a cada água. Foi inicialmente seleccionada uma viga de secção rectangular, atribuído um material (madeira) e indicado o espaçamento entre elementos. Na Figura 3.11 é possível visualizar a estrutura colocada sob a cobertura. Para facilidade de visualização foi atribuída uma certa transparência à cobertura.

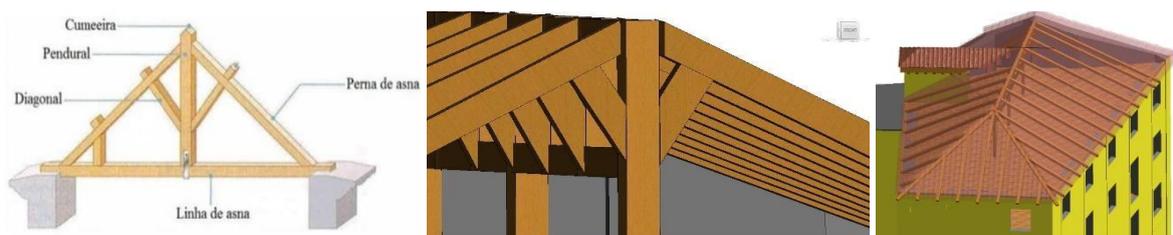


Figura 3.11 – Modelação da estrutura de madeira de suporte à cobertura [38].

Para comunicar mais eficientemente como devem ser representados pormenores construtivos na obra referentes à ligação das vigas foram utilizados os comandos *Beam/Column Joins* (para estabelecer a ligação entre elementos verticais e horizontais) e *Coping* (para efectuar o corte e inserção de elementos coincidentes), presentes na secção *Geometry* do separador *Modify*, como se pode observar na Figura 3.12.



Figura 3.12 – Pormenores construtivos da estrutura de madeira e cobertura final.

3.5 Envolvente exterior

Por fim, foram modelados os elementos que constituem a envolvente do edifício. Foram geradas a superfície do terreno, as paredes de contenção do terreno, as escadas exteriores e o arruamento adjacente (Figura 3.13). Em relação ao processo de modelação destes elementos, não é apresentada uma descrição detalhada, pois são componentes que não são fundamentais para o projecto de contenção, principal objectivo da dissertação. No entanto, a sua modelação confere um maior grau de realismo e de pormenorização ao modelo. Adicionalmente, permite analisar a colocação do estaleiro, programar a descarga de materiais e outras logísticas que estão condicionadas ao local da obra e espaço envolvente.

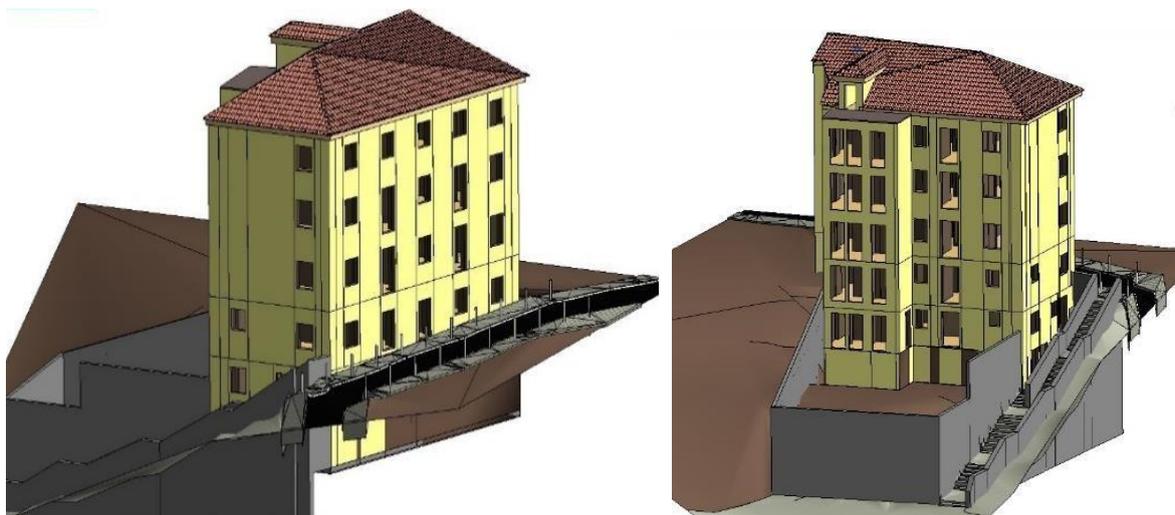


Figura 3.13 - Modelo de arquitectura e da envolvente exterior.

4 Modelo da estrutura de contenção

4.1 Descrição do sistema de contenção

A informação sobre o sistema de contenção foi retirada da memória descritiva referente ao projecto estabelecido, fornecida pelo engenheiro responsável. Os desenhos mais significativos do projecto podem ser consultados em Anexo A, Anexo B, Anexo C e Anexo D

O sistema é constituído por elementos metálicos dispostos pelo interior e pelo exterior do edifício, de forma a conter as paredes das fachadas:

- A estrutura interior é constituída por 5 fiadas de perfis horizontais duplos (Perfis SHORFLEX), contra-ventados entre si por barras horizontais e diagonais (SHORFLEX), bem como todas as peças de ligação e acessórios do sistema;
- Para cada piso/nível existem 2 perfis metálicos SHORFLEX que são colocados no interior e exterior da fachada, estando ligados entre si através de barras DYWIDAG 15/17 mm (nos vãos existentes), formando assim um bloco;
- Este sistema encontra-se ligado a um pórtico metálico (parte exterior), colocado no logradouro do edifício, constituído por perfis verticais (Perfis SHORFLEX) e barras verticais e diagonais (SHORFLEX);
- A sua base encontra-se encastrada a um maciço de betão e, devido ao facto deste edifício se encontrar numa zona bastante inclinada, o pórtico tem também uma função de resistência às cargas adicionais criadas no processo.

Assim, as componentes principais da estrutura reticulada são os perfis metálicos 2C HD (*Heavy Duty*) enformados a frio em aço S355. A utilização de diagonais e barras horizontais aumentam a capacidade de resistência a cargas e garantem uma maior estabilidade da estrutura. Tendo em conta o facto de se pretender que o sistema seja reutilizado o maior número de vezes possível, as ligações entre os elementos são aparafusadas, encavilhadas ou de encaixe, eliminando a necessidade de soldadura em obra.

A verificação de segurança da capacidade resistente, tanto da estrutura de contenção como das fundações e do edifício, não foi considerada no presente trabalho, por não ser objectivo de estudo.

4.2 Geração de componentes

Como a biblioteca do *Revit* não possui os elementos pretendidos, foi necessário proceder à sua modelação. Esta modelação foi baseada na memória descritiva fornecida. O sistema tem como componente central o perfil 2C HD, sendo também constituído por uma vasta gama de acessórios, com o propósito de ligar vários elementos que convergem num nó, ou ao longo dum elemento, com a possibilidade de realizar diferentes ângulos de ligação através de peças rotuladas e prevendo alguns elementos com comprimento ajustável, tornando assim o sistema reutilizável. O *software* permite criar famílias específicas de vários tipos dependendo da escolha do *template* seleccionado:

- Foram utilizadas as famílias de objectos paramétricos do tipo *Metric Structural Framing - Beams and Braces*, pois trata-se de elementos estruturais horizontais perfis (Figura 4.1) e barras (Figura 4.2):

- Perfil 2C HD, composto pela união de 2 perfis “c” em aço S355 galvanizado a quente dotados de perfuração longitudinal com o objectivo de aligeirar o perfil e permitir realizar facilmente ligações;
- Perfil 2C e 2C +C + C extensíveis – Composto por perfil 2C + C superior (alma aparafusada ao banzo superior do 2C) + C inferior (alma aparafusada ao banzo inferior do 2C) + ponteira regulável para perfil 2C (com furação para ligação cavilhada);
- Perfil 2C extensível – Composto por perfil 2C + ponteira regulável para perfil 2C;

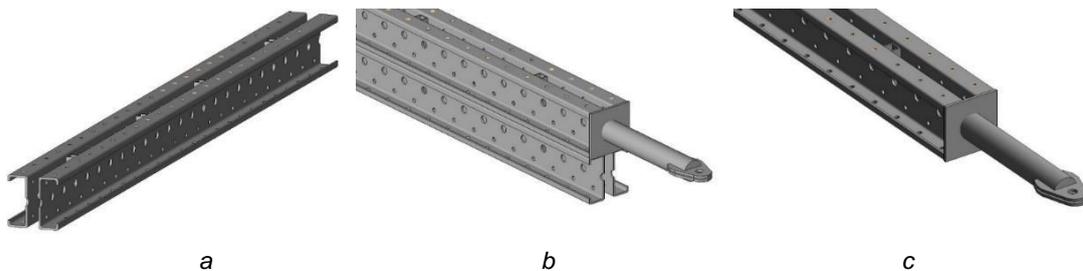


Figura 4.1 – Perfis: Perfil 2C HD (a), Perfil 2C e 2C +C + C extensíveis (b) e Perfil 2C extensível (c).

- Barra horizontal e diagonal vertical SHD - Elemento tubular com ponteira soldada para ligação cavilhada (permite vários ângulos);
- Barra Reforçada e Diagonal Reforçada SHD – Elemento tubular com ponteira soldada para ligação cavilhada (permite vários ângulos);
- Escora Estabilizadora Simples e Ancoragem – Composto por tubo central, fuso roscado TR38. As ancoragens foram utilizadas em situações em que não era vantajoso estabelecer a ligação entre a fachada e o terreno.

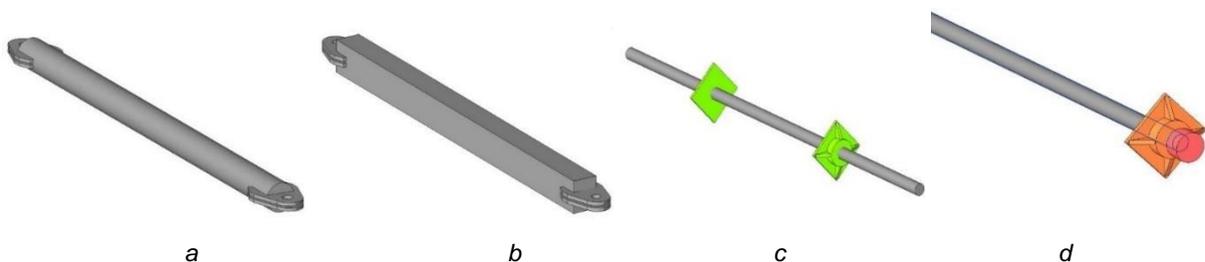
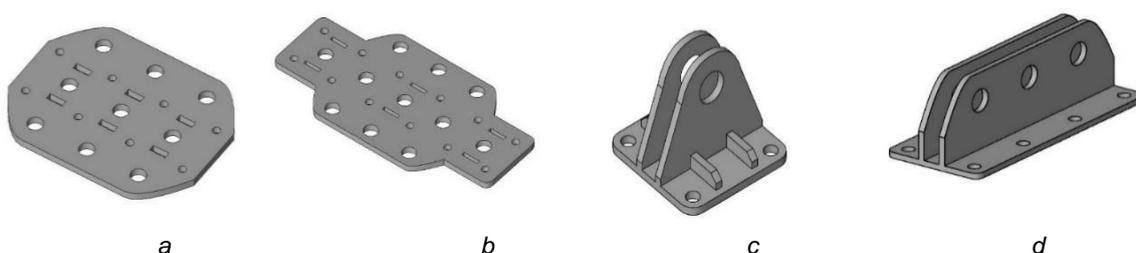


Figura 4.2 – Barra horizontal e diagonal vertical SHD (a), barra reforçada e diagonal Reforçada SHD (b), escora estabilizadora simples (c) e ancoragem estabilizadora simples (d).

- Foram utilizadas as famílias de objectos paramétricos do tipo *Metric Generic Model face based*. para modelar as componentes que estabelecem a ligação entre os perfis 2C HD e as barras horizontais e diagonais, através de ligações aparafusadas (Figura 4.3).



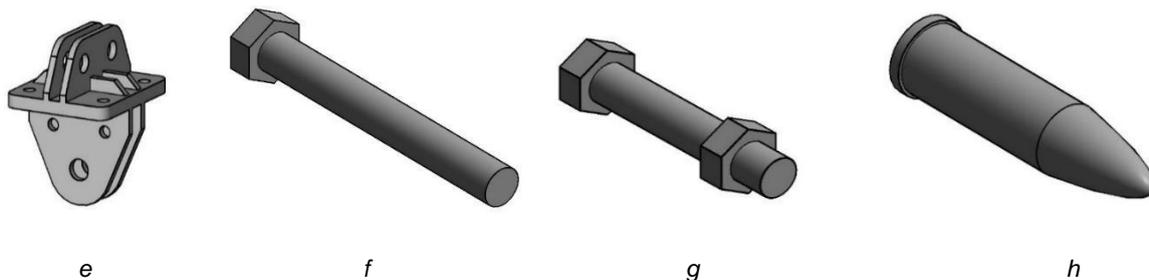


Figura 4.3 –Nós de ligação: SHD 2C 450mm (a) e 2C 700mm (b); Nós laterais: SHD 2C 170mm (c) e SHD 2C 420mm (d); Adaptador: SHD Perflex (e); Parafusos M24 (f) e M16 (g); e Cavilha: Ø32 (h).

- Foi utilizada a família de objectos paramétricos do tipo *Metric Structural Foundation* (Figura 4.4) devido a tratar-se de uma componente de fundação estrutural. Esta componente permite ligar os elementos verticais à fundação em betão armado e simultaneamente a elementos horizontais ou diagonais na direcção de maior e menor inércia do 2C HD.

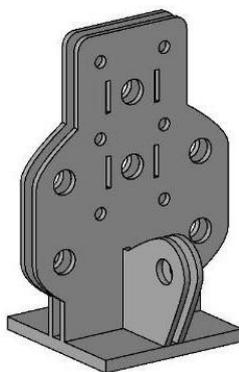


Figura 4.4 - Sapata SHD 2C.

Os objectos paramétricos modelados foram importados para o projecto, recorrendo ao ícone *Load family*, presente na secção *Load from Library* do separador *Insert*.

4.3 Perfis horizontais

Para se iniciar o processo de modelação do sistema de contenção é necessário seleccionar o *template* de estruturas. São definidos os níveis correspondentes às cotas dos perfis do sistema de contenção de fachada, tendo sido considerados cinco níveis. Em cada piso são colocados inicialmente os perfis horizontais dispostos no interior e no exterior de cada fachada. São utilizados os elementos Perfil 2C HD, as escoras e as ancoragens estabilizadoras simples e procede-se à sua colocação no espaço geométrico do projecto. Tomando como exemplo o nível 1, a Figura 4.5 ilustra a planta do nível 1 após a colocação dos elementos horizontais, destacados com contorno a vermelho.

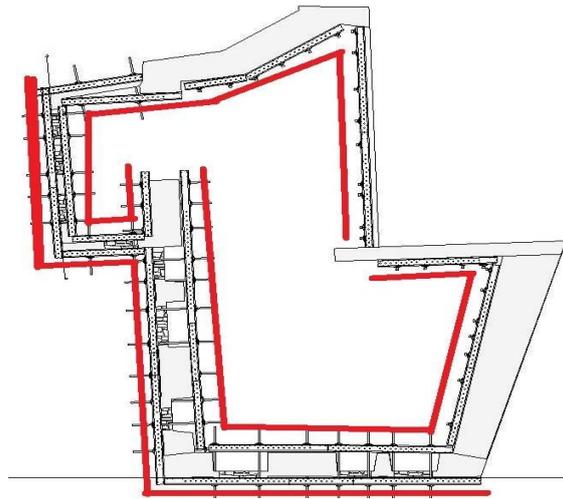


Figura 4.5 - Planta do nível -1 após a colocação dos elementos horizontais.

A Figura 4.6 demonstra o pormenor das ligações de perfis 2C com recurso a escoras e ancoragens. Por fim é possível visualizar na Figura 4.7 a colocação dos elementos horizontais na fachada, juntamente com uma ampliação para melhor compreensão do processo.

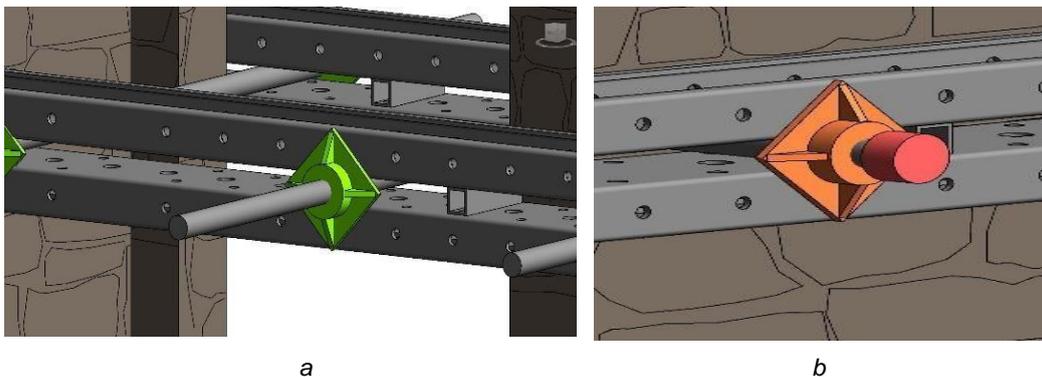


Figura 4.6 – Pormenores de escora (a) e de ancoragem (b).

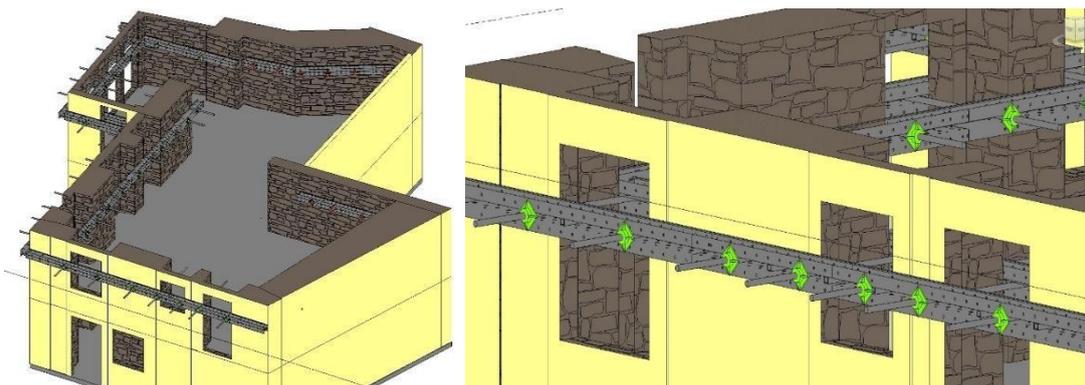


Figura 4.7 – Colocação de perfis horizontais na fachada.

4.4 Pórtico

A modelação do pórtico é iniciada pela representação do maciço de betão sobre o qual se coloca a estrutura. O maciço foi criado como um elemento laje, *slab*, com as dimensões 4,2 m de largura, 6,7 m de comprimento e 1,0 m de altura. Sobre o maciço de betão foi definido uma grelha de alinhamentos,

opção *grid* (Figura 4.8). Esta rede tem como objectivo auxiliar a colocação dos elementos horizontais e verticais que constituem o pórtico da estrutura de contenção.

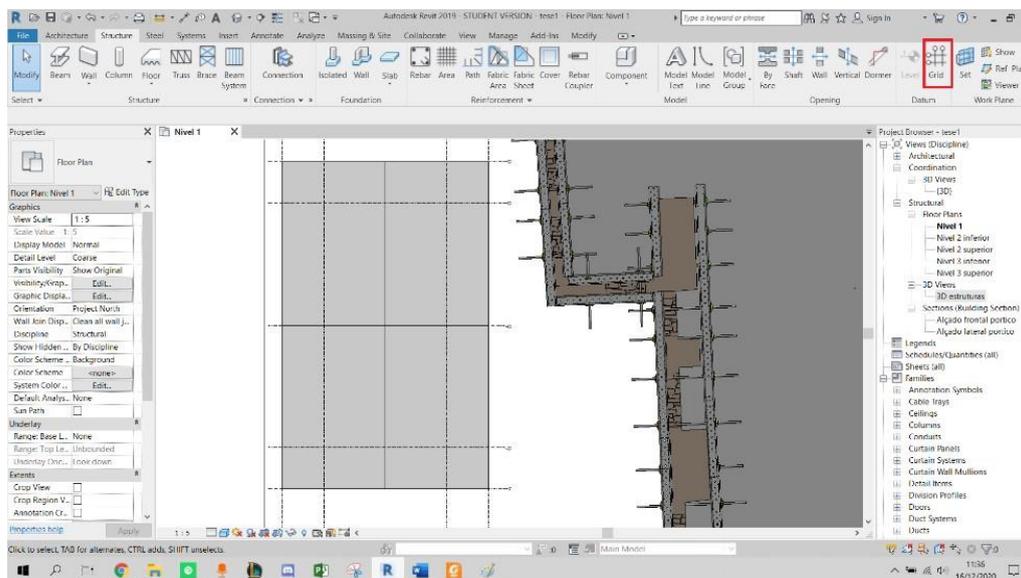


Figura 4.8 – Traçado de rede de alinhamentos de apoio à colocação do pórtico.

Procede-se então à colocação das sapatas sobre o maciço de betão. A Figura 4.9 ilustra a colocação da sapata com ligações aparafusadas à coluna do pórtico e devidamente ancorada ao maciço de betão. A ligação utilizada em obra entre a sapata e o maciço é uma bucha química e varão roscado, mas, para efeitos de representação, o modelo apenas apresenta o varão utilizado.

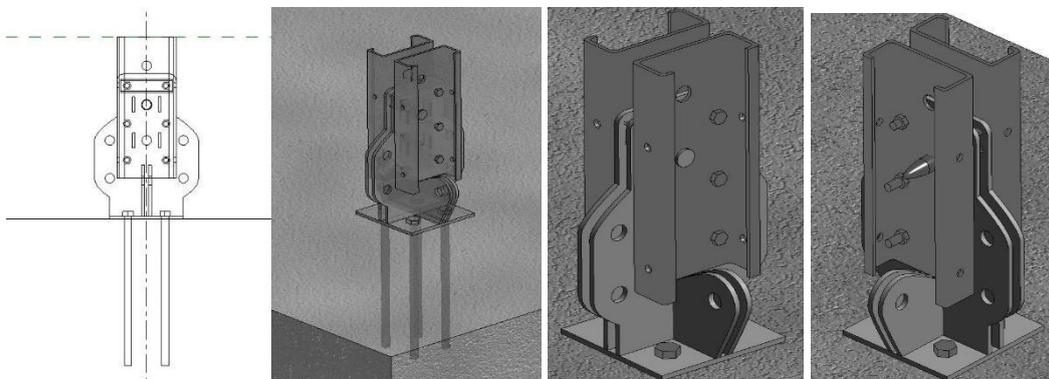


Figura 4.9 – Colocação de sapata no maciço de betão e pormenor da sapata aparafusada.

A escolha do *template Metric Generic Model face based* para os parafusos, resulta que a sua colocação estará sempre ligada ao plano da face do elemento em que se pretende estabelecer a ligação aparafusada, facilitando a sua colocação no modelo 3D e a sua manipulação.

