



**INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA**

**Área Departamental de Engenharia Civil**



**Implementação da Metodologia BIM no  
Desenvolvimento de Projetos de Estruturas**

**ANTÓNIO MANUEL VITÓRIA CAEIRO**

(Licenciado em Engenharia Civil)

Dissertação de natureza científica para a obtenção do grau de Mestre  
em Engenharia Civil, na Área de Especialização de Estruturas

Orientador:

Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

Júri:

Presidente: Doutor Paulo José de Matos Martins

Vogais: Mestre Especialista João Carlos dos Santos Barata

Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes

**Junho de 2021**



## Dedicatória

À minha esposa Teresa, à minha filha Carolina,  
e aos meus pais.

*Todos os modelos estão errados, mas alguns são úteis.*

*George E. P. Box*



## **Agradecimentos**

Ao meu orientador, Doutor Paulo Jorge Henriques Mendes, pelo entusiasmo da temática do BIM, na sua disponibilidade e prontidão nos esclarecimentos, e pela sua excelente orientação neste trabalho.

A todos os meus colegas de trabalho da Teixeira Trigo, Lda.

Ao gabinete de arquitetura CAS Arquitectos, pela disponibilidade do projeto de arquitetura.

Aos meus amigos em geral, e em especial ao Luís Leandro e Dumitru Panta pelas discussões sobre a temática do BIM.

Aos meus professores e colegas do ISEL deste percurso académico.

Às pessoas que acreditaram e me acompanharam neste percurso académico.

Aos meus pais, sogros e cunhada, pelo estímulo dado, mostrando-me que nunca é tarde para começar e que não se deve desistir perante as adversidades.

À minha filha, Carolina, pela ajuda e força dada, que muitas vezes se viu privada da minha companhia.

À minha esposa, Teresa, pelo incentivo, inspiração, disponibilidade e pela paciência durante este período das nossas vidas.



## Resumo

Nos últimos anos, têm-se publicado diversos trabalhos sobre a implementação de metodologias da modelação de informação da construção (*Building Information Modelling* - BIM), em diversas áreas associadas ao designado sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). O presente trabalho pretende dar um contributo neste domínio, designadamente ao nível da implementação da metodologia BIM no desenvolvimento de projetos de estruturas.

Numa primeira parte do trabalho, apresenta-se uma perspetiva sobre o estado da arte dos fundamentos de BIM, na qual se procura evidenciar a sua evolução histórica e os seus conceitos mais relevantes, de forma a ter um adequado conhecimento para implementar a metodologia no desenvolvimento de projeto de estruturas, bem como os desafios que resultam desta mudança de paradigma.

A segunda parte envolve a apresentação de uma proposta de planeamento estratégico, de implementação da metodologia BIM, numa organização que intervém na área do projeto de estruturas. Nomeadamente, no que se refere à adaptação de procedimentos a um novo paradigma, quer ao nível das tecnologias de informação e da inevitável necessidade de formação dos recursos humanos.

Neste contexto, procura-se evidenciar a estratégia de investimento, face aos objetivos a alcançar e à avaliação dos resultados esperados, de maneira a dispor de um conjunto de processos padronizados (de acordo com legislação), que permitam obter um projeto de estruturas, assente num modelo paramétrico 3D, com as informações necessárias à sua execução em obra.

A terceira parte envolve o desenvolvimento de um projeto-piloto, baseado na utilização das novas ferramentas, associadas à implementação da metodologia BIM, que irá permitir obter uma visão mais alargada sobre o seu grau de implementação e assim aferir a necessidade de mitigar as eventuais dificuldades.

**Palavras-chave:** Metodologia BIM, Modelação 3D Revit, Informação da Construção, Interoperabilidade, Implementação.



## **Abstract**

Over the last few years, several essays have been published about methodologies for building information modelling (BIM) implementation in several areas associated with the commonly named Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry. This work aims to contribute to that area, namely on the implementation of BIM methodology in the development of a structural design.

The first part of the work presents a perspective of fundamentals and state-of-the-art of BIM, which seeks to evidence its historical evolution and most relevant concepts. This perspective will help obtain an adequate understanding to implement the methodology in the development of a structural design and the challenges that result from this paradigm shift.

The second part involves presenting a proposal on strategic planning for implementing BIM methodology in a structural design company. Namely, in what concerns adapting procedures to a new paradigm, both in terms of the information technologies and the need for human resources training.

In this context, the work seeks to highlight the investment strategy, concerning the goals to be achieved and the evaluation of the expected results, enabling a set of standardized processes (according to laws and regulations), which allows obtaining a project of structures based on a 3D parametric model, with all required information for its execution on site.

The third part involves the development of a BIM pilot project, based on the use of new tools associated with the implementation of BIM methodology, which will allow a broader view on its level of implementation and thus assess the need to mitigate any possible difficulties.

**Keywords:** BIM Methodology, Revit 3D Modelling, Construction Information, Interoperability, Implementation.



# Índice

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e justificação do tema .....	1
1.2	Objetivos do trabalho.....	2
1.3	Organização da dissertação.....	5
<b>2</b>	<b>CONCEITO E FUNDAMENTOS DE BIM.....</b>	<b>7</b>
2.1	Considerações iniciais.....	7
2.2	Perspetiva histórica sobre a evolução do conceito de BIM.....	8
2.3	Etapas de maturidade BIM.....	12
2.4	Dimensões nD BIM.....	15
2.5	Níveis de desenvolvimento - LOD .....	16
2.5.1	Nível de Desenvolvimento vs. Nível de Pormenor.....	16
2.5.2	LOD e a fase de projeto.....	16
2.5.3	Definições fundamentais associadas ao LOD .....	17
2.6	Interoperabilidade.....	18
2.7	<i>openBIM</i> e formatos universais.....	19
2.8	<i>Softwares</i> de modelação BIM e análise estrutural .....	22
2.9	<i>Softwares</i> de colaboração / documentação.....	24
2.10	Integrated Project Delivery (IPD).....	25
2.11	Normalização .....	26
2.12	Considerações finais .....	28
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA BIM .....</b>	<b>29</b>
3.1	Considerações iniciais.....	29
3.2	Atividades Pré-BIM.....	31
3.2.1	Compreensão do BIM.....	31
3.2.2	Modelo de negócios <i>Business Case</i> .....	31
3.2.3	Relatório de retorno de investimento (ROI).....	32
3.2.4	Roteiro de metodologia de BIM .....	33
3.3	Decisão pela metodologia BIM.....	36
3.3.1	Justificação da Decisão.....	36
3.3.2	Relatório A3 – Problema/solução .....	36

<b>3.4</b>	<b>Atividades BIM .....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Fase 1 – Diagnóstico e análise .....	37
3.4.2	Fase 2 - Planeamento .....	41
3.4.3	Fase 3 – Implementação .....	48
3.4.4	Fase 4 - Avaliação .....	59
<b>3.5</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>59</b>
<b>4</b>	<b>PROJETO-PILOTO .....</b>	<b>61</b>
<b>4.1</b>	<b>Considerações iniciais.....</b>	<b>61</b>
<b>4.2</b>	<b>Fases de gestão do projeto BIM (ISO EN 19650-2:2018) .....</b>	<b>61</b>
4.2.1	Fase da contratação .....	62
4.2.2	Fase de planeamento da informação .....	62
4.2.3	Fase de produção da informação.....	62
<b>4.3</b>	<b>Informação do projeto.....</b