Como no processo de modelação são utilizados vários elementos de ligação cuja aplicação se repete com frequência, é mais eficiente agrupá-los do que refazer todas as ligações individualmente. Para tal o *Revit* dispõe da opção *Create Groups*. Esta opção permite a junção de vários objectos que depois podem ser usados em qualquer altura, até mesmo em projectos diferentes. Estes grupos, quando modificados propagam a mudança a todos os seus semelhantes. Isto significa que basta apenas alterar uma iteração que todas as existentes do mesmo grupo também serão alteradas. Como tal para a

criação das diversas ligações em nós optou-se por criar grupos. A Figura 4.10 ilustra o exemplo referente a um nó lateral SHD 170 mm devidamente aparafusado.

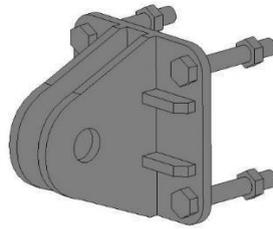


Figura 4.10 - Grupo de elementos referente a nó lateral SHD 2C 170mm aparafusado.

Na modelação do pórtico, foi efectuada a ligação entre uma coluna Perfil 2C HD e as barras horizontais e diagonais SHD, estabelecida por intermédio de um nó de ligação SHD 2C 450mm e ligações aparafusadas.

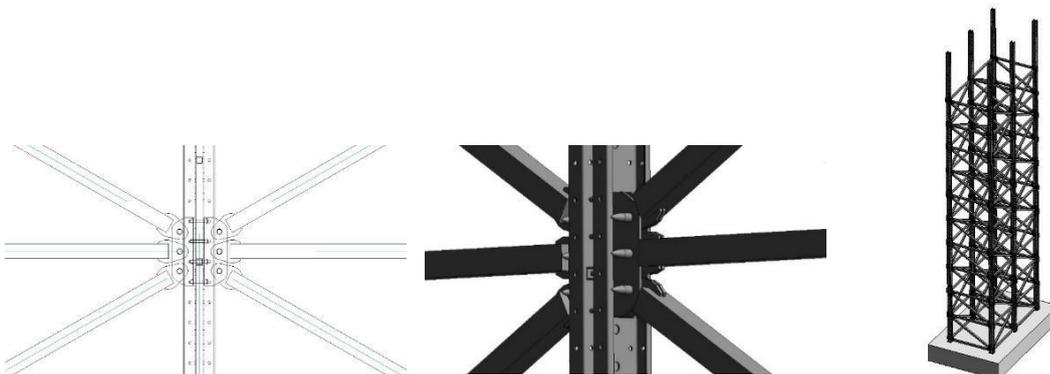


Figura 4.11 – Representação de ligação entre elementos horizontais e coluna do pórtico.

Utilizando os elementos de perfil modelados são montadas as estruturas treliçadas que são colocadas no interior do edifício (Figura 4.12), apresentando a distribuição de elementos do sistema de contenção, representadas sobre plantas de pisos.

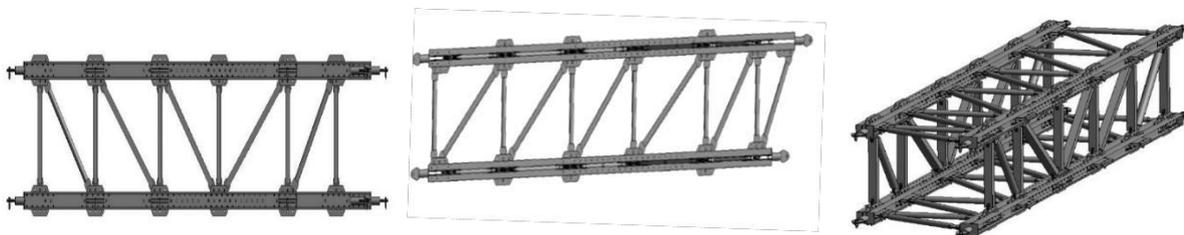


Figura 4.12 – Estrutura treliçada.

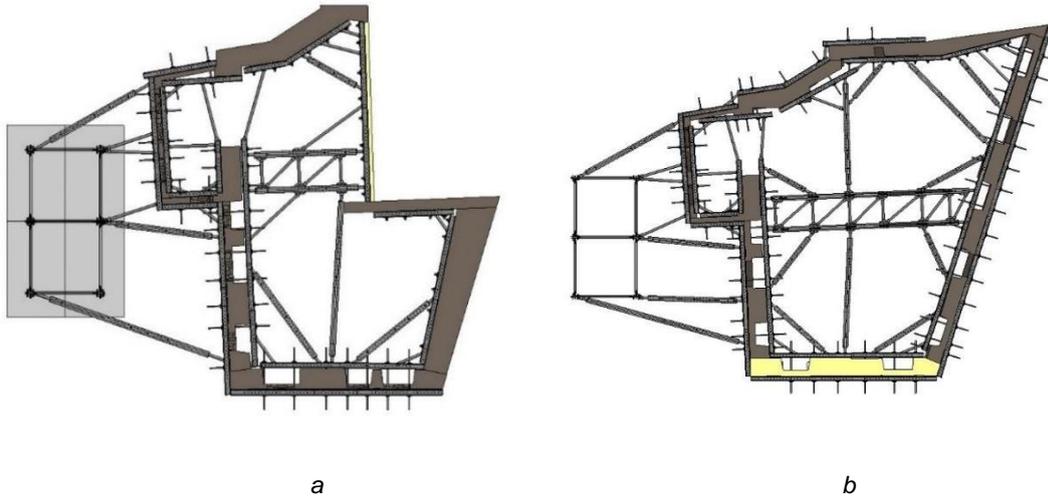
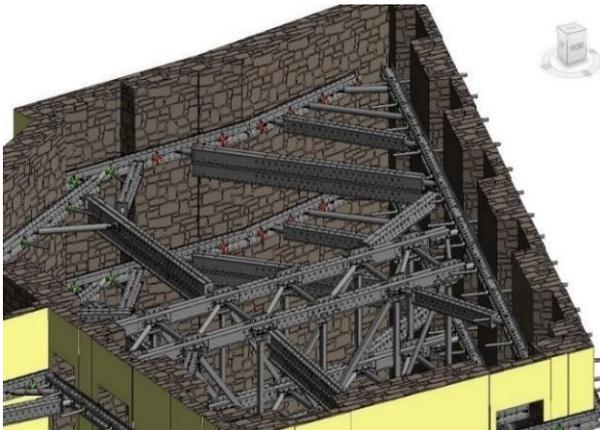


Figura 4.13 – Plantas do sistema de contenção do piso -1 (a) e dos pisos 1 e 3 (b).

Após a finalização da modelação do sistema de contenção é possível a sua junção com o modelo de arquitectura. A Figura 4.14 ilustra várias vistas da modelação referida e fotografias retiradas da obra realizada. Estas fotos foram tiradas *in-situ* e com recursos a *drone*.



Vista superior do sistema de contenção (a)



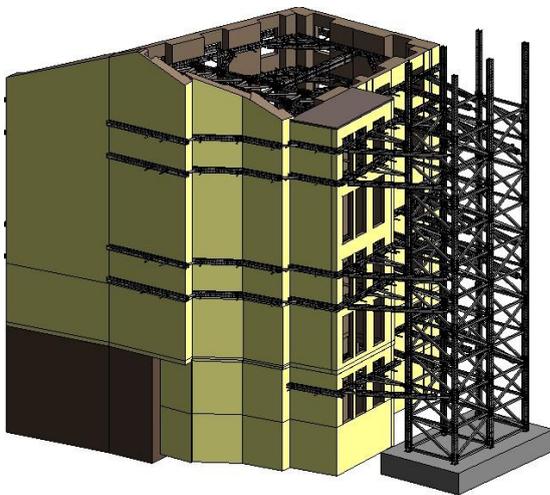
Vista aérea do sistema de contenção (b)



Pórtico modelado (c)



Pórtico em obra (d)



Edifício com sistema de contenção modelado (e)



Edifício com sistema de contenção em obra (f)

Figura 4.14 – Representação do projecto modelado e fotografias da obra.

4.5 Colocação de grua torre

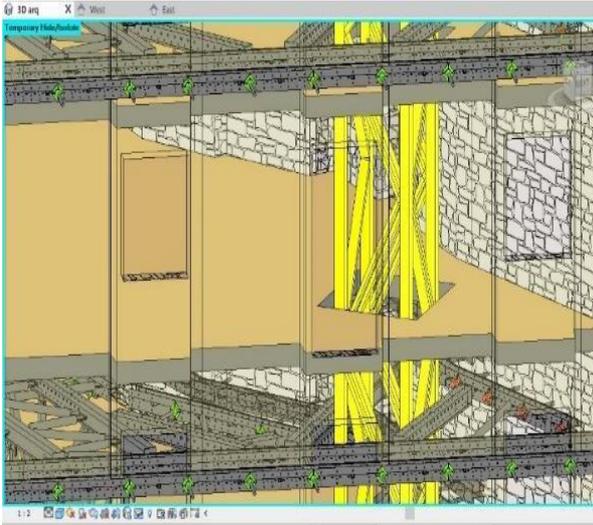
Foi utilizada uma grua torre para auxiliar a realização dos trabalhos de demolição. Para colocar a grua no modelo 3D foi necessário criar uma abertura no edifício, através do comando *Shaft Opening*. Esta abertura apenas afecta os elementos associados com *template Architecture* e, portanto, apenas os elementos modelados em arquitectura são afectados. A grua é colocada posteriormente nessa abertura.

O modelo da grua utilizado foi descarregado a partir do *site RevitCity* [37], tomando partido de um de diversos modelos já criados e disponibilizados, agilizando e poupando tempo no processo de modelação. Este *site* disponibiliza diversos ficheiros de famílias de objectos utilizáveis em Revit, constituindo uma biblioteca de diversos ficheiros disponibilizados gratuitamente. A Figura 4.15 ilustra a colocação da grua, sendo conferida alguma transparência às paredes de fachada para melhor compreensão da sua visualização.

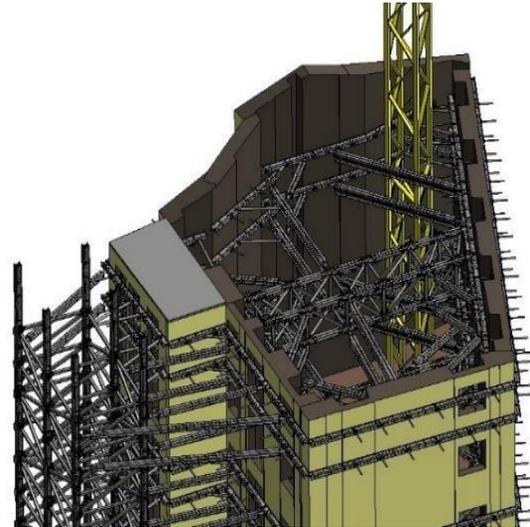


Figura 4.15 – Vista da grua torre em alçado (a) e a sua localização no modelo(b).

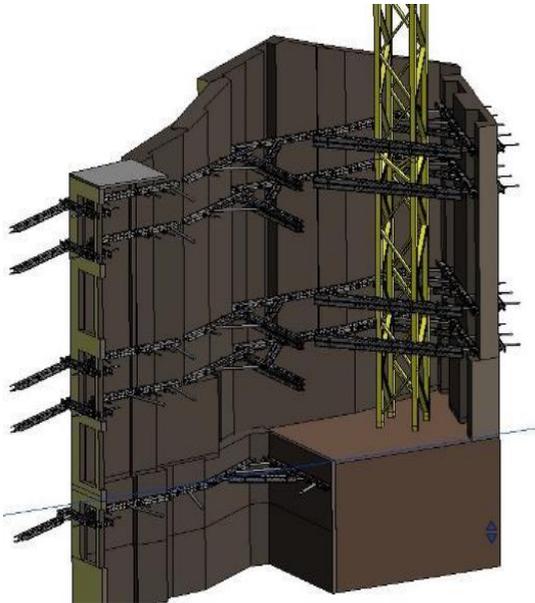
A colocação da grua e a sua relação espacial com o modelo 3D do edifício e estrutura de contenção juntamente com uma comparação entre a modelação e a obra pode ser observada com mais detalhe e pormenor na Figura 4.16.



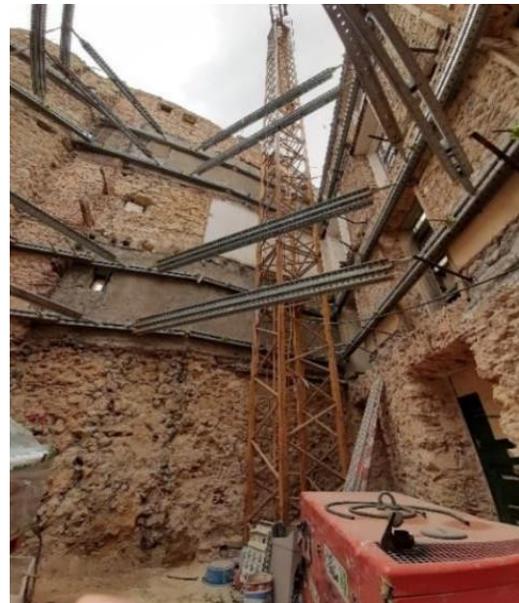
Pormenor de colocação da grua torre (a)



Vista aérea (b)



Modelação da grua torre (c)



Grua torre em obra (d)

Figura 4.16 – Representações da grua torre no modelo e em obra.

5 Planeamento da colocação e remoção

O planeamento da obra será feito com recurso ao programa Microsoft Project (MS Project). Para tal é necessário conhecer e avaliar primeiro as características físicas da obra. Esta avaliação é composta por um levantamento das suas condicionantes e os trabalhos necessários a serem efectuados para o seu objectivo (demolição parcial e preservação da fachada).

5.1 Condicionantes da obra e trabalhos necessários

O levantamento das condicionantes da obra pretende identificar e registar todos os elementos que possam perturbar os trabalhos do empreendimento e do estaleiro de apoio à sua execução.

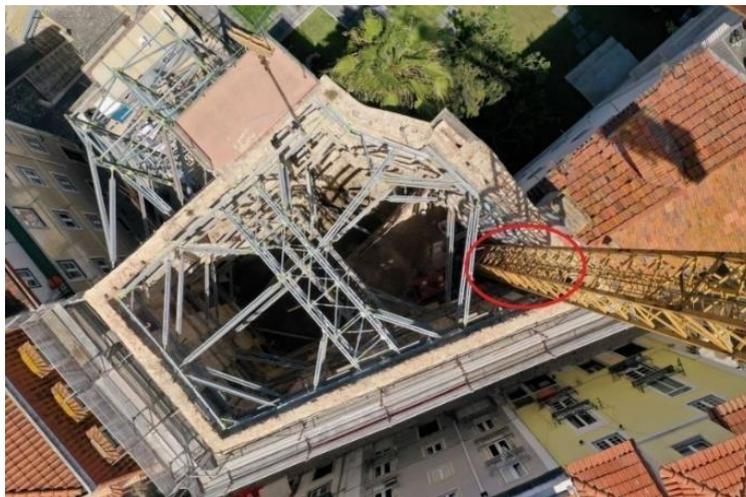
A obra encontra-se na Rua das Farinhas, em Lisboa. A primeira e mais óbvia condicionante aos trabalhos a ser executados é tratar-se de uma rua com uma via de sentido único e passeio estreito. Esta condicionante traduz-se em dificuldade de acesso rodoviário à obra e falta de espaço para implementação do estaleiro, um problema muito comum em Lisboa. Isto obrigou a que o estaleiro de apoio à obra fosse implementado no interior do logradouro do edifício a ser reabilitado.

A lista de condicionantes pode ser consultada mais em detalhe no Anexo E. A informação foi retirada do P.S.S. (Plano de Segurança e Saúde) referente à obra fornecido pelo engenheiro responsável.

Dado a natureza do edifício, as condicionantes existentes relacionadas com a obra e o seu objectivo (reabilitação e preservação das paredes de fachada existentes) designaram-se os trabalhos necessários à sua realização:

- Remoção de fibrocimento: A cobertura deste edifício é revestida por telha de fibrocimento. Trata-se de um material composto por pasta de cimento endurecida e 10 a 15% fibras de amianto. Muito utilizado na construção civil, em particular nas décadas de 60 a 80 as fibras constituintes são fibras de amianto. Apesar das suas vantagens, a sua utilização e comercialização encontra-se proibida por lei desde 2005 (Decreto-Lei nº 101/2005), devido ao amianto ser um material potencialmente cancerígeno e como tal gravoso para a saúde pública. Devido a este factor, a prioridade passa pela retirada deste material com o objectivo de garantir as devidas condições de saúde para os trabalhadores no decorrer da obra. A sua remoção e manuseamento exige mão-de-obra qualificada e medidas de segurança específicas;
- Montagem da grua torre: A EN 14439:2009 [39] define as gruas torre como equipamentos compostos por lanças rotativas colocadas no topo de uma torre que se mantém aproximadamente na vertical em operação [40]. A grua utilizada trata-se de uma grua torre com lança horizontal e com o mecanismo de rotação situado no topo (*top-slewing*). O acesso à cabine de controlo é feito através de escadas. Estas possuem uma protecção metálica com 1 metro de diâmetro e, devido à altura total da grua, possuem uma ligeira inclinação e são compostas por lanços de 10 metros com uma plataforma de descanso devidamente protegida com guarda-corpos. A torre é fixa, o mecanismo de rotação da lança localiza-se perto da ligação entre a torre e lança e possui um porta-lanças (*saddle jib*). A base metálica da torre encontra-se afixada através de ligações de ancoragem a uma sapata de betão enterrado, criada para o efeito. Devido à impossibilidade de utilizar a via pública e ao reduzido espaço do estaleiro a grua foi colocada no interior do edifício, como se pode verificar na figura 5.1. Este

processo foi feito com o recurso a uma grua auxiliar e executando as aberturas dos vãos devidos para o processo;



• **Figura 5.1** - Vista aérea da obra e localização da grua no seu interior.

- **Contenção de fachada:** Dado o espaço na via pública ser muito reduzido o sistema de contenção tem de ser colocado no interior do edifício, tomando partido do logradouro existente para a colocação do pórtico. Como mencionado anteriormente, no capítulo 3.1, a estrutura de contenção é composta por uma parte interior e uma exterior. A exterior, o pórtico, erguido com o auxílio da grua torre encontra-se encastrado a um maciço de fundação. Sob esse maciço foi colocado previamente micro-estacas para aumentar a resistência da fundação devido à grandeza dos esforços aplicados. A ligação entre o maciço e a estrutura metálica é efectuada com recurso a bucha química e varão roscado. A parte interior apresentou maiores dificuldades na sua colocação, pois foi necessário a demolição parcial de alguns elementos. Esta por sua vez foi ligada à estrutura exterior. Os elementos da estrutura exterior foram colocados com auxílio de plataformas elevatórias tipo tesouras, andaimes no interior da torre e por vezes bailéus. Dependendo da acessibilidade na obra também foram utilizadas plataformas metálicas de andaime fixas aos elementos horizontais da torre exterior e os montadores utilizaram um arnês como EPI. Os elementos da estrutura interior, sendo leves, foram manuseados à mão, ou seja, foram introduzidos na obra manualmente e montados in situ à mão. Os perfis da torre exterior são mais robustos e por sua vez mais pesados necessitando o seu manuseamento do auxílio da grua;
- **Demolição parcial:** Estes trabalhos iniciam-se quando a fachada já está devidamente contida. A demolição dos elementos ocorre de cima para baixo, da cobertura para os pisos inferiores. Dada a existência de edifícios adjacentes, a natureza dos elementos do edifício a conservar (paredes de fachada) e a condicionante da estrutura de contenção estar já implementada e condicionar o espaço do local de trabalhos, o processo de demolição é executado manualmente, com o objectivo de não introduzir vibrações excessivas nos mesmos. Para tal, optou-se pela utilização de equipamentos rudimentares, como martelos, escopros, marretas, picaretas, pés-de cabra, pás, serras e baldes. À medida que a demolição prossegue os detritos

são devidamente retirados de forma a evitar concentração de cargas e problemas de espaço. É de notar, que é necessário demolir alguns elementos interiores nos pisos -1, 1 e 3 para colocar a estrutura de contenção, antes de se iniciar a demolição dos restantes pisos;

- Execução de Micro-estacas: Devido à natureza das fundações existentes foi necessário a colocação de micro-estacas de forma a aumentar a sua resistência aos esforços resultantes dos futuros trabalhos a ser executados;
- Execução de trabalhos: Uma vez que a fachada se encontra devidamente contida e o edifício foi demolido, com a excepção das paredes de fachada, pode iniciar-se a execução de trabalhos. Estes começam com a demolição da cabeça das micro-estacas e execução das novas fundações (sapatas e vigas de fundação). A obra progride de baixo para cima, começando no piso -2;
- Remoção da estrutura de contenção: A remoção é faseada e ocorre juntamente com o decorrer da execução de trabalhos.

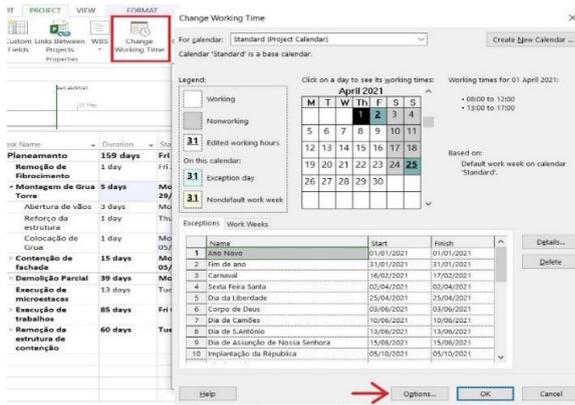
5.2 Definição do período de trabalho

Efectuado o levantamento inicial procede-se então à criação do planeamento da obra com recurso ao programa *MS Project*.

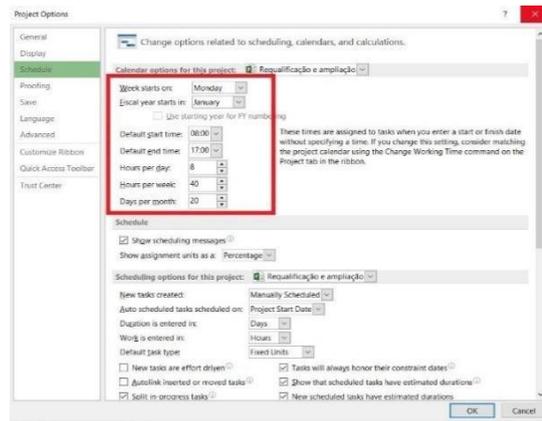
No início do projecto estipula-se o horário e dias de trabalho. No âmbito desta dissertação fica definido que a obra tem início dos trabalhos no dia 1 de janeiro de 2021. No entanto, dado que 1 de Janeiro corresponde ao primeiro feriado do ano e a uma sexta-feira, a data oficial de início dos trabalhos resulta no dia 4 de janeiro. Foram também tidos em conta feriados nacionais e municipais referentes à cidade onde se localiza a obra, Lisboa.

O horário de trabalho é definido tendo como início 08:00 horas e fim às 17:00 horas, existindo pausa de 1 hora para almoço no período entre as 12:00 e 13:00. Considera-se apenas os dias úteis para trabalhos e 8 horas de trabalho diário, totalizando 40 horas de trabalho semanais.

Para tal, utilizando os comandos *Project Information* e *Change Working Time* é possível definir a data de início do projecto e os dias em que existem feriados, respectivamente. As datas podem ser introduzidas manualmente, como demonstrado na Figura 5.2(a). Ainda neste menu, é possível definir em que dia se inicia a semana, o horário de trabalho e quantidades de horas de trabalho por semana, como demonstrado na Figura 5.2(b).



a



b

Figura 5.2 – Definição de dias de feriado(a) e período de trabalho(b).

5.3 Definição das actividades

Na estruturação das actividades foi adoptada uma estrutura de decomposição e repartição de trabalhos, WBS (“*Work Breakdown Structure*”), que consiste na subdivisão do empreendimento e das suas actividades constituintes em componentes mais pequenas. Esta decomposição é feita segundo alguns princípios e noções [40]:

- Princípio da exclusividade/exclusividade (também conhecido como “regra dos 100%”) inclui na estrutura de repartição todo o trabalho exigido contratualmente e só esses trabalhos (não são incluídos trabalhos do âmbito inicial da empreitada);
- A estruturação é orientada com base em resultados das operações de construção, e não nas actividades preparatórias referentes a essas operações;
- O princípio da homogeneidade de naturezas de trabalho estipula que os trabalhos com materiais ou medidas de medição diferentes devem ser distinguidos. Adicionalmente, também devem ser distinguidos trabalhos executados em localizações diferentes (por exemplo, diferentes pisos de um edifício);
- O princípio da duração/quantidade de trabalho enuncia que actividades que envolvam um grande número de recursos ou sejam demoradas, devem ser subdivididas em actividades que envolvam um menor número de recursos ou tenham uma duração menor;
- A organização hierárquica da decomposição deverá ser feita de forma que itens nos níveis superiores sejam estritamente equivalentes aos níveis imediatamente inferiores. Isto significa que um nível hierarquicamente superior será decomposto sempre em dois ou mais níveis inferiores. O grau de decomposição deverá ter em conta o tamanho e complexidade do empreendimento, as necessidades da gestão, a incerteza técnica e restrições organizacionais, do contracto entre o dono de obra e a entidade executante;
- Não deverá haver repetição ou redundância na decomposição de actividades com o objectivo de evitar duplicações e dificuldades posteriores (por exemplo na associação de custos às actividades);

As actividades são listadas no *MS Project*, colocadas no quadro da esquerda sob coluna *Task Name*. As actividades podem então ser agrupadas, atendendo aos princípios previamente enunciados, em actividades sumárias. Para tal utilizou-se o comando *Indent Task*. Este comando associa as actividades seleccionadas à actividade que se encontra imediatamente acima, tornando essa numa actividade sumária. Para a nomenclatura das actividades o *MS Project* possui a capacidade de atribuir automaticamente a metodologia WBS através do comando com o mesmo nome.

Este processo leva-nos a um quadro em que podemos caracterizar como se irá apresentar a nomenclatura WBS. Neste quadro podemos definir o prefixo do código e a identificação das actividades. Esta identificação é feita hierarquicamente de cima para baixo, começando pelas actividades sumárias. Neste caso optou-se como prefixo “P.O. – “Planeamento de Obra e optou-se pela identificação das actividades com recurso a números, no máximo duas casas de unidades.

Para introduzir a decomposição WBS basta adicionar uma coluna no quadro onde listam as actividades e seleccionar a WBS. O *MS Project* apresenta então uma coluna com a nomenclatura WBS previamente criada. Ilustrado na Figura 5.3, podemos então observar a WBS aplicada e a divisão de actividades sumárias tendo como exemplo a actividade sumária “Execução de trabalhos”. Neste caso a divisão é feita com base na localização onde ocorrem as actividades e é observável quais as específicas do “Piso 0”, como exemplo.

WBS	Task Name
P.O. -	Planeamento
P.O. -01	Remoção de Fibrocimento
P.O. -02	Montagem de Grua Torre
P.O. -03	Contenção de fachada
P.O. -04	Demolição Parcial
P.O. -05	Execução de microestacas
P.O. -06	Execução de trabalhos
P.O. -07	Remoção da estrutura de contenção

WBS	Task Name
P.O. -06	Execução de trabalhos
P.O. -06.01	Fundações
P.O. -06.02	Pavimento Térreo
P.O. -06.03	Piso -2 e -1
P.O. -06.04	Piso 0
P.O. -06.04.01	Execução do Núcleo de Elevador
P.O. -06.04.02	Bases de Assentamento de Perfis
P.O. -06.04.03	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes
P.O. -06.04.04	Reforço de Paredes(Projecção de Microbetão)
P.O. -06.04.05	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto
P.O. -06.04.06	Betonagem da Lage

Figura 5.3 - Aplicação da estrutura de decomposição WBS aplicada às actividades da obra.

5.4 Duração das actividades

Para a definição das durações de cada actividade optou-se por uma abordagem determinista. Esta abordagem considera que cada actividade tem uma única duração (a mais provável).

Para estimar a duração das actividades neste caso, numa aproximação inicial, assumiu-se por simplificação que os recursos disponíveis são ilimitados. É de notar, no entanto, que devido a esta simplificação as estimativas obtidas devem ser revistas de acordo com a informação disponível a cada

momento. Optou-se por dois métodos para estimar a duração das actividades, com base na informação disponível sobre as mesmas;

- Estimativa pericial: baseada na informação fornecida por peritos sobre a duração máxima das actividades a serem desenvolvidas.
- Estimativa paramétrica: baseada na combinação de informação técnica (dados históricos parametrizados obtidos a partir de estudos e medições referentes às durações das actividades).

No âmbito desta dissertação foram feitas estimativas periciais para as actividades “Contenção de Fachada”, “Execução de Micro-estacas”, “Execução de Trabalhos” e “Remoção da Estrutura de Contenção” e estimativas paramétricas para as actividades “Remoção de Fibrocimento” e “Demolição Parcial”.

5.5 Estabelecimento de relações entre actividades

Uma vez criada a estrutura das actividades e as suas durações é necessário definir o relacionamento entre si, organizado de uma forma lógica as dependências existentes entre actividades, com o objectivo de promover a criação de um calendário realista e executável.

Para tal foram aplicadas um conjunto de técnicas [40]:

- Método do diagrama de precedências: consiste na construção de um diagrama de rede para a calendarização da obra. As actividades, designadas por nós, são representadas por rectângulos e as suas ligações, que indicam as relações logicas entre si, são representadas por setas. Este método é utilizado na metodologia de cálculo do caminho crítico e adoptado por um grande número de programas informáticos, como é o caso do Microsoft Project;
- Para definir a sequência de actividades, a determinação de cada dependência é feita com base em três tipos:
 - Dependências obrigatórias (*hard logic*): dependências exigidas contratualmente ou que são inerentes á natureza do trabalho. Estes tipos de dependências estão associados a constrangimentos físicos;
 - Dependências discriminatórias (*preferred/soft logic*): dependências estabelecidas com base no conhecimento adquirido, nas melhores práticas ou por razões de preferência, ainda que possam ser estabelecidas outras dependências alternativas aceitáveis;
 - Dependências externas: dependências que envolvem uma relação entre as actividades internas e externas ao empreendimento ou obra. Estes tipos de dependências podem influenciar grandemente folgas ou datas de conclusão no planeamento, parciais ou globais, e devem ser tidas em consideração nas decisões de distribuição de trabalhos ou fornecimentos entre o dono de obra e a(s) entidade(s) executante(s);
- A rede de actividade pode então ser modelada com recurso a diagramas de precedências. Estes diagramas podem ser produzidos manualmente ou com o auxílio de *software*, podendo apresentar diferentes esquematizações. A esquematização dos diagramas de precedências permite relacionar os instantes que caracterizam o início e a conclusão das actividades, nomeadamente com recurso a 4 tipos de dependências ou relações logicas;

- Fim-Início (*FS: Finish-to-Start*): O começo da actividade subsequente j depende da conclusão da actividade precedente i (dependência muito utilizada, por vezes em exclusivo);
- Início-Início (*SS: Start to-Start*): O começo da actividade subsequente j depende do começo da actividade precedente i (muito útil);
- Fim-Fim (*FF: Finish-to-Finish*): A conclusão da actividade subsequente j depende da conclusão da actividade precedente i (comum e útil).
- Início-Fim (*SF: Start-to-Finish*): A conclusão da actividade subsequente j depende do início da actividade precedente i (pouco comum e quase inexistente em empreendimentos de construção).

Neste planeamento foram utilizadas as relações *FS: Finish-to-Start*, *SS: Start to-Start* e *FF: Finish-to-Finish*.

As relações são estabelecidas no programa *MS Project* através de precedências. Para introduzir precedências basta aceder ao menu das propriedades referente a essa actividade. No separador Predecessores é possível então definir a actividade na coluna *Task Name*, o tipo de relação em *Type* e período de tempo que corresponderá ao desfasamento entre actividade em *Lag*.

As relações *Finish to Start* são as mais comuns, inclusive neste projecto, e de aplicação simples e directa. As relações *Start-to-Start* e *FF: Finish-to-Finish* tratam de casos mais específicos e como tal apenas estas irão ser abordados agora.

Considera-se a actividade “Construção de Pórtico de Suporte”. As suas actividades subjacentes estão dependentes dos materiais metálicos entregues na obra com a excepção da actividade “Maciço de Betão”. Esta actividade em particular depende de outros materiais e métodos, como tal, pode ser iniciada antes da actividade “Montagem da Grua Torre”. Embora esta calendarização não se traduza numa melhoria em termos da duração total da obra, permite adiantar trabalhos e otimizar a utilização de recursos humanos e gestão do espaço na obra. Neste caso, a actividade inicia-se uma vez terminada a actividade “Remoção de Fibrocimento”. De forma a garantir a construção do pórtico exterior e interior, que se inicia na mesma altura, define-se então uma relação *Start-to-Start* entre “Sapatas e Ancoragens” e “Nível (piso -1)”, sendo na última enunciada a relação precedente. Assim garante-se que a colocação dos elementos de fixação do pórtico apenas será iniciada após o maciço de betão armado estar completo e ao mesmo tempo que se inicia a colocação de elementos de contenção interiores, no planeamento elaborado no *MS Project*.

A actividade “Execução de Plintos - Piso -2” tem a particularidade de na sua calendarização não ser definida pelo seu inicio mas sim pela sua data de conclusão, sendo esta necessariamente coincidente com a actividade “Execução de Sapatas e Vigas de Fundação (Betão/Aço/Cofragem)” Para tal basta definir a relação entre as duas como “*FF: Finish-to-Finish*”, sendo a predecessora “Execução de Sapatas e Vigas de Fundação (Betão/Aço/Cofragem)”, permitindo então efectuar o raciocínio inverso de como, geralmente, a calendarização de uma actividade é definida pelo seu início.

5.6 Elaboração do calendário de actividades

O calendário de actividades estipula qual a data de início e conclusão das actividades e, como tal, a duração total da obra. É apresentado graficamente após um processo de análise das relações entre actividades, as suas durações e eventuais particularidades.

Para a calendarização desta obra é utilizada a técnica do CPM (*Critical Path Method*: método do caminho crítico). Esta técnica é um método de cálculo para a determinação de duas datas teóricas: o tempo mais cedo e o tempo mais tarde. Estas datas, embora não coincidam necessariamente com o agendamento das actividades, indicam os períodos de tempo em que as mesmas podem ser agendadas, tendo em conta as relações existentes entre si, as suas durações e a existências de atrasos (*lags*) ou antecipações (*leads*). Para tal admite a existência de recursos ilimitados.

A maior utilidade deste método será o cálculo da data de conclusão do projecto, o caminho crítico e as folgas disponíveis em todas as actividades não críticas. O caminho crítico consiste na sequência de actividades (denominadas como actividades críticas) que determinam a duração mínima da obra. Esta sequência é a mais longa da obra e qualquer alteração às suas actividades provoca uma alteração no prazo de conclusão.

Uma folga é o intervalo de tempo em que se pode atrasar uma actividade sem condicionar a calendarização das actividades subsequentes (folga livre) ou a duração total da obra (folga total). A identificação de actividades com folga tem a vantagem de, tratando-se de actividades que se podem atrasar sem comprometer a duração total do projecto, permitir uma gestão do decorrer da obra com maior flexibilização de calendário, gestão de recursos e espaço de estaleiro.

Introduzida a lista das actividades, as suas durações e as relações existentes entre si o *MS Project* calcula automaticamente a data de início e fim das actividades bem como a duração total do projecto. Estas datas são correspondentes às de tempo mais cedo que uma actividade pode começar e tempo mais cedo que uma actividade pode terminar. É ainda possível averiguar a folga livre existente adicionando a coluna *Free Slack*. Para demonstrar o caminho crítico basta seleccionar a caixa referente *Critical Path*, presente na secção *Bar Styles* do separador *Format*. As barras referentes às actividades que constituem o caminho crítico são representadas a vermelho no gráfico de *Gantt*, enquanto as restantes permanecem a azul.

A listagem completa das actividades e o gráfico de *Gantt* podem ser consultados no Anexo F Lista de actividades. Com o planeamento efectuado verificamos que o projecto terá uma duração de 175 dias, começando no dia 4 de janeiro de 2021 e terminando no dia 13 de setembro de 2021.

6 Riscos e segurança

6.1 Identificação de riscos e prevenção

A avaliação de riscos profissionais é um processo dinâmico dirigido a estimar a magnitude do risco para a saúde e a segurança dos trabalhadores no seu local de trabalho, decorrente das circunstâncias em que o perigo pode ocorrer, tendo em vista obter a informação necessária para adoptar medidas preventivas que minimizem a ocorrência de acidentes. Os dados referentes a este capítulo foram retirados com base no Plano de Segurança e Saúde da obra em estudo, fornecido pelo engenheiro responsável da obra.

Todas as actividades são objecto de identificação dos perigos e avaliação do risco associado. Para cada risco é feita uma avaliação, atribuindo uma pontuação, tendo em conta as medidas existentes ou previstas. Os riscos especiais (art. 7.º do DL 273/2003 [41]) são sempre objecto de medidas suplementares, através da elaboração do Plano de Trabalhos com Risco Especial (PTRE) Mod 210. Este PTRE é submetido à validação e aprovação do CSO e Dono de Obra respectivamente, antes do início da actividade. Após a aprovação, o PTRE é divulgado a todos os intervenientes nessa actividade sendo ministrada formação, registada no “Registo de Formação” Mod 025. Os riscos existentes estão identificados no Anexo G.

A classificação do nível de risco é feita com base em dois critérios:

- Probabilidade(P) - A probabilidade é classificada em cinco níveis, tendo em conta o histórico das ocorrências conhecidas, a probabilidade de ocorrência do risco e o nível de exposição de uma instalação, de um equipamento ou do pessoal. Quando aplicável a probabilidade poderá ser estimada por unidade de tempo ou em frequência de ciclos ou de operações (Tabela 6.1);

Tabela 6.1 - Classificação do parâmetro probabilidade.

Descritivo	Nível	Descrição
Frequente	A	Susceptível de ocorrer repetidamente ou em contínuo
Provável	B	Susceptível de ocorrer muitas vezes
Ocasional	C	Susceptível de ocorrer algumas vezes
Remoto	D	Não é provável, mas é possível que ocorra
Improvável	E	Tão improvável que se pode assumir que a ocorrência não será experimentada

- Gravidade(G) - A gravidade é classificada em quatro níveis, com base nos danos para a saúde e segurança das pessoas ou danos materiais, devendo essa avaliação qualitativa atender ao pior acidente credível e ser majorada em função do critério mais gravoso (Tabela 6.2).

Tabela 6.2 - Classificação do parâmetro gravidade.

Descritivo	Nível	Danos pessoais e doenças	Danos Materiais
Catastrófico	I	Morte	> 1 M€
Crítico	II	Danos ou doenças ocupacionais graves	250 k€ a 1 M€
Marginal	III	Danos ou doenças ocupacionais menores	1k€ a 250 k€
Desprezável	IV	Inexistência de danos ou doenças	< 1k€

É estabelecido um código de cores que serve como base para a decisão sobre a aceitabilidade do risco e sobre as medidas de prevenção e controlo a desencadear (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Código de cores sobre aceitação de riscos.

SIGNIFICÂNCIA DO RISCO	GERIR O RISCO
Não significativo	Este risco é considerado aceitável pela empresa, não assumindo carácter obrigatório a definição de medidas adicionais para o controlo e prevenção.
Tolerável	Não é necessário tomar medidas imediatas para o reforço do controlo e prevenção, para além das medidas já implementadas. Devem ser identificadas medidas de melhoria, cuja implementação é condicionada a uma análise de custo vs benefício. É necessário proceder a uma avaliação periódica da eficácia das medidas de controlo.
Moderado	Devem ser identificadas medidas para a redução do risco e planeada a sua implementação num prazo estabelecido. É necessário proceder a uma avaliação periódica da eficácia destas medidas.
Significativo	O trabalho não deve ser iniciado até que se tenham posto em prática as medidas adequadas para a prevenção e controlo do risco, de modo que o mesmo se torne aceitável. Da mesma forma, para os trabalhos em curso que comportem um risco considerado significativo, devem ser de imediato identificadas e implementadas as medidas de protecção adequadas para o controlo desse risco.

A conjugação dos critérios de probabilidade e gravidade, juntamente com o código de cores estabelecido anteriormente, permite atribuir uma classificação a riscos existentes (Tabela 6.4).

Tabela 6.4 - Conjugação dos critérios existentes para a classificação de riscos existentes em obra.

GRAVIDADE	PROBABILIDADE				
	(E) Improvável	(D) Remoto	(C) Ocasional	(B) Provável	(A) Frequente
(I) Catastrófico	12	8	4	2	1
(II) Crítico	15	10	7	5	3
(III) Marginal	17	14	11	9	6
(IV) Desprezível	20	19	18	16	13

Com base nos critérios estabelecidos é feita uma hierarquização e classificação dos riscos identificados. Esta avaliação é feita com base em histórico dos acidentes e incidentes ocorridos em obra, nas não conformidades, resultados de auditorias aos locais de trabalho, comunicações dos trabalhadores e outras partes interessadas, informações sobre as instalações e as actividades da empresa, “lay-out” das instalações, opções tecnológicas, dados técnicos (manuais dos equipamentos), inventário dos materiais perigosos (matérias primas, produtos químicos), dados toxicológicos e outros sobre segurança e saúde no trabalho(SST) e no contexto das medidas de protecção (colectiva e individual) implementadas na empresa.

A lista de hierarquização dos riscos pode ser consultada no Anexo .

6.2 Segurança

Sempre que não é possível eliminar o risco existente é necessário tomar medidas que resultem na sua mitigação e na segurança dos trabalhos a decorrer. Estas medidas podem ser consideradas a nível colectivo e individual. Os dados referentes a este capítulo foram retirados com base no Plano de Segurança e Saúde da obra em estudo, fornecido pelo engenheiro responsável da obra.

6.2.1 Protecções colectivas

Salientam-se alguns pontos que asseguram a protecção colectiva dos trabalhadores intervenientes em obra, nos aspectos de segurança, higiene e saúde:

- Todas as instalações onde existam postos de trabalho ou de repouso deverão ter as características de solidez, conforto acústico, limpeza e luminosidade necessárias de modo a proporcionar um bom ambiente de trabalho;
- As instalações cobertas deverão estar equipadas, em zonas onde existe o perigo de queda ocasional de objectos, com uma cobertura com características resistentes suficientes para o impacto do objecto;
- As instalações de distribuição de energia deverão ser vistoriadas periodicamente para detecção de eventuais anomalias que possam causar acidentes. Sempre que as linhas de distribuição tenham que passar dentro da área do estaleiro serão convenientemente sinalizadas e protegidas contra acidentes;
- Serão tomadas as devidas precauções no aspecto de protecção do pessoal em locais fixos contra os agentes atmosféricos;
- Será prevista protecção contra quedas de objectos em zonas de passagem de pessoal, através da execução de estruturas para esse fim, ou a implantação de rodapés no sistema de guarda-corpos;
- Serão criadas protecções contra quedas, em todas as zonas onde se identifique este risco, nomeadamente resguardos e protecções sólidas de modo a evitar as quedas acidentais;
- As máquinas, equipamentos e ferramentas, serão ergonómicos, respeitando todas as normas em vigor, sendo somente utilizados para o efeito para o qual foram dimensionados e concebidos. Para protecção do pessoal relativamente às máquinas em movimento, não será permitido o acesso de pessoal apeado à zona de trabalho de máquinas, exceptuando casos pontuais decorrentes do andamento dos trabalhos da obra.

É elaborado um resumo das medidas de protecção colectiva a considerar para os principais riscos previsto em obra (Tabela 6.5).

Tabela 6.5 - Riscos e medidas preventivas.

Riscos	Medidas preventivas
Queda ao mesmo nível	- Limpeza do estaleiro. -Arrumação ordenada de materiais de construção e de equipamentos de estaleiro.
Quedas em altura	- Execução adequada de andaimes, conforme o plano de montagem; - Correcta utilização da escada de mão; - Plataformas elevatórias; - Utilização de linhas vida; - Redes de segurança
Electrocussão	- Sinalização de segurança. - Máquinas eléctricas com ligação terra e duplo isolamento. - Verificação periódica do quadro de alimentação e os seus cabos de distribuição.
Queda de objectos	- Sinalização de segurança. - Utilização de rodapés nas plataformas de trabalho em altura, nas plataformas de andaime e em todos os sistemas de protecção (guarda-corpos).
Dermatoses	- Respeitar as indicações de aplicação de produtos.
Golpes, Cortes e Entalhamentos	- Boa iluminação das zonas de trabalho. - Zonas de trabalho limpas e organizadas.
Intrusão no Estaleiro	- Sinalização de segurança. - Queda em altura.
Gerais	- Extintores nas instalações do estaleiro.

Entre os equipamentos de protecção colectiva mais utilizados encontram-se:

- Guarda-corpos (rígidos ou flexíveis);
- Plataformas elevatórias;
- Colocação de guarda-corpos em todos os locais onde ocorra o risco de queda em altura (execução de lajes, trabalhos nas coberturas, vãos, outros locais);
- Todas as aberturas devem estar protegidas nos pavimentos de trabalho;
- Correcta utilização das escadas de mãos (estas devem estar fixas e ultrapassar 0,90 cm a zona de acesso e estarem em bom estado de conservação. Não se deve utilizar as mesmas como posto de trabalho);

- Sempre que a protecção colectiva (prevista para as operações a desenvolver durante a obra) seja insuficiente ou seja ineficaz, recorrer à protecção individual (ex.: uso do arnês de segurança ou criar linhas de vida para o uso de arnês).

6.2.2 Protecções individuais

Por Equipamento de Protecção Individual (EPI) entende-se qualquer equipamento ou seu acessório destinado a uso pessoal do trabalhador para protecção contra riscos susceptíveis de ameaçar a sua segurança ou saúde no desempenho das tarefas que lhe estão cometidas.

Os EPI devem ser utilizados sempre que os riscos existentes não puderem ser evitados de forma satisfatória por meios técnicos de protecção colectiva ou por medidas, métodos ou processos de organização do trabalho (o Decreto-Lei nº 348/93 de 1 de Outubro [42] e a Portaria 988/93 de 6 de Outubro [43], definem regras de utilização dos equipamentos de protecção individual).

No Anexo encontram-se descritos alguns EPI's e as respectivas partes do corpo a proteger.

Cada trabalhador deverá utilizar os EPI's de acordo com as tarefas que desempenha, isto é, de acordo com a sua categoria profissional. Sempre que os EPI's estiverem danificados os mesmos deverão ser de imediato substituídos.

Na definição dos EPI que cada trabalhador deverá utilizar, deverão distinguir-se os de uso permanente e os de uso temporário. Os primeiros destinam-se a serem utilizados durante a permanência de qualquer trabalhador no Estaleiro, considerando-se no mínimo o Capacete de protecção (EN 397[44]), Calçado de segurança S3 (EN 345[45]), Vestuário de alta visibilidade Classe 2 (EN 471[46]) na cor laranja ou amarela. Os segundos serão utilizados pelo trabalhador dependendo do tipo de tarefa que desempenha [por exemplo, uso de protectores auriculares quando em ambientes com elevada intensidade sonora, óculos de maçarico/viseira para soldador ou óculos panorâmicos/viseiras para outros trabalhos com projecção de partículas (trabalho com rebarbadoras, etc.)] e dependendo das condições de trabalho excepcionais a que este possa vir a estar sujeito.

Antes da utilização de qualquer EPI, a Direcção Técnica da Obra assegura que são transmitidas ao trabalhador que vai utilizar o EPI, todas as instruções necessárias para o correcto uso do equipamento e os riscos que esses EPI pretendem proteger face às tarefas que cada trabalhador irá desempenhar. Ao trabalhador caberá a responsabilidade de respeitar as instruções de utilização e participar todas as anomalias ou defeitos que detecte no equipamento.

No Anexo encontram-se definidos os EPI's destinados a cada actividade e o grau de obrigatoriedade dos mesmos.

Os dados para este levantamento de medidas de segurança foram obtidos com base no P.S.S. fornecido pelo engenheiro responsável da obra.

7 Coordenação

Estabelecido o modelo 3D e o planeamento da obra procede-se então à fase de coordenação da metodologia. Nesta fase irá ser realizada uma análise de conflitos geométricos entre especialidades e diversas simulações da obra e das suas actividades.

7.1 Introdução ao programa

Existem três tipos de ficheiros utilizados no programa *Navisworks Manage*:

- *Navisworks Cache File* (NWC) – Ficheiro tipo cache (memória) que contém apenas a geometria de elementos e informação paramétrica referente a esses elementos. Estes ficheiros são substancialmente mais pequenos em comparação com os originais (cerca de 10 vez menores).
- *Navisworks File* (NWF) – Ficheiro *Navisworks* que contém a situação actual e global do projecto. Neste ficheiro não é armazenada nenhuma informação geométrica, mas sim uma lista de referências aos diversos ficheiros NWC que constituem o projecto e a sua ligação ao ficheiro NWF. Adicionalmente são guardadas alterações, comentários, vistas e outras informações especificamente ligadas ao programa *Navisworks*, que estejam contidas nos ficheiros NWC. Estes ficheiros permitem o acompanhamento do desenvolvimento e eventuais alterações feitas aos diversos projectos de especialidades (ficheiros NWC), estabelecendo a coordenação do projecto como um todo.
- *Navisworks Document File* (NWD) – Ficheiros referentes ao projecto em fases específicas. Estes ficheiros contêm toda a informação geométrica referente ao projecto, vistas, animações contidas no modelo. Trata-se de ficheiros altamente comprimidos e podem ser protegidos por password. Estes ficheiros são estáticos e caso haja alterações na cache (ficheiros NWC) eles não serão actualizados. É recomendado a utilização deste formato para apresentações e partilha do projecto com participantes e partes interessadas do projecto que não possuam licenças de utilização pois este é o único formato de ficheiros que pode ser visualizado com o *Navisworks Freedom*, a versão do programa *Navisworks* disponível gratuitamente.

Os ficheiros NWC necessários foram exportados a partir do programa original, neste caso o *Revit*. Optou-se por este método, pois temos a opção de apenas exportar os elementos presentes na vista actual. Isto permite uma selecção cirúrgica e mais eficiente dos elementos a exportar. Por exemplo, em situações em que se queira verificar a compatibilidade de um projecto de AVAC e arquitectura, será mais eficiente se o projecto de arquitectura apenas incluir elementos construtivos (como lajes, paredes, pilares, etc) e não mobiliário, luminárias, elementos decorativos, etc.

Assim, a partir do programa *Revit* exportam-se os ficheiros NWC pretendidos recorrendo ao comando *Export*, disponível em *File*. Iniciando agora o programa *Navisworks* recorreremos ao comando *Append* para juntar todos os ficheiros NWC pretendidos num único ficheiro NWF. Existe ainda a opção de combinar os ficheiros através do comando *Merge*. Esta opção detecta elementos duplicados, eliminando-os, fazendo com que seja mais útil quando se combinam ficheiros NWF ou ficheiros baseados noutros, como será o caso mais à frente na implementação de elementos de segurança e a adição do estaleiro.

Uma vez introduzidos todos os ficheiros pertinentes procedemos à análise da sua compatibilidade geométrica, sendo neste caso, a análise feita entre o projecto de arquitectura e da estrutura de contenção. Para tal utiliza-se a aplicação do *Navisworks* denominada *Clash Detective*. É de destacar que a interface do programa *Navisworks* é semelhante aos restantes produtos *AutoDesk* e a funcionalidade de *Clash Detective*, e outras futuramente mencionadas para realização deste projecto, são facilmente acessíveis através do comando *Windows*, presente na secção *Workspace* do separador *View*.

7.2 Compatibilização de especialidades

7.2.1 Determinação de conjunto de objectos/sets

Para iniciar a análise de compatibilização geométrica é importante primeiro definir os conjuntos de objectos a serem utilizados pelo *Clash Detective*. Existem dois tipos de conjuntos (também denominados de *Sets*):

- *Selección Sets*: Conjuntos de objectos seleccionados manualmente. Estes conjuntos permanecem estáticos, mesmo face a alterações dos modelos que compõem o ficheiro (caso os objectos não tenham sido removidos).
- *Search Sets*: Conjuntos de objectos seleccionados através de uma busca. Esta busca é feita com base em informações paramétricas atribuídas aos objectos criados. A procura pode ser feita a nível global do projecto ou dentro de *sets* já criados, como por exemplo *sets* criados quando introduzidos os ficheiros NWC que constituem as diferentes especialidades. Estes *sets*, como a sua origem está associada a uma condição, são dinâmicos e são actualizados caso haja alguma alteração ou introdução de objectos novos no projecto. Podem ainda ser exportados e utilizados por outros utilizadores do software.

Começamos por abrir as aplicações *Find Items* e *Sets* e os menus respectivos para cada aplicação, como se pode observar na Figura 7.1. Na Figura 7.1(a) podemos constatar que existe um conjunto de objectos associados aos ficheiros NWC introduzidos e na Figura 7.1(b) os dois primeiros ícones no canto superior esquerdo *Save Selection* e *Save Search* permitem a criação de *Selección Sets* e *Search Sets*, respectivamente.

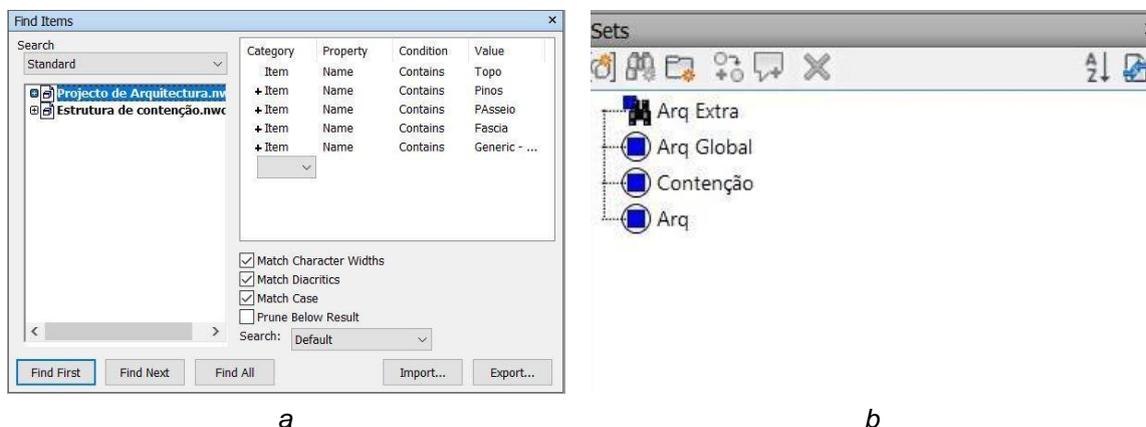


Figura 7.1 – Menu referente à procura de sets(a) e sua gestão(b).

Procede-se à criação de dois *selection sets* “Arq Global” e “Contenção”, referentes ao projecto de arquitectura e da estrutura de contenção, respectivamente. No entanto, nem sempre todos os elementos existentes são pertinentes para a análise e é necessário proceder a uma segregação para melhorar a sua eficiência. Neste caso elementos interiores, paredes e escadas, não serão pertinentes pois é expectável que entrem em conflito com a estrutura de contenção e, segundo o planeamento da obra, serão demolidos previamente à colocação da estrutura de contenção de fachada. Esta situação também se verifica para as paredes interiores do piso -1, 1 e 3, que não serão contabilizadas.

Como tal, usando *Find Items*, estabeleceu-se buscas que permitem encontrar os objectos pretendidos, com base no nome desses objectos. Nota-se que, por defeito, o programa *Navisworks* estabelece que as condições impostas estão associadas a condições *and* significando que os objectos resultantes da busca apenas serão aqueles que preencham todos os requisitos das buscas criadas. Como tal, basta clicar na busca criada e seleccionar a opção *Or Condition*, resultando numa busca que selecciona todos os objectos pretendidos que contenham pelo menos uma das condições impostas. Esta busca é então guardada, criando um *Search Sets* apenas com estes objectos, denominado de “Arq Extra”. Seleccionando os *sets* “Arq Extra” e “Estruturas” utiliza-se o comando *Invert Selection*, disponível na secção *Select & Search* do separador *Home*, ficando apenas seleccionados os objectos referentes ao edifício. Conclui-se o processo ao criar um *Selection Set*, denominado “Arq” com estes objectos.

Criados os *sets* pretendidos procede-se à análise de compatibilidade geométrica do projecto.

7.2.2 Detecção de conflitos

Abrimos o *Clash Detective* e, a partir do menu que decorre da sua iniciação seleccionamos os *sets* que serão utilizados na análise de compatibilização geométrica. Para tal é necessário seleccionar a opção *Sets* para poder introduzir os *sets* pretendidos nos quadros *Selection A* e *Selection B*, sendo seleccionados o projecto de arquitectura e da estrutura de contenção, respectivamente. É então corrido o teste, bastando apenas seleccionar a opção *Run Test*, Este teste produziu um resultado com 280 conflitos.

Analisando os casos obtidos do teste efectuado foram identificados três tipos de conflitos geométrico. Os objectos em conflito são identificados a vermelho e verde, sendo os restantes objectos em redor atribuídos uma cor neutra e alguma transparência, com o intuito de destacar o conflito, como se pode observar na Figura 7.2. É feita a sua identificação escrita, sucinta e gráfica abaixo:

- Conflito entre paredes de fachada e escoras estabilizadoras simples e ancoragens. Estes elementos de apoio à fixação dos perfis “2C HD”, atravessam as paredes de fachada. (Figura 7.3(a));
- Conflito entre paredes de fachada e perfis “2C HD” usados na cintagem das mesmas, existindo sobreposição entre estes elementos (Figura 7.3(b));
- Conflito entre a laje do piso 1 e 3 e perfis 2C +C + C extensíveis existentes na contenção interior (Figura 7.3(c)).

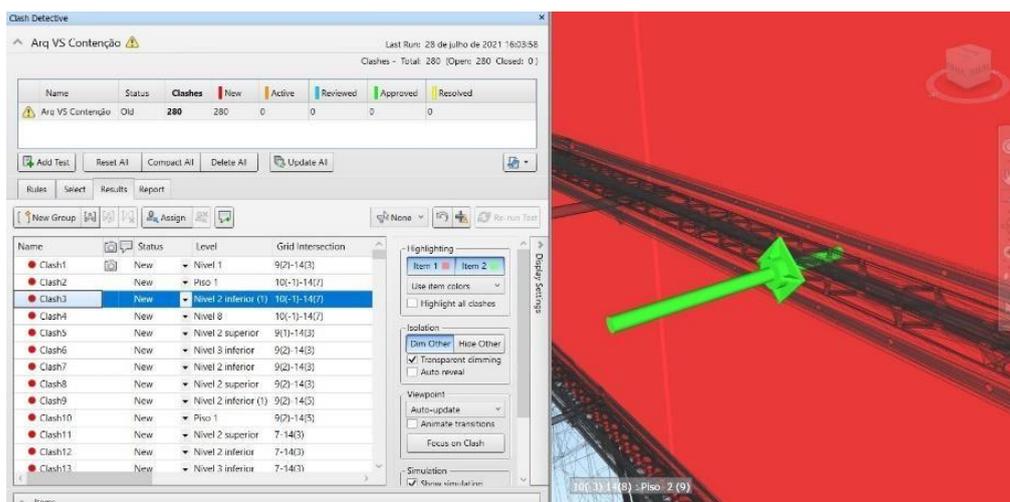


Figura 7.2 - Interface de *Clash Detective* e conflito geométrico.

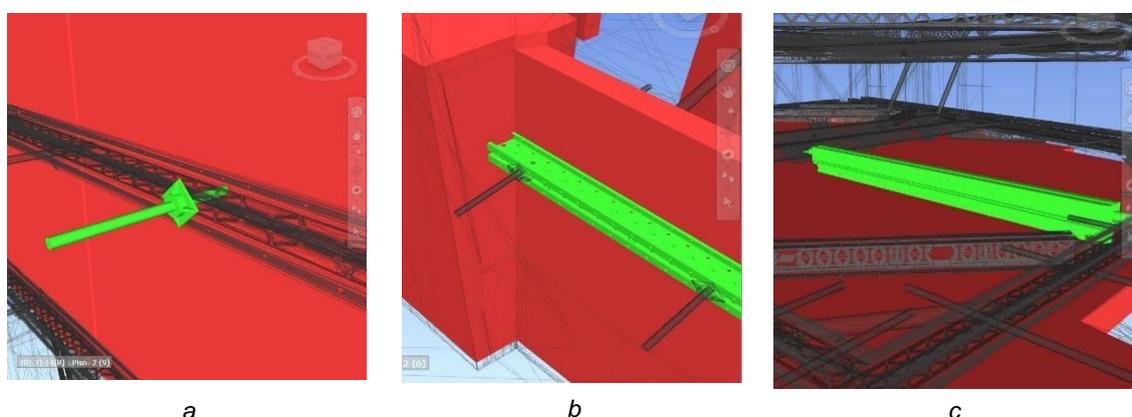


Figura 7.3 – Conflitos geométricos detectados.

7.2.3 Resolução de conflitos

Procede-se à gestão dos conflitos detectados. Estes serão divididos em dois grupos, primeiro abordar-se-ão aqueles que podem ser resolvidos internamente apenas com o uso de *Navisworks* e os restantes que necessitam de ser corrigidos externamente nos seus programas de modelação.

Começou-se por ajustar a tolerância geométrica do teste, ou seja, medida que o teste aceita a existência de sobreposição geométrica entre objectos, ao alterar o valor pretendido na entrada *Tolerance* como se pode observar na Figura 7.4. Esta medida permitiu excluir os conflitos geométricos entre as paredes de fachada e perfis “2C HD”, com a excepção de um, pois o seu conflito trata-se apenas de uma gralha gráfica, facilmente corrigida em obra e sem problemas estruturais ou de outra natureza para a obra.

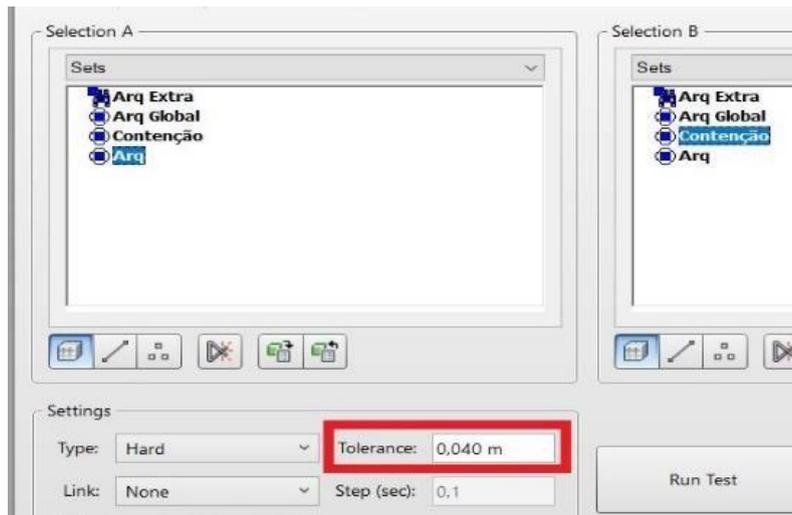


Figura 7.4 - Correção da tolerância geométrica aceite entre sobreposições de objectos.

Em seguida analisou-se os conflitos entre as paredes de fachada e escoras estabilizadoras simples e ancoragens. Este tipo de conflito existe em grande número e era esperado devido à natureza da sua aplicação, sendo necessário efectuar furações nas paredes com o objectivo de implementar estes elementos, de forma a estabilizar a contenção de fachada.

Como tal, foram seleccionando todos os casos existentes, utilizando a opção *New Group*, foram agrupados num único grupo, sendo este grupo denominado “Paredes/Escoras”. Isto permite a filtragem destes casos face aos restantes (o número de casos contabilizados desceu para apenas cinco na sua totalidade) e maior facilidade e eficiência da sua gestão no global. Adicionalmente qualquer alteração feita ao grupo é propagada para todos os conflitos que o constituem. Foi então feita a alteração na coluna *Status* do grupo, atribuída a classificação de *Aproved* ao grupo em questão, designado a que grupo de trabalho caberá a resolução do problema através da opção *Assign* e ainda um comentário com informação adicional através do ícone *Add Coment*, como se pode observar na Figura 7.5.

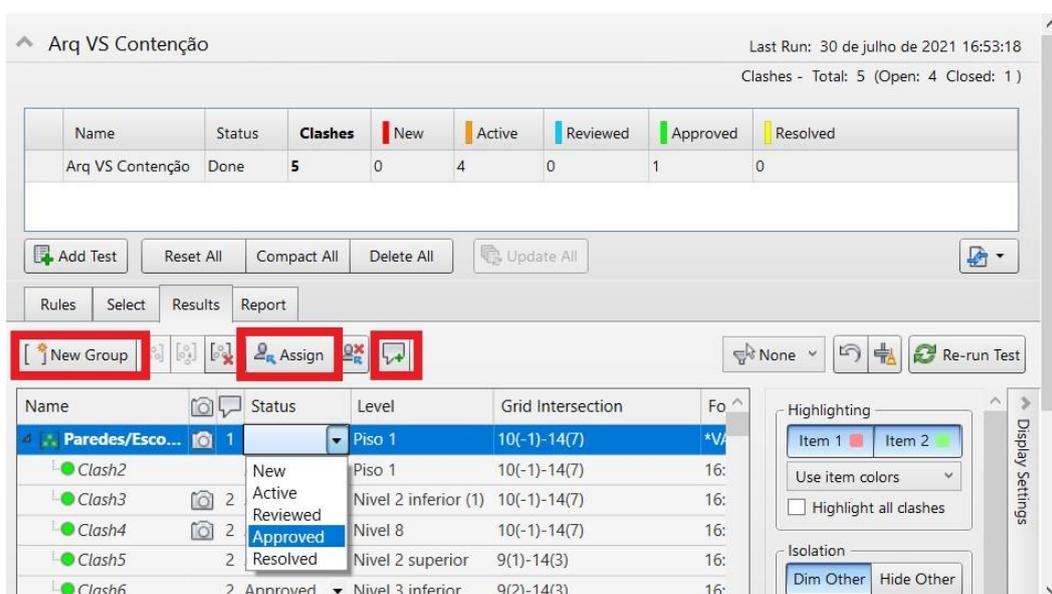


Figura 7.5 - Agrupamento de conflitos e a sua edição, estando destacados os comandos *New Group*, *Assign* e *Add coment*.

Os comentários introduzidos podem ser consultados em *Coments*, acessíveis através do comando *Windows*, como se pode observar na Figura 7.6, sendo destacável que na coluna dos comentários é possível visualizar o número existente, informando o utilizador da sua existência e quantidade.

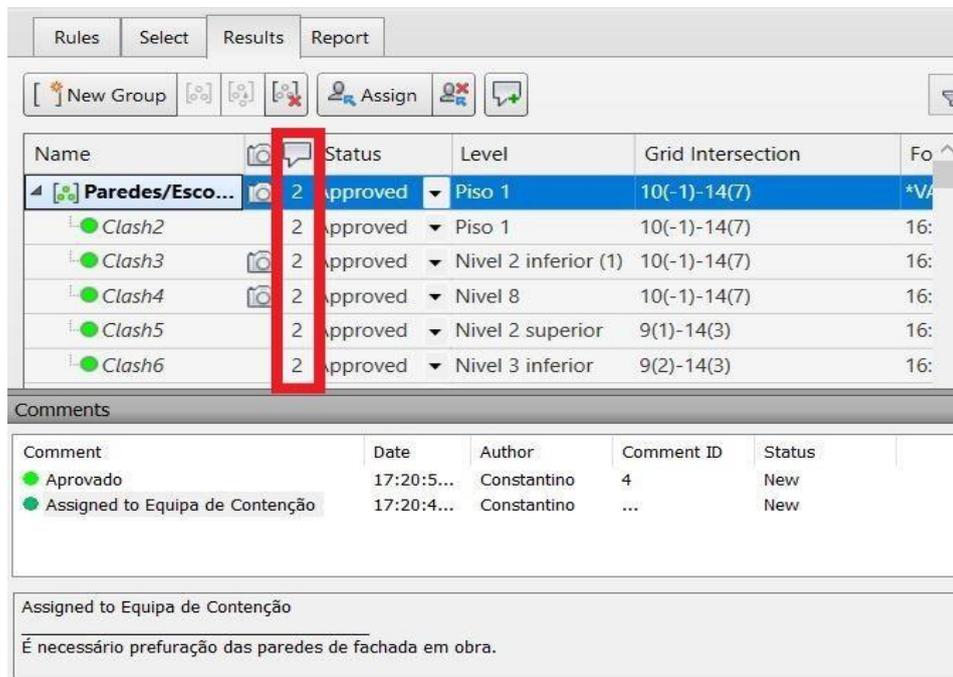


Figura 7.6 - Comentários feitos ao agrupamento de conflitos geométricos criados.

Uma vez organizados os conflitos existentes, é exportado um relatório dos mesmos. Este relatório pode ser criado em diversos formatos dos quais se incluem: XML, HTML, bloco de texto e como *Viewpoints*, sendo que este último é o único dos formatos que não cria um ficheiro externo. É criada uma pasta que inclui as vistas de todos os conflitos existentes, acessível através do comando *Saved Viewpoints*. Quanto aos restantes conflitos, (sobreposição entre as lajes dos pisos 1 e 3 e perfis da estrutura de contenção), trata-se de casos que necessitam de correcção no modelo 3D. Esta informação é exportada como anteriormente referido e comunicada ao autor do projecto em *Revit*, que procede à sua alteração.

A metodologia para realizar alterações no ficheiro NWF utilizando *Revit*, incluindo a sua concepção, encontra-se esquematizada na Figura 7.9, mais abaixo. Para este objectivo é útil a utilização da ferramenta *Switchback*. Para activar esta ligação entre os dois programas é necessário que o utilizador de *Revit* seleccione a opção *Navisworks SwitchBack 2022* como se pode observar na Figura 7.7.



Figura 7.7 - Activação da ligação entre *Revit* e *Navisworks*.

Estabelecida a ligação, basta seleccionar o objecto pretendido e usar o comando *SwitchBack* como se pode observar na Figura 7.8, abaixo. Este comando faz com que seja aberta uma vista 3D desse objecto directamente em *Revit*, denominada automaticamente *Navisworks SwitchBack*.

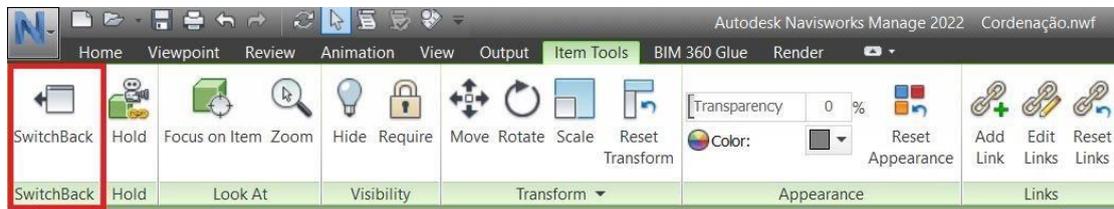


Figura 7.8 - Localização do comando *SwitchBack* no software *Navisworks*.

Feita a correcção, o autor exporta um novo ficheiro NWC. Para actualizar o projecto de coordenação, o utilizador do ficheiro NWF apenas precisa de abrir novamente o ficheiro, ou então usar o comando *refresh* com o programa já aberto.

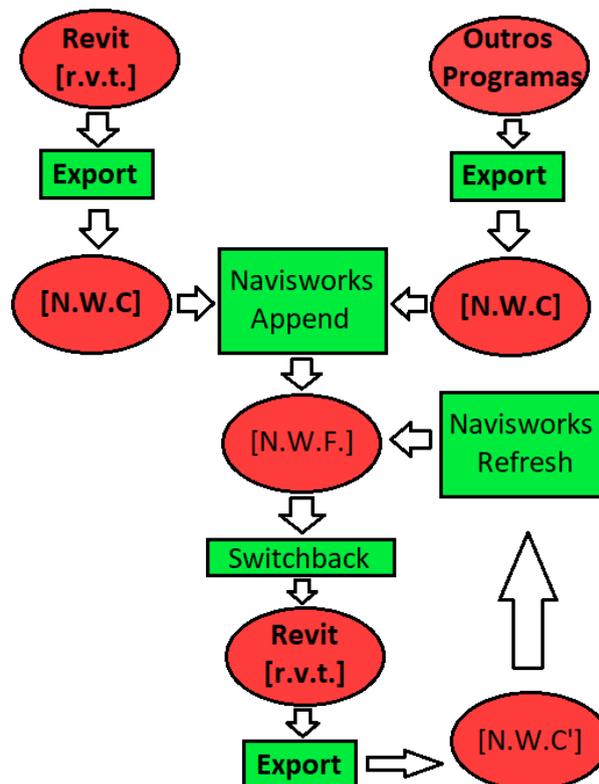


Figura 7.9 - Representação esquemática da metodologia de interoperabilidade entre *Revit* e *Navisworks*.

Este procedimento prova-se bastante dinâmico permitindo a comunicação em tempo real entre especialidades. É possível esta metodologia ser utilizada em reuniões entre os diversos intervenientes da obra e efectuar alterações rápidas durante o decorrer das mesmas.

7.3 Definição de acessos e do estaleiro

Tendo realizado a compatibilização dos projectos procede-se à definição da localização do estaleiro e acessos da obra. Esta visualização prévia do local contribui para uma melhor compreensão, por parte dos trabalhadores do espaço, dos acessos à obra enquanto torna mais eficiente a comunicação entre os mesmos e a equipa de projecto.

7.3.1 Acessos à obra

O acesso à obra é possível pela fachada frontal e por uma entrada adjacente ao edifício. O *Navisworks* possui ferramentas que permitem medir distâncias e deixar notas escritas em vistas diferentes, acessível no separador *Review*. É ainda possível adicionar uma pessoa (*avatar*) para efeitos de simulação e melhor compreensão do modelo, sendo neste caso utilizado um modelo de pessoa com 1,80 metros de altura. Pode-se constatar que os espaços dos acessos à obra são muito limitados, condicionando as entradas e saídas de trabalhadores, descargas de materiais e colocação de elementos de controlo à entrada da obra e ainda a segurança da via pública. A entrada principal dispõe de muito pouco espaço e, adicionalmente, existe risco de queda de objectos na via pública (Figura 7.10(a)). Optou-se pela colocação de andaimes com sistema de prevenção de queda de objectos, como se pode observar na Figura 7.10(b).

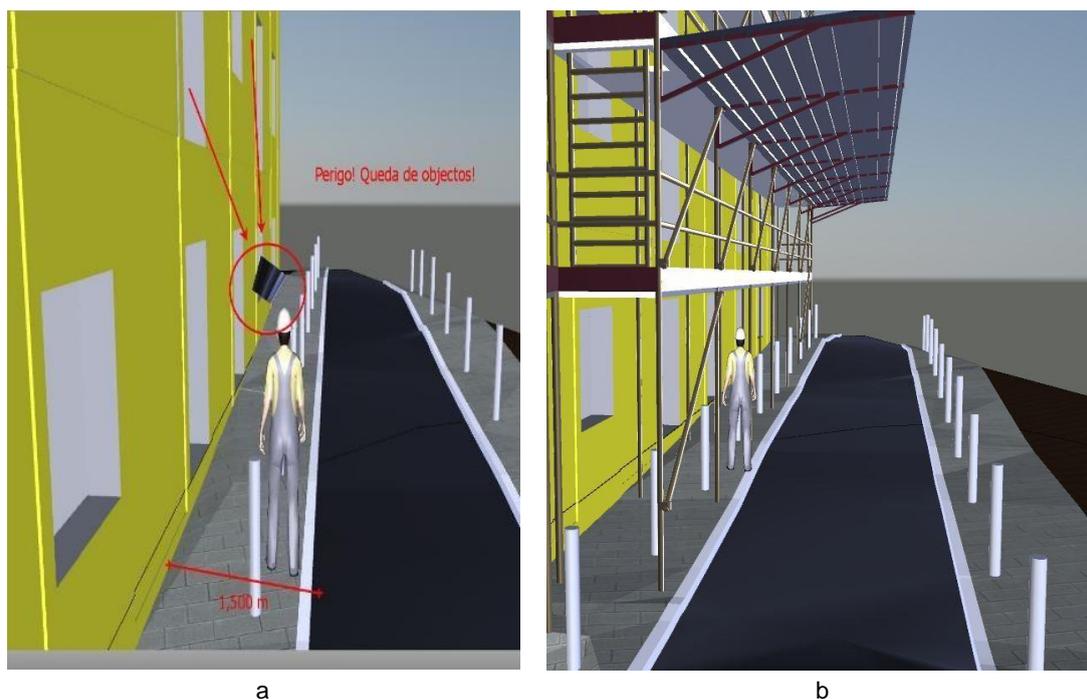


Figura 7.10 – Simulação da entrada principal da obra

Já na entrada adjacente, também limitada em termos de espaço, será necessário pôr uma barreira de forma a limitar e controlar as entradas e saídas na obra por esse acesso (Figura 7.11 (a)). Optou-se pela colocação de uma porta para limitar o acesso à obra pela entrada adjacente, como ilustrado na Figura 7.11(b).

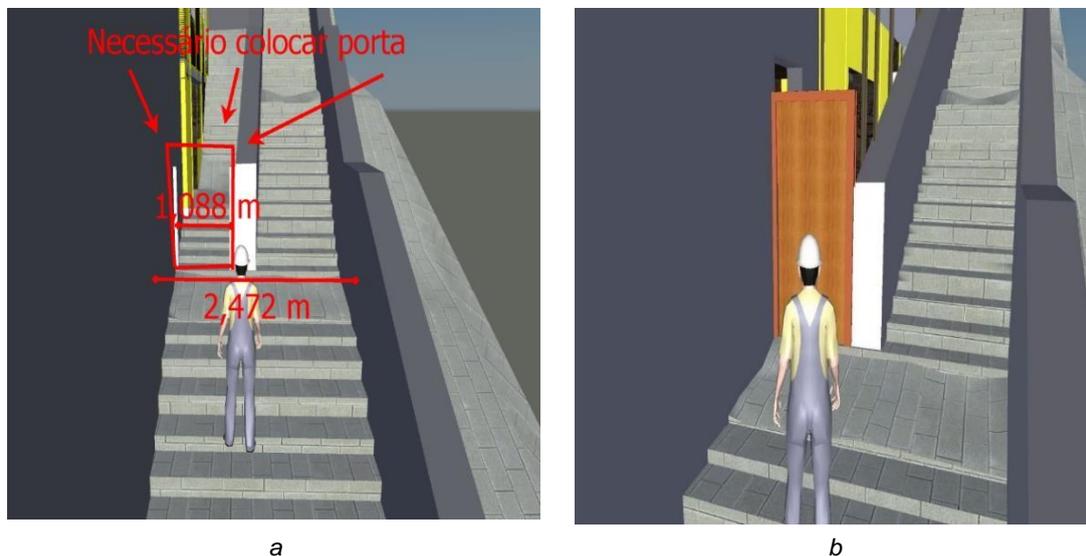


Figura 7.11 – Simulação da entrada adjacente da obra.

7.3.2 Implementação do estaleiro

Quanto ao estaleiro, devido à localização e falta de espaço da obra, foi necessário proceder à sua colocação no logradouro do edifício, com o contentor que armazena a documentação necessária para a obra e serve de recepção a visitantes ou para reuniões. Durante a simulação constatou-se que existe um desnível grande do terreno, criando uma espécie de vala. Esta vala pode levar à queda de transeuntes e eventuais ferimentos graves (Figura 7.12(a)). Como tal foi colocado um passadiço em madeira com guardas, conferindo um caminho seguro de acesso ao contentor no estaleiro, como se pode observar na Figura 7.12(b).

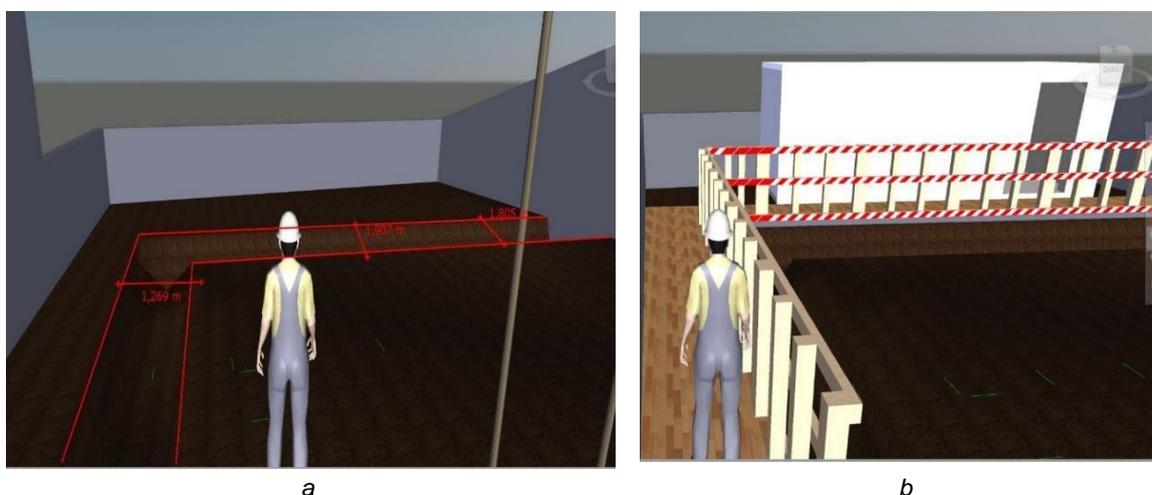


Figura 7.12 – Simulação da implementação do estaleiro

7.4 Simulação da obra

A aplicação de *Timeliner* permite a criação de um modelo 4D, através da ligação de um ficheiro de planeamento de obra a um modelo 3D com o objectivo de simular a construção da obra e das suas logísticas, previamente à sua realização. Isto permite comunicar visualmente, compreender melhor o decorrer da obra e analisar situações específicas e problemas que possam ocorrer na obra, com consequências para a segurança dos seus trabalhadores e local de trabalho, durante a sua realização.

7.4.1 Preparação e concretização da interoperabilidade entre os 3 programas

Esta funcionalidade combina os ficheiros criados em *Revit* e *MS Project*, sendo o programa *Navisworks* a plataforma que estabelece a interoperabilidade entre os dois programas, como se pode observar na Figura 7.13. No programa *Revit* tomou-se partido das capacidades paramétricas do modelo para criar um parâmetro único que permite a fácil procura de elementos específicos utilizando a funcionalidade de *search sets* em *Navisworks*. No programa *MS Project*, foi criada uma coluna que associa cada actividade a um tipo de fase em obra. Estes tipos são denominados por *Construct*, *Demolish* e *Temporary*.

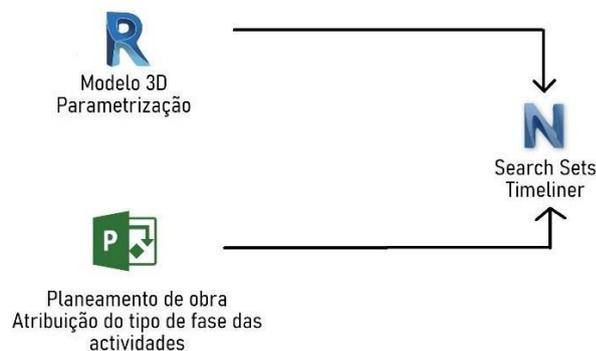


Figura 7.13 - Diagrama de interoperabilidade entre *Revit*, *MS Project* e *Navisworks*.

Para criar um parâmetro com o objectivo desejado é necessário um parâmetro com carácter global. Estes parâmetros podem ser partilhados por outros projectos e são legíveis em *Navisworks*. Recorreu-se ao comando *Shared Parameters*, em *Revit*. É então criado um grupo de parâmetros ao qual denominamos por Simulação. Dentro deste grupo cria-se o parâmetro "Tarefas", ficando com as propriedades de um parâmetro de texto, como se pode observar na Figura 7.14. Este parâmetro servirá para identificar e associar cada elemento criado a uma actividade de obra.

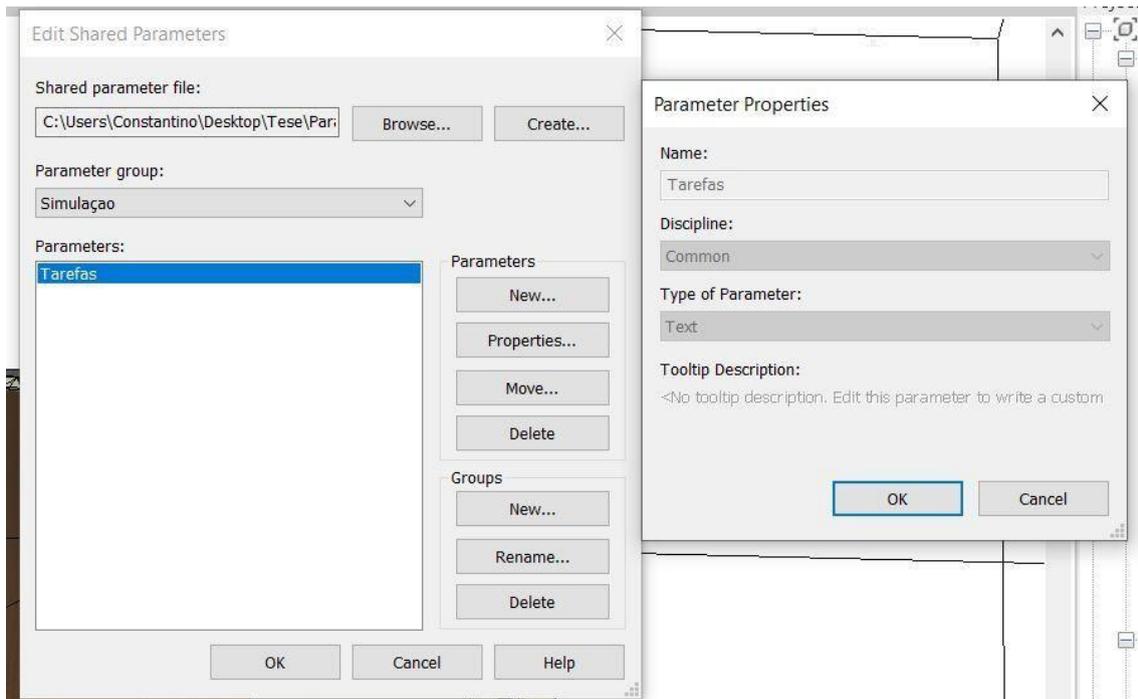


Figura 7.14 - Criação de *Shared parameter*.

De seguida, pretendemos adicionar este parâmetro criado e associá-lo aos elementos do modelo *Revit*. Através de *Project Properties* presente na secção *Settings* do separador *Manage*, acedemos ao menu dos parâmetros existentes no projecto, seleccionando a opção *Add*. No menu seguinte seleccionamos *Shared parameter* e *Select* para adicionar o parâmetro “Tarefas” criado. Adicionalmente definimos que o parâmetro aparecerá sob *Construction* nas propriedades dos elementos criados em *Group parameter under: Construction*, como se pode ver na Figura 7.15. Finalizando, no quadro da direita seleccionamos *Check All* para este parâmetro estar disponível em todos os objectos modelados.

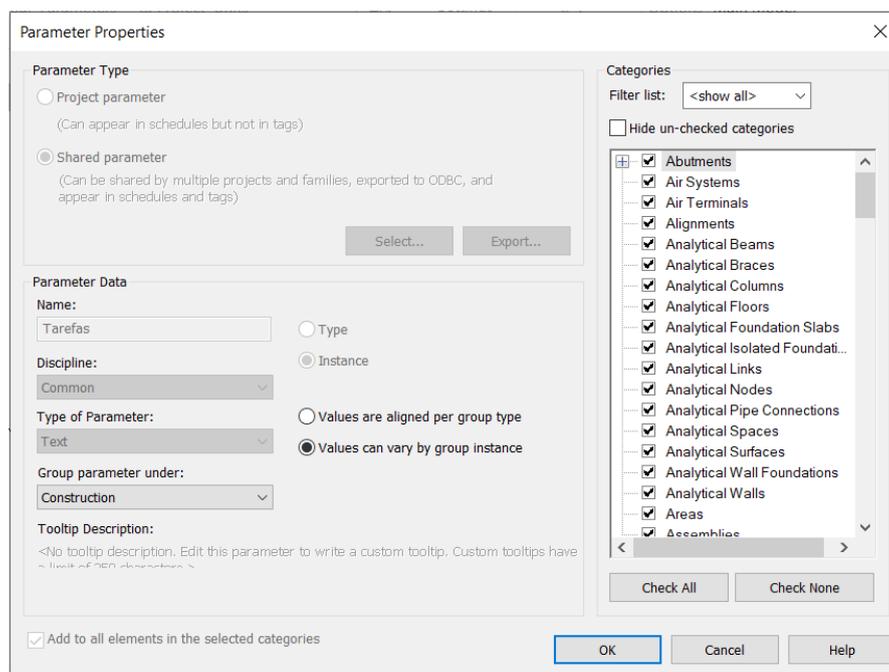


Figura 7.15 - Menu de introdução do *Shared parameter* criado no resto do projecto *Revit*.

Como consequência agora aparece um campo nas propriedades dos elementos com o nome “Tarefas”, secção *Construction*. Neste campo escrevemos o nome da actividade da obra a que estará associado. Este processo pode ser repetido diversas vezes caso existam elementos que estão associados a duas ou mais actividades de obra. É o caso da estrutura de contenção, que passa por duas fases distintas durante o decorrer da obra: a fase em que é construída/erguida e, posteriormente, demolida/retirada. Abrindo o ficheiro de planeamento em MS Project adiciona-se uma coluna ao planeamento com a informação *Text 1*. Nesta coluna podem ser inseridos valores de texto, neste caso insere-se *Construct*, *Demolish* e *Temporary*, associados à actividade correspondente.

Retomando os trabalhos em *Navisworks* procede-se à criação de *Search sets*. A base da busca são os nomes das actividades de obra, aparecendo somente os elementos associados às mesmas. No âmbito desta metodologia e para ser mais clara a interpretação para outros utilizadores, opta-se por nomear cada *set* com os nomes das actividades de obra.

7.4.2 Introdução de dados para execução da simulação

Abrindo agora a ferramenta *Timeliner* verificamos que possui quatro separadores:

- *Simulate* – Controla o decorrer da simulação, sendo possível alterar as suas definições através do comando *Settings*. Neste menu, presente na Figura 7.16, em *Start/End Dates* definimos a data de início da simulação, em *Interval Size* o tamanho do intervalo de tempo em que podemos movimentar a simulação, em *Playback Duration* o tempo total da simulação e em *Overlay Text* adicionar texto informativo ao decorrer na mesma. Neste caso, a data de início é por definição a mesma definida no ficheiro de planeamento importado, os intervalos de tempo ficam definidos em 5% do projecto na sua totalidade de cada vez, definiu-se o tempo total da simulação em 120 segundos e optou-se por colocar a hora, data (dia de semana, dia, mês e ano) e as actividades activas como texto informativo no canto superior esquerdo da simulação;

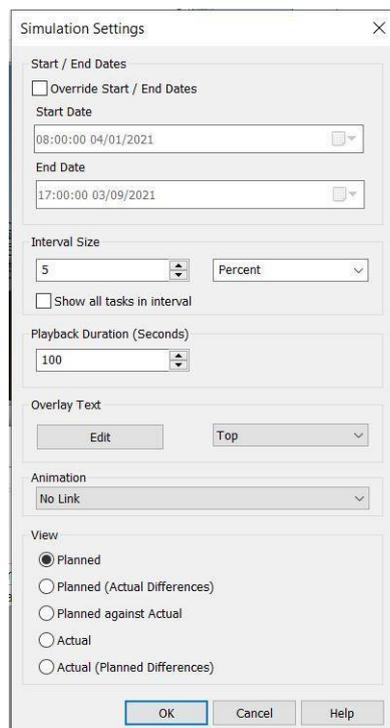


Figura 7.16 - Menu que controla as definições da simulação.

- *Configure* – Estabelece a aparência que os elementos terão no decorrer da actividade da obra a que estão associados na simulação, ajudando a identificar as fases da obra a que estão associados. Esta funcionalidade não só altera a cor dos objectos como também a sua visibilidade. Por pré-definição estão definidas três fases possíveis: *Construct* em que o elemento aparece a cor durante o decorrer e quando finalizada com a sua aparência final, *Demolish* em que o elemento aparece a cor durante o decorrer e desaparece quando finalizada e *Temporary*. Estas aparências e cores podem ser alteradas de acordo com o utilizador. Para demonstrar esta funcionalidade definiu-se o *Construct* para vermelho, *Demolish* para verde e *Temporary* para azul. Foi ainda criado um tipo de fase de obra denominado *Permanent*, que inclui as paredes de fachadas, elementos da rua, terreno e estaleiro, pois são elementos que não se alteram e estão sempre presentes no decorrer da obra;
- *Data Sources*: Importa ficheiros de planeamento de obra. Neste caso importou-se o planeamento previamente feito em *MS Project*. No menu que sucede esta operação, *Field Selector*, na linha de *Task Type* introduz-se o campo “Text 1” como se pode ver na Figura 7.17. Isto resulta que as actividades importadas do ficheiro de planeamento terão automaticamente a sua aparência definida para quando se realizar a simulação, evitando ter que se realizar o processo manualmente uma a uma em *Navisworks*;



Figura 7.17 - Menu *Field Selector* e atribuição das fases de obra a cada actividade.

- *Tasks*: Neste menu pode-se criar actividades associá-las aos elementos 3D presentes no programa e alterar as suas propriedades, desde o tempo que começa e acaba, aparência, etc. É também possível fazer a gestão e associação de elementos a uma lista de actividades pré-concebidas noutro programa, como é o caso. Já tendo presentes a actividade de obra procede-se à sua associação aos elementos 3D existentes. No entanto, associar cada elemento a cada actividade seria um processo muito moroso. Como tal recorre-se à associação automática através do ícone *Auto-Attach Using Rules*. No menu que sucede, opta-se pela regra *Map TimeLiner Tasks from Column Name to Selection Sets with the same name, Matching case*. Esta regra faz com que cada actividade fique associada a um *Selection Set* ou *Search Set* previamente criado, desde que tenha exactamente o mesmo nome que a actividade em questão.

7.5 Análise da simulação de obra

Procede-se então à análise e identificação de perigos durante o decorrer da obra, bem como à atribuição de medidas de mitigação.

7.5.1 Determinação de caminho de circulação nos andaimes

Antes de iniciar a análise às actividades estabelece-se o caminho de circulação dentro da obra, em particular nos andaimes devido ao perigo que acarreta. Os andaimes apenas foram colocados na fachada principal e na fachada Sul do edifício, sendo o acesso entre cada nível feito através de escadas contidas nos mesmos, como se pode observar na Figura 7.18(a). Adicionalmente, a Figura 7.18(b) demonstra que o espaço é muito limitado, condicionando severamente a circulação. Como tal optou-se por definir a colocação das escadas de acesso num dos extremos de cada nível dos andaimes.

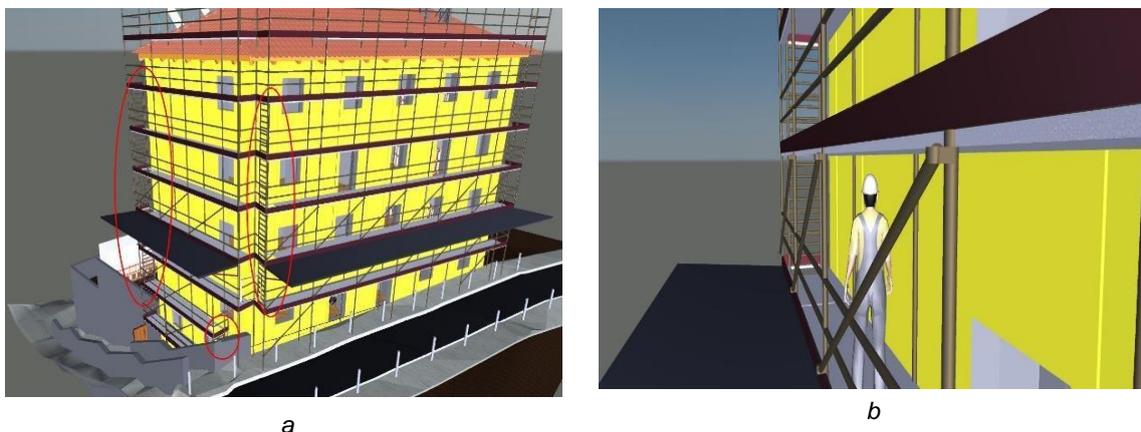


Figura 7.18 – Simulação da circulação e perspectiva de espaço em andaime.

7.5.2 Colocação da grua torre

A primeira situação que nos deparamos será a colocação da grua torre. Devido à sua localização ser no interior do edifício é necessário abrir vazios ao longo da verticalidade do mesmo, criando o perigo de existência de acidentes por queda em altura. É também aconselhada a demolição parcial de alguns elementos próximos, de forma a libertar espaço e permitir uma melhor e mais segura execução dos trabalhos. Na Figura 7.19 podemos observar esta situação bem como a medida tomada para mitigar este risco.

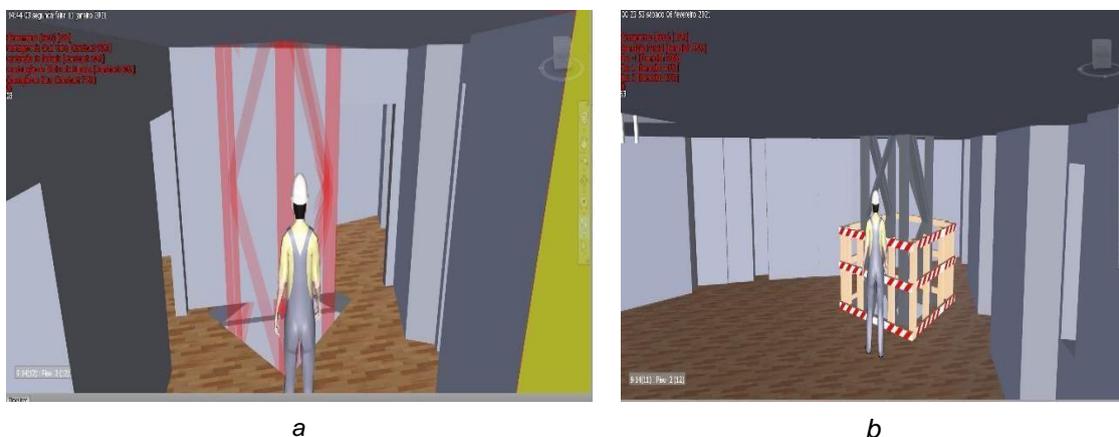


Figura 7.19 – Simulação de colocação da grua torre(a) e medida de segurança(b).

7.5.3 Colocação de andaimes

Como mencionado no capítulo 5, a erecção do pórtico da estrutura de contenção foi feita com recurso a andaimes no interior do mesmo, sendo estes retirados após o seu levantamento. Para simular este procedimento no *Timeliner*, no separador *Task*, foi seleccionada a actividade “Colocação de Pórtico” e adicionada uma nova tarefa ao planeamento, através do ícone *Insert Task*. Esta nova tarefa fica directamente por cima da tarefa previamente seleccionada. A esta nova tarefa associamos um set constituído pelos andaimes colocados no espaço interior da estrutura, definimos o nome como “Colocação de Pórtico temp”, a data de início e término iguais à actividade “Colocação de Pórtico” e definimos o tipo de actividade como *Temporary*, na coluna *Task Type*. Uma vez que esta tarefa é criada directamente no *timeliner* não tem nenhuma relação com as outras já existentes e não provoca nenhuma alteração no planeamento da obra. Isto significa que durante a actividade “Colocação de Pórtico” os andaimes aparecem com a cor azul e, uma vez terminado, a actividade, eles desaparecem. Na Figura 7.20(a), podemos observar os andaimes a azul e a estrutura metálica a vermelho, juntamente com o *avatar*, para melhor percepção da escala e do espaço existente, e a conclusão do processo de construção (Figura 7.20 (b)).

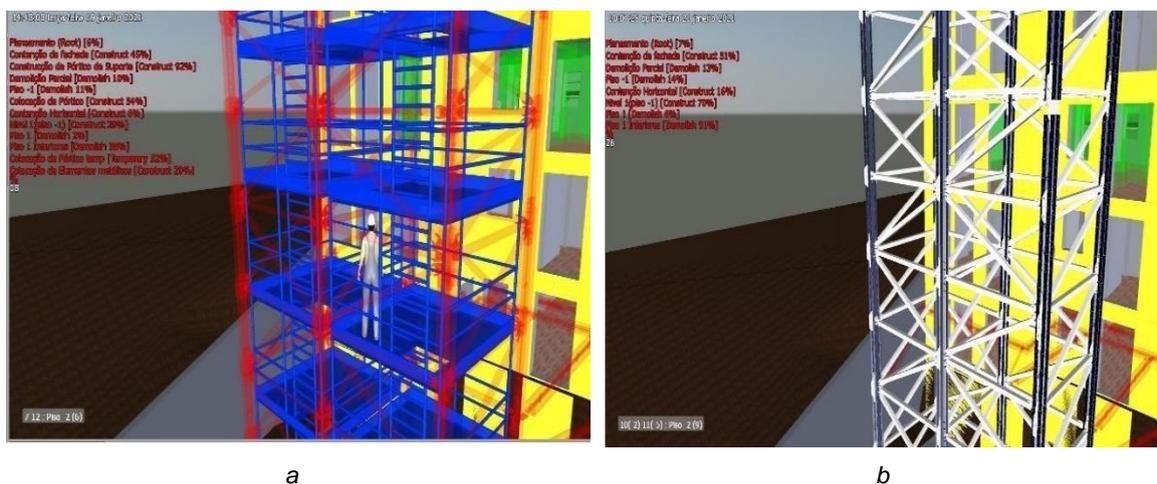


Figura 7.20 – Simulação da construção do pórtico

7.5.4 Colocação de perfis de contenção na fachada

O próximo caso exposto trata-se do perigo de acidente por esmagamento na colocação dos perfis horizontais na fachada. Para este caso será melhor demonstrar os elementos em questão isolados, do que durante o decorrer da simulação global, para uma melhor compreensão das implicações e gravidade do perigo. Para melhor demonstrar este processo recorreu-se a uma animação, produzida através da funcionalidade de *Animator*. No menu decorrente a animação é feita através da captação de *Key Frames*. Estes são momentos gravados na animação em que os objectos associados à mesma encontram-se numa determinada posição geométrica e num determinado instante no tempo. Através da captação de vários *key frames* é possível criar uma sequência desses momentos, que resulta numa animação. A movimentação dos objectos é feita através da manipulação de um sistema de eixos associado ao mesmo, acessível também através do *Animator*. Neste caso foi demonstrado o movimento descendente vertical do bailéu e o erguer do perfil metálico, a partir do chão na vertical, como se pode observar na Figura 7.21.

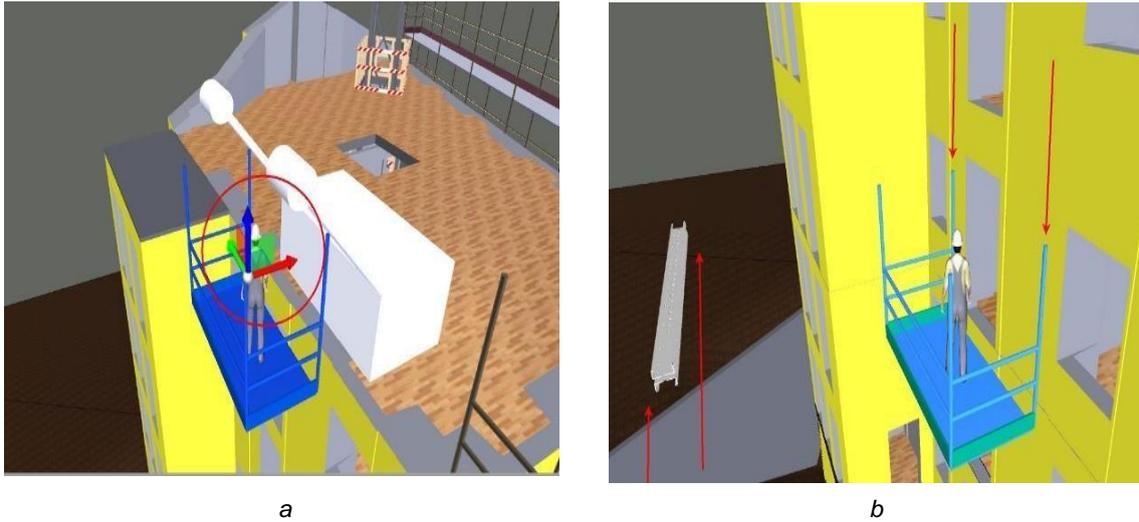


Figura 7.21 – Simulação do movimento do bailéu(a) e perfil metálico(b).

Prosseguindo com a animação, o perfil assume um movimento horizontal em direcção à fachada do edifício. Neste movimento existe o perigo de ocorrer um acidente por esmagamento. A Figura 7.22 ilustra esse perigo e a sugestão de correcção do movimento para redução da possibilidade de ocorrer o perigo em questão.

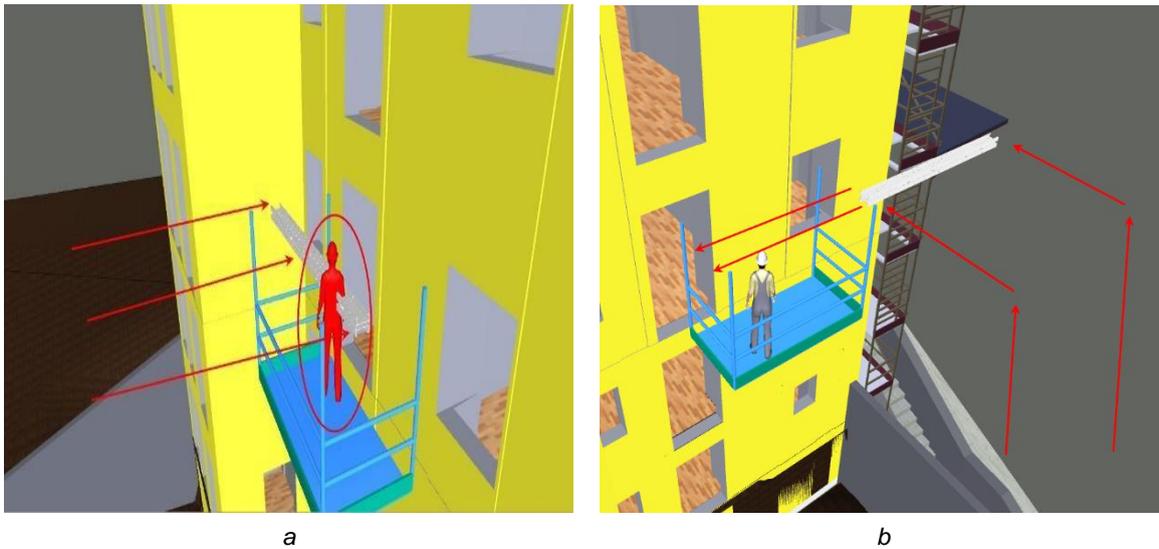


Figura 7.22 – Simulação de perigo por esmagamento(a) e sugestão de movimentação de carga(b).

7.5.5 Estrutura interior

O próximo caso em análise é a estrutura interior já colocada, mais especificamente o ambiente de trabalho. Como podemos observar pela Figura 7.23 abaixo, a estrutura ocupa uma grande quantidade de espaço no interior do piso, condicionando significativamente os trabalhos decorrentes na zona.



Figura 7.23– Simulação do espaço ocupado pela estrutura de contenção no interior.

Através da simulação podemos observar que o *avatar* precisa de se agachar para circular no piso devido à presença da estrutura metálica, demonstrando que, embora seja possível a circulação entre os perfis, esta encontra-se condicionada, como se pode observar na Figura 7.24. Devido há falta de espaço e circulação limitada, não é recomendada a presença de um grande número de trabalhadores a executar os trabalhos.

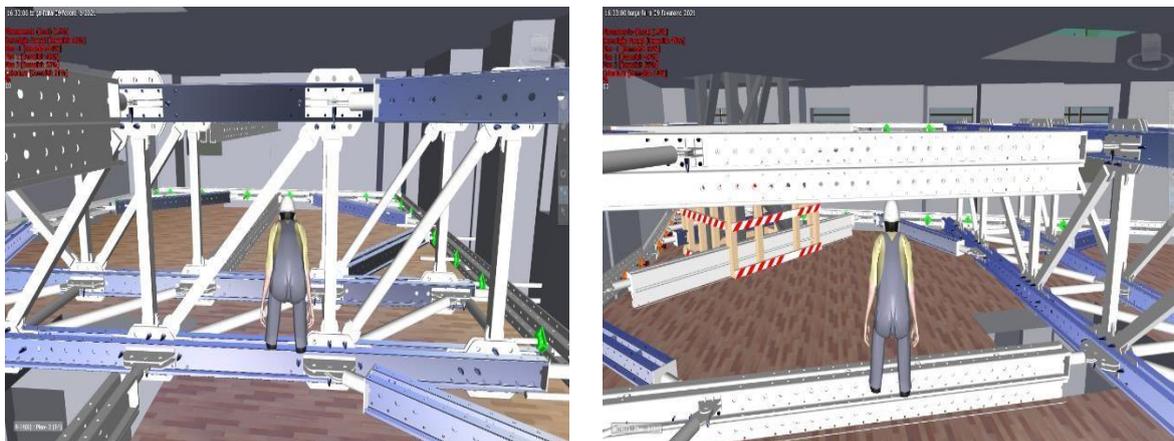


Figura 7.24 – Simulação da limitação de circulação devido à estrutura de contenção

Ainda referente a este caso é possível visualizar o perigo de queda em altura através da abertura feita, decorrente da demolição das escadas, como se pode observar na Figura 7.25(a). Para este caso sugere-se a colocação de uma placa constituída por barrotes de madeira.

Uma solução simples, mas eficaz, que permite o decorrer de trabalhos em segurança e cujos materiais são de fácil acesso e comuns em qualquer obra. Esta solução pode ser observada na Figura 7.25(b).

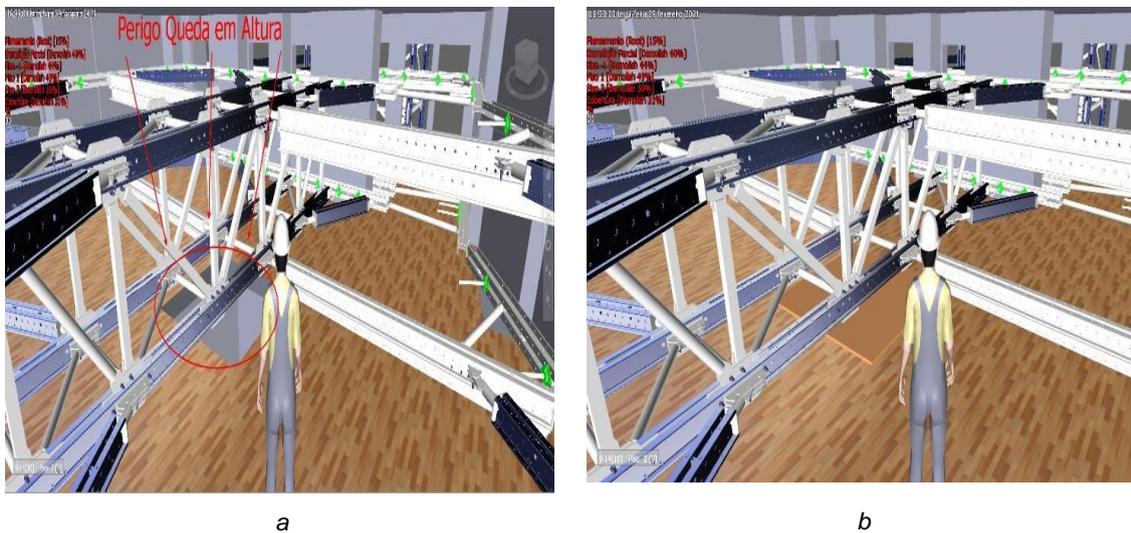


Figura 7.25 – Simulação de perigo de queda em altura e medida de segurança.

8 Conclusão

8.1 Discussão de resultados

Embora já exista há décadas, a metodologia BIM continua a ser uma abordagem inovadora com diversas ferramentas que permitem a concretização de numerosas análises e novas formas de abordar projectos e obras. Com esta dissertação procurou estabelecer-se uma metodologia de trabalho BIM focada em 8D, com recurso à utilização de *Navisworks Manage*.

Apesar da utilização de BIM ser mais comum para obras de grande envergadura, esta metodologia procurou explorar e demonstrar a possibilidade de ser utilizada em projectos de menor dimensão, como no caso de estudo, tratando-se de um projecto de reabilitação com conservação de fachada, algo bastante comum em Lisboa. Um maior foco na fase de concepção, também resulta numa construção mais eficiente e com menos erros, algo que pode ser pertinente em edifícios antigos que necessitem de maiores cuidados, métodos construtivos selectivos e pouco destrutivos, como o caso de estudo analisado cuja construção remonta à época anterior ao terramoto de 1755 [35].

Com o *Revit* procedeu-se à modelação do edifício e da sua envolvente. Apesar da geometria altamente irregular e específica dos seus elementos, foi possível realizar um modelo 3D pormenorizado e realístico do edifício em questão e da sua envolvente exterior. A estrutura de contenção de fachada exigiu mais esforço, pois é constituída por elementos que não estão pré-disponíveis em *Revit*. Como tal foi necessário modelá-los, sendo este processo algo moroso. No entanto, uma vez criadas estas famílias de objectos podem ser usadas diversas vezes e em vários projectos, sendo o seu constrangimento, em termos de tempo despendido, largamente reduzido após a sua criação. Esta modelação forma a base do modelo BIM sendo a sua precisão e realismo um factor preponderante na comunicação e transmissão de informação pertinente aos diversos intervenientes na obra.

Utilizando *MS Project* efectuou-se a criação do planeamento, hierarquização das actividades e calendarização de forma expedita e eficiente, determinando também o seu tempo de duração e data de conclusão. A possibilidade de criação de diferentes tipos de dependências entre as actividades permite conferir um maior grau de complexidade e realismo ao planeamento, enquanto, existindo a possibilidade de ser actualizado com o decorrer da obra, demonstra também espaço para adaptação face ao estado do projecto.

De seguida procedeu-se à coordenação do projecto, agora em *Navisworks*, e à identificação de sets e detecção de conflitos geométricos existentes. Estes foram identificados e separados em dois grupos: os que podem ser resolvidos internamente, directamente em *Navisworks* e os que necessitam de ser resolvidos externamente, com nova modelação nos seus programas de origem.

Uma vez resolvidos os conflitos, deu-se início à visualização virtual do espaço e da obra, colocando um *avatar* de um trabalhador para conferir um maior grau de realismo. Identificaram-se os acessos à obra, localização para implementação do estaleiro e efectuaram-se simulações dos trabalhos realizados, após a introdução do ficheiro que contém o planeamento da obra, proveniente do programa *MS Project*. Resultante destas simulações foram identificadas situações potencialmente perigosas e feitas sugestões para corrigir ou mitigar os riscos. Nesta fase é estabelecida a interoperabilidade entre os 3 programas abordados, pois é o resultado da combinação dos seus ficheiros, sendo *Navisworks Manage*

a plataforma que estabelece essa ligação. Estas simulações podem ser registadas como fotos ou vídeos, podendo futuramente ser incluídas no plano de saúde e segurança de um projecto.

O facto de tamanho dos ficheiros NWC ser consideravelmente pequeno e de existir uma versão que funciona como visualizador gratuito, *Navisworks Freedom*, facilita a sua transmissibilidade. Esta versão permite que as partes interessadas que não tenham licença de utilizador possam visualizar o projecto. Outro ponto forte do programa utilizado é a capacidade de comunicar com clareza e exactidão quais os conflitos existentes e a sua localização. No entanto, é necessário o utilizador ter a capacidade para os contextualizar e corrigir, sendo esta capacidade denunciadora da qualidade e experiência de um coordenador de projecto e a utilidade do programa fica fortemente associada a esta.

8.2 Desenvolvimentos futuros

No entanto, esta metodologia carece de carácter empírico. Pouco tempo após o início da realização desta dissertação a obra sofreu um embargo, impossibilitando o seu acompanhamento. Como tal não foi possível explorar a possibilidade de a metodologia acompanhar a obra e adaptar-se ao processo de construção durante o seu decorrer.

Uma outra barreira à sua utilização será o problema dos custos financeiros. Como já mencionado no capítulo 2 uma licença implica um encargo bastante dispendioso e esta metodologia utiliza 3. Empresas em Portugal, particularmente pequenas e médias empresas, podem não ter a disponibilidade financeira para implementar BIM. Adicionalmente poderá ser necessário investir na formação de trabalhadores já pertencentes aos quadros das empresas ou estes terão de procurar formação exterior por iniciativa e meios próprios.

Incentivos fiscais por parte do Governo poderão formar contribuições importantes para facilitar a implementação de práticas BIM nestas empresas [47]. Aliás, o Governo será um dos principais interessados na implementação de BIM no país, tratando-se do maior dono de obra. Uma medida a tomar que poderia levar a uma implementação de BIM bem-sucedida no país seria a exigência de entregas em plataformas BIM nas obras publicas em Portugal [47]. É de notar que em países como o Reino Unido e que constituem a região da Escandinávia, que tiveram implementações bem-sucedidas de BIM, o governo teve um papel preponderante e decisivo no seu sucesso pois, apesar de serem países conhecidos por propor reformas no sector publico através de estratégias flexíveis, optaram por impor o BIM por via legislativa.

Apesar de diversas iniciativas por parte de empresas e instituições de ensino portuguesas, será da responsabilidade do Governo ter um papel mais activo na implementação de BIM, sendo que apenas será uma realidade mundana no sector da construção com o seu contributo. No entanto, a cultura portuguesa tradicionalmente oferece muita resistência à mudança e o sector da construção padece da mesma condição, denotando-se tanto nos trabalhadores do sector como das empresas. Face a esta mentalidade será necessário que medidas referentes ao BIM venham a ser incentivadas e legisladas [47]. Esta resistência também se verifica a nível político. A implementação de BIM não se trata de um projecto para curto prazo, podendo os resultados apenas ser visíveis na sua totalidade ao fim de 10 ou 15 anos [47]. Este tempo ultrapassa o normal regime de uma legislatura de quatro anos, tornando-se

pouco atractivo para quem estabelece a legislação, e havendo relutância por parte dos agentes políticos à sua implementação.

Um outro sintoma que prejudica a mudança de paradigmas é a corrupção existente, algo que Portugal é notório até mesmo em relação ao panorama europeu, “Acresce que os procedimentos de adjudicação adoptados nem sempre conferiram, transparência às escolhas efectuadas, nem permitiram o adequado funcionamento das regras de mercado, de modo a possibilitar a obtenção de propostas economicamente mais vantajosas, decorrentes do exercício da concorrência...” [48]. A implementação de práticas com base em BIM traz mais transparência ao processo de concurso e reduz ao mesmo tempo derrapagens e atrasos, conferindo progressos ao sector, a viabilização e justificação a sua utilização em obras publicas em Portugal.

A implementação de legislação, por sua vez, obrigaria as empresas a adaptarem-se e estariam mais investidas em comunicar aos clientes as particularidades do BIM. Por sua vez este aumento da sensibilização em relação ao BIM por parte dos clientes levaria a um maior interesse na criação de legislação que regule estes processos, criando assim um círculo de propagação e disseminação do paradigma BIM.

Por fim, é de denotar que esta metodologia foi efectuada recorrendo a 3 programas disponíveis por licenças para estudantes. Isto significa que pode ser incorporada no currículo das faculdades e fazer parte da formação de futuros engenheiros, traduzindo-se numa vantagem e mais-valia a nível profissional e futuro. A presença de BIM no currículo de cursos de engenharia deverá ser cada vez mais comum e preponderante no futuro em Portugal, algo que já acontece em muitos outros países.

Referências Bibliográficas

- [1] McKinsey & Company, “Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity,” *Mckinsey Glob. Insititute*, no. February, p. 168, 2017.
- [2] J. P. Couto and J. M. C. Teixeira, “As Consequências do Incumprimento dos Prazos para a Competitividade da Indústria de Construção – Razões para os Atrasos,” *3ª Conferência Eng. 2005*, pp. 1–6, 2005.
- [3] F. Santo, “Recomendações Da Ordem Dos Engenheiros Para Redução Dos Desvios De Custos E De,” 2006.
- [4] A. Z. Sampaio, “Conceito BIM e multiutilização : modelos nD / BIM,” *Int. Congr. Eng. 2017*, 2017.
- [5] C. Eastman and Others, “An Outline of the Building Description System. Research Report No. 50,” p. 23, 1974.
- [6] R. Aish, “Building Modelling: the key to Integrated Construction CAD,” *fifth Int. Symp. use Comput. Environ. Eng. Relat. to Build.*, no. October, pp. 55–67, 1986.
- [7] R. Aish, “Three-dimensional input and visualization,” *Comput. Archit. Des. Futur.*, pp. 68–84, 1986, doi: 10.1016/b978-0-408-05300-6.50013-5.
- [8] G. A. van Nederveen and F. P. Tolman, “Modelling multiple views on buildings,” *Autom. Constr.*, vol. 1, no. 3, pp. 215–224, 1992, doi: 10.1016/0926-5805(92)90014-B.
- [9] “IFC - Where it all started - The End of Babel - Part 1/2 - YouTube.” [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=g_jmGQvr6dQ. [Accessed: 06-Oct-2021].
- [10] A. Z. Sampaio, “Modelação BIM : conceito de objecto paramétrico e sua utilização,” *Int. Congr. Eng. 2017*, 2017.
- [11] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, vol. 12, no. 3. 2012.
- [12] M. P. Gallaher, A. C. O’Conor, J. L. Dettbarn, and L. T. Gilday, “Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry,” *Natl. Inst. Stand. Technol.*, pp. 1–210, 2004, doi: 10.6028/NIST.GCR.04-867.
- [13] S. Mihindu and Y. Arayici, “Digital construction through BIM systems will drive the Re-engineering of construction business practices,” *Proc. - Int. Conf. Vis. VIS 2008, Vis. Built Rural Environ.*, pp. 29–34, 2008, doi: 10.1109/VIS.2008.22.
- [14] S. Azhar, “Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry,” *Leadersh. Manag. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, 2011, doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
- [15] R. Sacks and R. Barak, “Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice,” *Autom. Constr.*, vol. 17, no. 4, pp. 439–449, 2008, doi: 10.1016/j.autcon.2007.08.003.
- [16] A. Z. Sampaio and R. V. Lozano-Diez, “BIM short course for construction industry professionals = Curso corto en BIM dirigido a los profesionales de la industria de la construcción,” *Adv. Build. Educ.*, vol. 4, no. 3, p. 23, 2020, doi: 10.20868/abe.2020.3.4508.
- [17] J. Mizumoto and F. Oliveira, “BIM EDUCAÇÃO, UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ESTRUTURA,” *Livro Atlas do ptBIM 2020 – 3º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, pp. 173–182, 2020.

- [18] A. Silva, D. Drumond, and J. Oliveira, "BIM A400: IMPLEMENTAÇÃO, RESILIÊNCIA, RENTABILIDADE," *Livro Atlas do ptBIM 2016 - 1º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, pp. 19–31, 2016.
- [19] B. Succar, "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders," *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, 2009, doi: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.
- [20] A. Hore, B. McAuley, and R. West, "BICP Global BIM Study: Lessons for Ireland's BIM Programme," *Constr. IT Alliance Ltd.*, p. 56, 2017, doi: 10.21427/D7M049.
- [21] A. K. D. Wong, F. K. W. Wong, and A. Nadeem, "Government roles in implementing building information modelling systems: Comparison between Hong Kong and the United States," *Constr. Innov.*, vol. 11, no. 1, pp. 61–76, 2011, doi: 10.1108/147141711111104637.
- [22] McGraw Hill Construction, *The Business Value of BIM in North America*. 2012.
- [23] F. Gon, "Bim Bim : Tudo O Que Você Precisa," 2018.
- [24] NBS, "National BIM Report 2019," *Natl. BIM Rep. 2019 Defin. Ind. Updat.*, pp. 1–28, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [25] A. A. Costa, "BIM e a Digitalização da Construção e das Infraestruturas," vol. 20, 2018.
- [26] J. W. Hinze, "The distractions theory of accident causation, in Implementation of Safety and Health on Construction Sites," in *Proceedings of the First International Conference CIB Working Commission*, 1996.
- [27] P. G. Furst, "Prevention through design (safety in design).," 2009.
- [28] J. Mroszczyk, "Designing for construction worker safety," 2008.
- [29] I. Kamardeen, "8D BIM modelling tool for accident prevention through design," *Assoc. Res. Constr. Manag. ARCOM 2010 - Proc. 26th Annu. Conf.*, no. September, pp. 281–289, 2010.
- [30] J. H. Kang, S. D. Anderson, and M. J. Clayton, "Empirical Study on the Merit of Web-Based 4D Visualization in Collaborative Construction Planning and Scheduling," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 133, no. 6, pp. 447–461, 2007, doi: 10.1061/(asce)0733-9364(2007)133:6(447).
- [31] M. J. Burke, S. A. Sarpy, K. Smith-Crowe, S. Chan-Serafin, R. O. Salvador, and G. Islam, "Relative effectiveness of worker safety and health training methods," *Am. J. Public Health*, vol. 96, no. 2, pp. 315–324, 2006, doi: 10.2105/AJPH.2004.059840.
- [32] H. Li, G. Chan, and M. Skitmore, "Visualizing safety assessment by integrating the use of game technology," *Autom. Constr.*, vol. 22, pp. 498–505, 2012, doi: 10.1016/j.autcon.2011.11.009.
- [33] S. Ahn, T. Kim, Y. J. Park, and J. M. Kim, "Improving Effectiveness of Safety Training at Construction Worksite Using 3D BIM Simulation," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, pp. 1–20, 2020, doi: 10.1155/2020/2473138.
- [34] E. Dale, "Audio-Visual Methods in Teaching," *3rd ed.*, Holt, Rinehart Winston, New York, p. 108, 1969.
- [35] M. Clara, B. Vieira, M. Clara, and B. Vieira, "História das tipologias arquitetônicas de edifícios correntes de habitação , construídos na cidade de Lisboa desde o início do século XVIII até à década de 1930," 2018.
- [36] F. S. Valério, "Caracterização de edifícios antigos. edifícios pombalinos," 2011.

- [37] "RevitCity.com." [Online]. Available: <https://www.revitcity.com/index.php>. [Accessed: 18-May-2021].
- [38] H. Miguel and C. Andrade, "Caracterização de Edifícios Antigos - Edifícios 'Gaioleiros,'" pp. 1–144, 2011.
- [39] EN 14439, European Standard, "Cranes – Safety – Tower Cranes" – "Aparelhos de elevação de carga suspensa – Segurança – Gruas Torre.", European Committee for Standardization (CEN), 2009.
- [40] L. A. Dias, N. M. de Almeida, V. F. e Sousa, and C. O. Cruz, "Organização e Gestão de Obra - Elementos de apoio a aulas das disciplinas da área temática da Gestão da Construção Mestrado Integrado em Engenharia Civil do Instituto Superior Técnico," 2019.
- [41] Decreto-Lei n.º 273/2003 de 29 de Outubro, Relativo às condições de segurança no trabalho desenvolvido em estaleiros temporários ou móveis.
- [42] Decreto-Lei nº 348/93 de 1 de Outubro, Relativo às prescrições mínimas de segurança e de saúde dos trabalhadores na utilização de equipamentos de protecção individual
- [43] Portaria 988/93 de 6 de Outubro, Estabelece as prescrições mínimas da segurança e de saúde dos trabalhadores na utilização de equipamento de protecção individual.
- [44] EN 397, Referente a capacetes de protecção individual para a indústria.
- [45] EN 345, Referente às exigências fundamentais adicionais (facultativas) para os calçados de segurança para uso profissional marcados.
- [46] EN 471, Referente a vestuário de sinalização de grande visibilidade.
- [47] P. Taborda and N. Cachadinha, "BIM nas obras públicas em Portugal: Condicionantes para uma implementação com sucesso," *Congr. Construção 2012*, pp. 1–14, 2012.
- [48] T. de Contas, "Auditoria a empreendimentos de obras públicas por gestão directa," pp. 1–63, 2009.

Anexo B - Planta do Piso -1 (Nível 1)

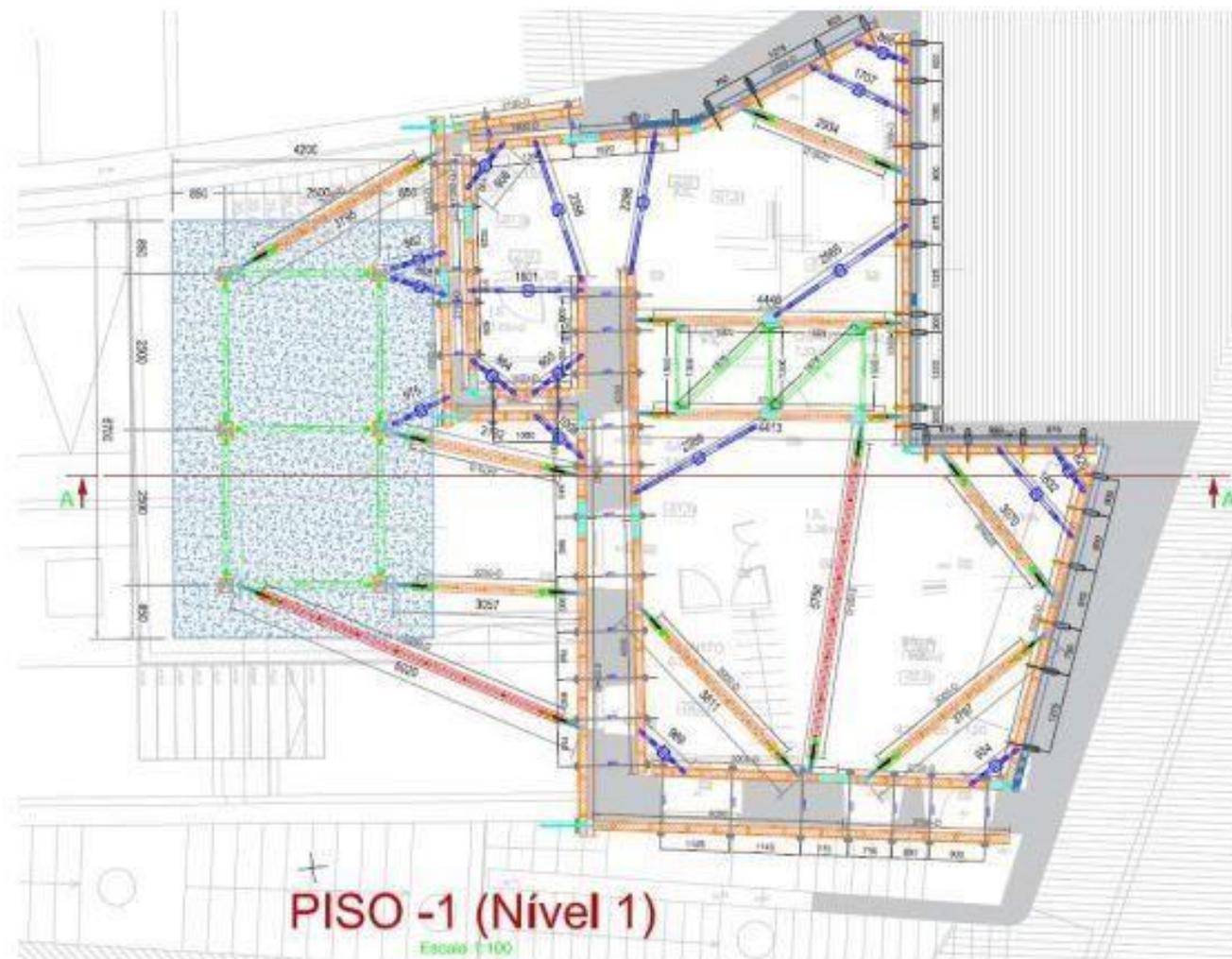


Figura A.1 - Planta do Piso -1 (Nível 1)

Anexo D - Planta do Piso 3 (Nível 3)

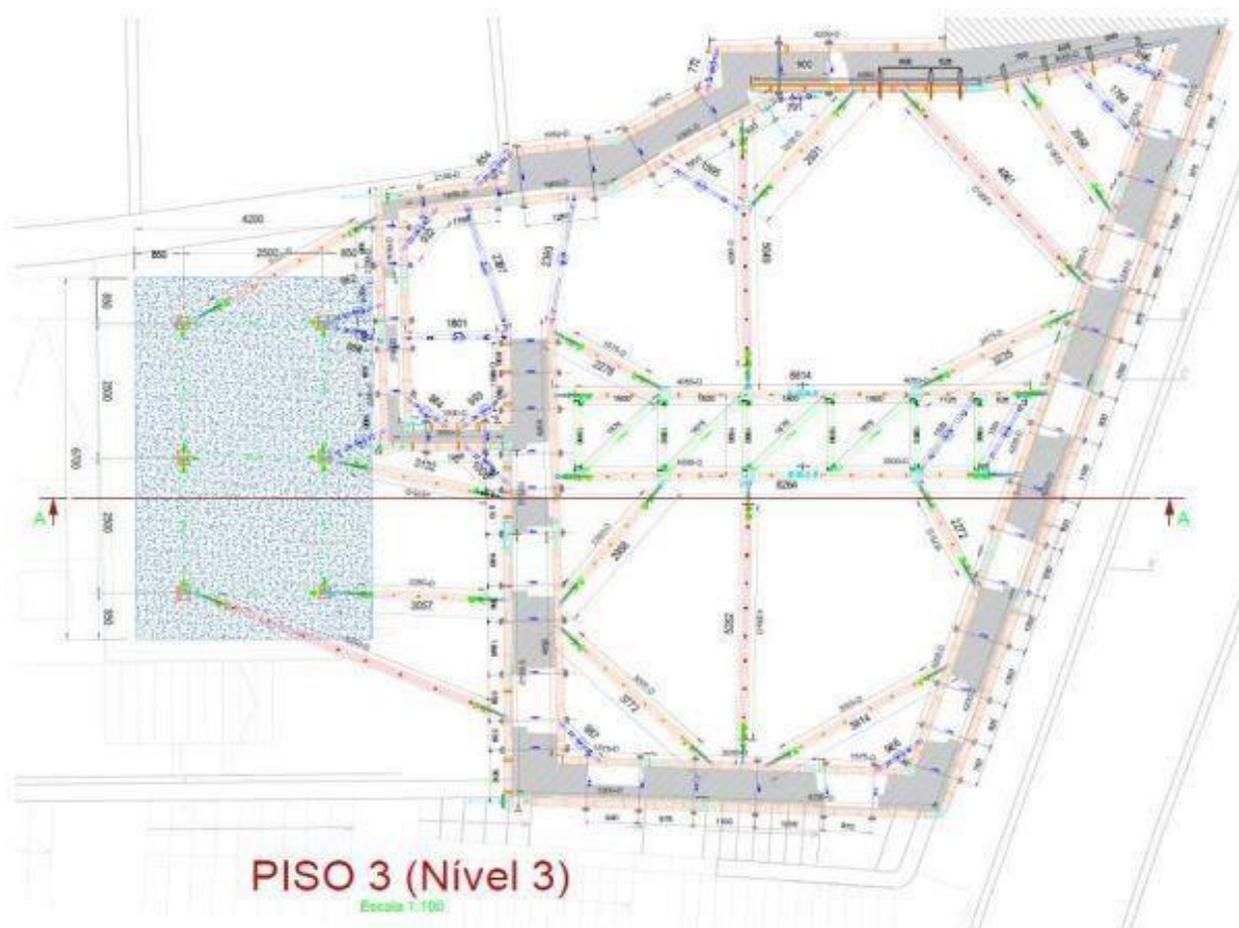


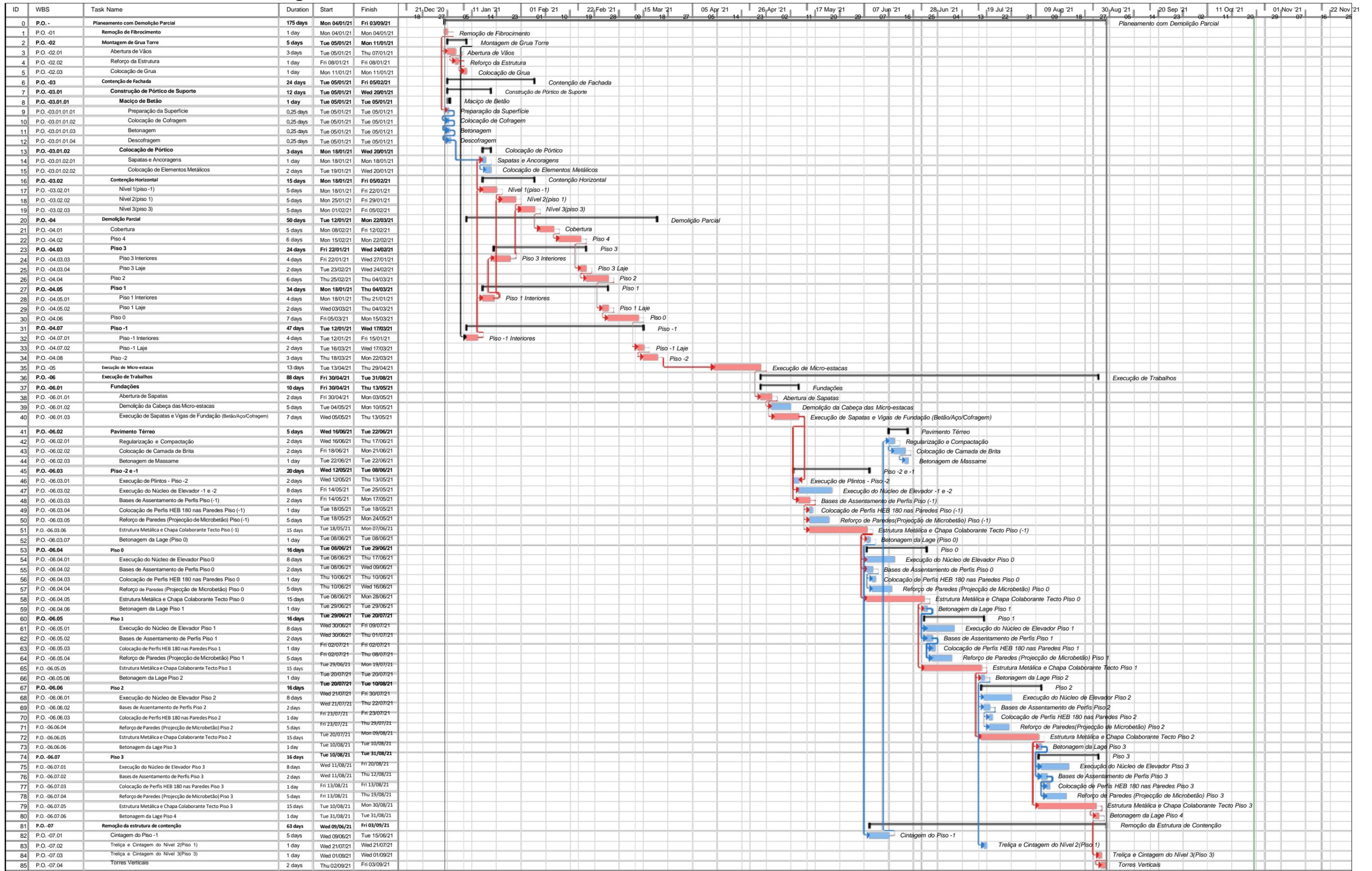
Figura A.1 - Planta do Piso 3 (Nível 3)

Anexo E - Lista de condicionantes

	Condicionamento	Estaleiro	Envolvente	Perigos	Riscos Associados	Medidas de Prevenção
1.	Circulação e permanência de pessoas junto ao estaleiro	X	X	Intrusão na zona dos trabalhos	Queda ao mesmo nível. Exposição a partículas resultantes de soldaduras. Ferimentos vários. Queda de Objectos.	Delimitação da zona dos trabalhos, de forma a impedir o acesso de pessoas estranhas à obra; Implantação de sinalética adequada (uso obrigatório de capacete, botas, proibida entrada a estranhos), no local de acesso á obra; Cumprimento das medidas de segurança referentes a condicionamentos indicados na fase de projecto.
2.	Intervenção nas áreas de circulação de trabalhadores	X	X	Intrusão na zona dos trabalhos	Queda ao mesmo nível. Exposição a partículas resultantes de soldaduras. Ferimentos vários. Queda de Objectos.	Promover a coordenação dos trabalhos entre as diferentes entidades envolvidas.
3.	Condições atmosféricas adversas		X			Utilizar os EPI's para condições atmosféricas adversas Suspender trabalhos em condições atmosféricas adversas Suspender trabalhos em situações em que

						os níveis mínimos de segurança não estejam garantidos
4	Acessos/vias de circulação	X	X		Atropelamento Queda ao mesmo nível Acidente rodoviário	Delimitar as zonas de intervenção (definição de caminhos de circulação); Uso de colete reflector por parte dos trabalhadores.
5	Obstáculos/ entulho/ outros nos caminhos de circulação	X	X		Queda ao mesmo nível Atropelamento	Armazenar os resíduos nos locais definidos em obra; Manter as zonas de circulação livre de obstáculos; É proibido a colocação destes materiais nas vias de circulação.
6	Proximidade de Edifícios contíguos		X		Danos em edifícios	Segitorização topografia ao longo da obra
7	Dificuldade de acesso rodoviária à obra		X		Atropelamento Congestionamento de tráfego	Delimitar as zonas de intervenção (definição de caminhos de circulação); Uso de colete reflector por parte dos trabalhadores. Implementação da licença de ocupação de via pública

ANEXO F - Lista de actividades e gráfico Gantt



ID	WBS	Task Name	Duration	Start	Finish
0	P.O.-	Planeamento com Demolição Parcial	175 days	Mon 04/01/21	Fri 03/09/21
1	P.O.-01	Remoção de Fibrocimento	1 day	Mon 04/01/21	Mon 04/01/21
2	P.O.-02	Montagem de Grua Torre	5 days	Tue 05/01/21	Mon 11/01/21
3	P.O.-02.01	Abertura de Vãos	3 days	Tue 05/01/21	Thu 07/01/21
4	P.O.-02.02	Reforço da Estrutura	1 day	Fri 08/01/21	Fri 08/01/21
5	P.O.-02.03	Colocação de Grua	1 day	Mon 11/01/21	Mon 11/01/21
6	P.O.-03	Contenção de Fachada	24 days	Tue 05/01/21	Fri 05/02/21
7	P.O.-03.01	Construção de Pórtico de Suporte	12 days	Tue 05/01/21	Wed 20/01/21
8	P.O.-03.01.01	Maciço de Betão	1 day	Tue 05/01/21	Tue 05/01/21
9	P.O.-03.01.01.01	Preparação da Superfície	0.25 days	Tue 05/01/21	Tue 05/01/21
10	P.O.-03.01.01.02	Colocação de Cofragem	0.25 days	Tue 05/01/21	Tue 05/01/21
11	P.O.-03.01.01.03	Betonagem	0.25 days	Tue 05/01/21	Tue 05/01/21
12	P.O.-03.01.01.04	Descofragem	0.25 days	Tue 05/01/21	Tue 05/01/21
13	P.O.-03.01.02	Colocação de Pórtico	3 days	Mon 18/01/21	Wed 20/01/21
14	P.O.-03.01.02.01	Sapatas e Ancoragens	1 day	Mon 18/01/21	Mon 18/01/21
15	P.O.-03.01.02.02	Colocação de Elementos Metálicos	2 days	Tue 19/01/21	Wed 20/01/21
16	P.O.-03.02	Contenção Horizontal	15 days	Mon 18/01/21	Fri 05/02/21
17	P.O.-03.02.01	Nível 1(piso -1)	5 days	Mon 18/01/21	Fri 22/01/21
18	P.O.-03.02.02	Nível 2(piso 1)	5 days	Mon 25/01/21	Fri 29/01/21
19	P.O.-03.02.03	Nível 3(piso 3)	5 days	Mon 01/02/21	Fri 05/02/21
20	P.O.-04	Demolição Parcial	50 days	Tue 12/01/21	Mon 22/03/21
21	P.O.-04.01	Cobertura	5 days	Mon 08/02/21	Fri 12/02/21
22	P.O.-04.02	Piso 4	6 days	Mon 15/02/21	Mon 22/02/21
23	P.O.-04.03	Piso 3	24 days	Fri 22/01/21	Wed 24/02/21
24	P.O.-04.03.03	Piso 3 Interiores	4 days	Fri 22/01/21	Wed 27/01/21
25	P.O.-04.03.04	Piso 3 Laje	2 days	Tue 23/02/21	Wed 24/02/21
26	P.O.-04.04	Piso 2	6 days	Thu 25/02/21	Thu 04/03/21
27	P.O.-04.05	Piso 1	34 days	Mon 18/01/21	Thu 04/03/21
28	P.O.-04.05.01	Piso 1 Interiores	4 days	Mon 18/01/21	Thu 21/01/21
29	P.O.-04.05.02	Piso 1 Laje	2 days	Wed 03/03/21	Thu 04/03/21
30	P.O.-04.06	Piso 0	7 days	Fri 05/03/21	Mon 15/03/21
31	P.O.-04.07	Piso -1	47 days	Tue 12/01/21	Wed 17/03/21
32	P.O.-04.07.01	Piso -1 Interiores	4 days	Tue 12/01/21	Fri 15/01/21
33	P.O.-04.07.02	Piso -1 Laje	2 days	Tue 16/03/21	Wed 17/03/21
34	P.O.-04.08	Piso -2	3 days	Thu 18/03/21	Mon 22/03/21
35	P.O.-05	Execução de Micro-estacas	13 days	Tue 13/04/21	Thu 29/04/21
36	P.O.-06	Execução de Trabalhos	88 days	Fri 30/04/21	Tue 31/08/21
37	P.O.-06.01	Fundações	10 days	Fri 30/04/21	Thu 13/05/21
38	P.O.-06.01.01	Abertura de Sapatas	2 days	Fri 30/04/21	Mon 03/05/21
39	P.O.-06.01.02	Demolição da Cabeça das Micro-estacas	5 days	Tue 04/05/21	Mon 10/05/21
40	P.O.-06.01.03	Execução de Sapatas e Vigas de Fundação (Betão/Aço/Cofragem)	7 days	Wed 05/05/21	Thu 13/05/21
41	P.O.-06.02	Pavimento Térreo	5 days	Wed 16/06/21	Tue 22/06/21
42	P.O.-06.02.01	Regularização e Compactação	2 days	Wed 16/06/21	Thu 17/06/21
43	P.O.-06.02.02	Colocação de Camada de Brita	2 days	Fri 18/06/21	Mon 21/06/21
44	P.O.-06.02.03	Betonagem de Massame	1 day	Tue 22/06/21	Tue 22/06/21
45	P.O.-06.03	Piso -2 e -1	20 days	Wed 12/05/21	Tue 08/06/21
46	P.O.-06.03.01	Execução de Plintos - Piso -2	2 days	Wed 12/05/21	Thu 13/05/21
47	P.O.-06.03.02	Execução do Núcleo de Elevador -1 e -2	8 days	Fri 14/05/21	Tue 25/05/21
48	P.O.-06.03.03	Bases de Assentamento de Perfis Piso (-1)	2 days	Fri 14/05/21	Mon 17/05/21
49	P.O.-06.03.04	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes Piso (-1)	1 day	Tue 18/05/21	Tue 18/05/21
50	P.O.-06.03.05	Reforço de Paredes (Projeção de Microbetão) Piso (-1)	5 days	Tue 18/05/21	Mon 24/05/21
51	P.O.-06.03.06	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto Piso (-1)	15 days	Tue 18/05/21	Mon 07/06/21
52	P.O.-06.03.07	Betonagem da Laje (Piso 0)	1 day	Tue 08/06/21	Tue 08/06/21
53	P.O.-06.04	Piso 0	16 days	Tue 08/06/21	Tue 29/06/21
54	P.O.-06.04.01	Execução do Núcleo de Elevador Piso 0	8 days	Tue 08/06/21	Thu 17/06/21
55	P.O.-06.04.02	Bases de Assentamento de Perfis Piso 0	2 days	Tue 08/06/21	Wed 09/06/21
56	P.O.-06.04.03	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes Piso 0	1 day	Thu 10/06/21	Thu 10/06/21
57	P.O.-06.04.04	Reforço de Paredes (Projeção de Microbetão) Piso 0	5 days	Thu 10/06/21	Wed 16/06/21
58	P.O.-06.04.05	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto Piso 0	15 days	Tue 08/06/21	Mon 28/06/21
59	P.O.-06.04.06	Betonagem da Laje Piso 1	1 day	Tue 29/06/21	Tue 29/06/21
60	P.O.-06.05	Piso 1	16 days	Tue 29/06/21	Tue 20/07/21
61	P.O.-06.05.01	Execução do Núcleo de Elevador Piso 1	8 days	Wed 30/06/21	Fri 09/07/21
62	P.O.-06.05.02	Bases de Assentamento de Perfis Piso 1	2 days	Wed 30/06/21	Thu 01/07/21
63	P.O.-06.05.03	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes Piso 1	1 day	Fri 02/07/21	Fri 02/07/21
64	P.O.-06.05.04	Reforço de Paredes (Projeção de Microbetão) Piso 1	5 days	Fri 02/07/21	Thu 08/07/21
65	P.O.-06.05.05	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto Piso 1	15 days	Tue 29/06/21	Mon 19/07/21
66	P.O.-06.05.06	Betonagem da Laje Piso 2	1 day	Tue 20/07/21	Tue 20/07/21
67	P.O.-06.06	Piso 2	16 days	Tue 20/07/21	Tue 10/08/21
68	P.O.-06.06.01	Execução do Núcleo de Elevador Piso 2	8 days	Wed 21/07/21	Fri 30/07/21
69	P.O.-06.06.02	Bases de Assentamento de Perfis Piso 2	2 days	Wed 21/07/21	Thu 22/07/21
70	P.O.-06.06.03	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes Piso 2	1 day	Fri 23/07/21	Thu 29/07/21
71	P.O.-06.06.04	Reforço de Paredes (Projeção de Microbetão) Piso 2	5 days	Fri 23/07/21	Fri 23/07/21
72	P.O.-06.06.05	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto Piso 2	15 days	Tue 20/07/21	Mon 09/08/21
73	P.O.-06.06.06	Betonagem da Laje Piso 3	1 day	Tue 10/08/21	Tue 10/08/21
74	P.O.-06.07	Piso 3	16 days	Tue 10/08/21	Tue 31/08/21
75	P.O.-06.07.01	Execução do Núcleo de Elevador Piso 3	8 days	Wed 11/08/21	Fri 20/08/21
76	P.O.-06.07.02	Bases de Assentamento de Perfis Piso 3	2 days	Wed 11/08/21	Thu 12/08/21
77	P.O.-06.07.03	Colocação de Perfis HEB 180 nas Paredes Piso 3	1 day	Fri 13/08/21	Fri 13/08/21
78	P.O.-06.07.04	Reforço de Paredes (Projeção de Microbetão) Piso 3	5 days	Fri 13/08/21	Thu 19/08/21
79	P.O.-06.07.05	Estrutura Metálica e Chapa Colaborante Tecto Piso 3	15 days	Tue 10/08/21	Mon 30/08/21
80	P.O.-06.07.06	Betonagem da Laje Piso 4	1 day	Tue 31/08/21	Tue 31/08/21
81	P.O.-07	Remoção da estrutura de contenção	63 days	Wed 09/06/21	Fri 03/09/21
82	P.O.-07.01	Cintagem do Piso -1	5 days	Wed 09/06/21	Tue 15/06/21
83	P.O.-07.02	Treliça e Cintagem do Nível 2(Piso 1)	1 day	Wed 21/07/21	Wed 21/07/21
84	P.O.-07.03	Treliça e Cintagem do Nível 3(Piso 3)	1 day	Wed 01/09/21	Wed 01/09/21
85	P.O.-07.04	Torres Verticais	2 days	Thu 02/09/21	Fri 03/09/21

Project: Planeamento com dem	Task	Summary	Inactive Milestone	Duration-only	Start-only
Date: Thu 28/10/21	Split	Project Summary	Inactive Summary	Manual Summary Rollup	Finish-only
	Milestone	Inactive Task	Manual Task	Manual Summary	External Tasks

Anexo G - Identificação de riscos especiais existentes na obra, de acordo com art. 7.º do DL 273/2003

Tipo de trabalho	SIM	NÃO
1.1- Soterramento, ou afundamento, particularmente agravados pela natureza da actividade ou dos meios utilizados, ou do meio envolvente do posto, ou da situação de trabalho ou do estaleiro;		X
1.2- Queda em altura, particularmente agravados pela natureza da actividade ou dos meios utilizados, ou do meio envolvente do posto, ou da situação de trabalho ou do estaleiro.	X	
2- Trabalhos que exponham os trabalhadores a riscos químicos ou biológicos susceptíveis de causar doenças profissionais.	X	
3- Trabalhos com radiações ionizantes, quando for obrigatória a designação de zonas controladas ou vigiadas.		X
4- Trabalhos na proximidade de linhas eléctricas de média e alta tensão.		X
5- Trabalhos efectuados em vias ferroviárias ou rodoviárias que se encontrem em utilização, ou na sua proximidade.		X
6- Trabalhos de mergulho com aparelhagem ou que impliquem risco de afogamento		X
7- Trabalhos em poços, túneis ou galerias ou caixotões de ar comprimido.		X
8- Trabalhos que impliquem a utilização de explosivos, ou susceptíveis de originarem riscos derivados de atmosferas explosivas.		X
9- Trabalhos de montagem e desmontagem de elementos pré-fabricados ou outros, cuja forma, dimensão ou peso exponham os trabalhadores a risco grave.	X	
10- Quaisquer outros trabalhos que o dono de obra ou o autor do projecto ou qualquer dos coordenadores de segurança fundamentadamente considerem susceptíveis de constituir risco grave para a segurança e saúde dos trabalhadores.		X

Anexo H - Avaliação e hierarquização dos Riscos

Avaliação e Hierarquização dos Riscos					
Estaleiro de Obra					
Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		α	β	γ	
Limpeza geral da obra	Queda de objetos	C	II	7	<p>"- Estabilizar os materiais dispostos em altura, quer quando imobilizados, quer quando em movimentação, ou resistência das respetivas embalagens;</p> <p>"- Optar pelo tipo de equipamento/acessórios que favoreçam a movimentação mecânica das cargas;</p>
	Iluminação	D	II I	1 4	<p>Devem dispor de:</p> <p>" – Iluminação adequada; "</p> <p>" – Ventilação adequada;</p> <p>" - Ambiente térmico adequado; "</p> <p>" - Eletricidade, água e esgotos.</p>
	Cortes	C	II I	1 1	<p>"- Manter em bom estado de conservação os equipamentos/ferramentas e cabos eléctricos;</p> <p>" - Utilizar equipamentos de protecção adequados (luvas);</p> <p>"- Transportar as ferramentas manuais em caixas adequadas ou então colocá-las à cintura em bainhas próprias para cada ferramenta;</p> <p>"- Reparar ou substituir os cabos das ferramentas que apresentem rebarbas, fissuras ou lascas indicadoras de provocar ferimentos;</p> <p>"- Proteger todas as arestas cortantes, pontiagudas das quais possam originar acidentes/incidentes;</p> <p>"- Nunca devem ser retiradas as protecções integradas dos equipamentos, máquinas e ferramentas</p>

Quedas ao mesmo nível	C	II	1	" - Manter livre os acessos, zonas de circulação saídas de emergência; " - Armazenar correctamente os materiais para evitar o risco de acidente durante a circulação de trabalhadores; " - Remover periodicamente o material resultante dos trabalhos para os locais definidos em obra; " - Assoalhamento de desníveis no pavimento
		I	1	
Entalamentos	D	II	1	Manter o estaleiro organizado e frentes de trabalho limpas e arrumadas. Garantir que os materiais e equipamentos estão devidamente armazenados de forma a manter sempre caminhos de circulação desobstruídos. As aberturas no solo, quando abandonadas, deverão ser convenientemente protegidas.
		I	4	

Execução de Alvenarias

Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		α	β	ρ	
Alvenarias	Choques contra objetos, pancadas, cortes, perfurações	C	II I	1 1	Utilização dos EPI's prescritos
	Colapso da estrutura, queda de materiais	D	II	1 0	Utilização de meios mecânicos de forma adequada
	Queda em altura, queda de materiais	D	II	1 0	Colocação de EPC's Iluminação inadequada Desarrumação dos locais de trabalho
	Queda ao mesmo nível	C	II	1	
		D	I II	1 0	
Plataformas de trabalho e/ou andaimes	D	II	1 0	Sempre que estas tenham uma altura superior a 1m devem ter guarda-corpos e escada de acesso interior	

Instalações Eléctricas / Trabalhos Eléctricos					
Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		α	ω	ϰ	
Instalações eléctricas	Electrocussão / Incêndio	C	II	1	Mau estado dos Componentes Eléctricos
			I	1	
		D	II	1	Contactos directos com cabos eléctricos em carga
		0			
	C	II	1	Contactos indirectos com partes eléctricas	
	I	1			
Cortes Electrização / Electrocussão	C	II	1	Utilizar os EPI's adequados	
		I	1		
	D	II	1		
		0			
Queda ao mesmo nível / Choque contra objetos	D	II	1	Arrumação / Organização do local de Trabalho	
		I	4		
Execução de Serralharias					
Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		α	ω	ϰ	
Serralharias	Queimaduras	D	II	1	Trabalhador devem ter formação específica na actividade
				0	
	Incêndio	D	II	1	Ligação dos equipamentos à terra
			I	1	
	Eletrocussão	C	II	1	
				0	
Queimaduras	C	II	1	Utilização de EPI'S (máscara, óculos, luvas)	
		I	1		
Projeção de partículas	C	II	1		
			1		
Cortes / amputações	D	II	1	Máquinas sempre com as proteções colocadas	
			0		
Trabalhos em Altura					
Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		α	ω	ϰ	

Trabalhos em altura	Cortes	C	III	1 1	Utilização de EPI's adequados para a montagem e desmontagem (capacete, botas de protecção, luvas, arnês de segurança com chicote duplo)
	Pancadas				
	Perfurações				
	Queda em altura	C	III	1 1	Não utilização de linha de vida JRG e arnês de segurança durante a execução dos trabalhos
	Choque pancada contra objectos	D	II	1 0	Arrumação na zona dos trabalhos
	Queda de materiais	D	II	1 0	Delimitação / sinalização da zona de trabalhos
	Queda em altura / Queda de materiais	D	II	1 0	Guarda-corpos e rodapés completos / existência de guarda-corpos na frente de trabalho
Execução de Carpintarias					
Operação	Riscos Associados	Avaliação			Medidas de Prevenção a adoptar
		a	b	c	
Carpintarias	Queimaduras	D	II	1 0	Trabalhador devem ter formação específica na actividade
	Perfuração	B	III	9	Acumulação de pregos ou de tábuas com pregos pelo chão
	Incêndio	D	II	1 0	Falta de condições de limpeza e remoção da serradura
	Choques com materiais e equipamentos	C	III	1 1	Arrumação e organização na frente dos trabalhos
	Cortes / amputação	C	II	7	Para empurrar as peças no final do corte utilizar os dedos em vez de empurradores de madeira
		C	II	7	Não é permitida a remoção das protecções às máquinas de corte
D		III	1 4	Não é permitida a utilização de luvas ou vestuário largo no trabalho com máquinas	

Anexo I - Equipamentos de protecção individual e partes do corpo a proteger

PARTE DO CORPO A PROTEGER	EQUIPAMENTO DE PROTECÇÃO INDIVIDUAL
Cabeça	Capacetes de protecção.
Ouvidos	Tampões para ouvidos, capacetes envolventes, protectores auriculares, protectores contra ruídos.
Olhos e Rosto	Óculos com aros, óculos isolantes, escudos faciais, máscaras e capacetes para soldadura.
Vias respiratórias	Aparelhos filtrantes, aparelhos isolantes com aprovisionamento de ar.
Mãos e Braços	Luvas contra agressões mecânicas, luvas contra agressões químicas, luvas para electricistas e antitérmicas, mangas protectoras, punhos de couro.
Pele	Crems de protecção.
Tronco e Abdómen	Coletes, casacos e aventais de protecção contra agressões mecânicas e contra agressões químicas; Cintos de segurança de tronco.
Pés e Pernas	Sapatos de salto raso; Botas de segurança; sapatos com biqueira de protecção; sapatos com sola anti calor; sapatos e botas de protecção contra o calor, contra o Sexo, contra as vibrações, anti estáticos e isolantes; joelheiras; protectores amovíveis do pé; polainas; solas amovíveis anti calor; solas amovíveis anti perfuração; solas amovíveis anti transpiração.
Corpo Inteiro	Cintos de segurança, vestuário de trabalho, vestuário protecção contra agressões mecânicas, vestuário de protecção contra agressões químicas, vestuário de protecção contra o calor, vestuário de protecção contra o Sexo, protecção contra agressões químicas, vestuário de protecção contra o calor, vestuário de protecção contra o Sexo, vestuário de anti-poeira, vestuário e acessórios fluorescentes de sinalização.

Anexo J - Lista de EPI's necessários e a sua obrigatoriedade (P = permanente, T = Temporário)

UTILIZAÇÃO DE EPI'S EM FUNÇÃO DAS TAREFAS A DESEMPENHAR									
TAREFA	 Capacete	 Calçado	 Colete	 Luvas	 Arnês	 Óculos/Viseira	 Auriculares /tampões	 Máscara	 Fato de Trabalho
Montagem de estaleiro	P	P	P	P	-	T	T	T	T
Limpeza da obra	P	P	P	P	T	T	T	T	P
Demolições	P	P	P	P	T	T	T	T	P
Caixilharia	P	P	P	P	T	T	T	T	P
Execução da estrutura em betão	P	P	P	P	T	T	T	T	P
Impermeabilizações	P	P	P	P	T	T	T	T	P
Pintura	P	P	P	P	-	T	T	T	P

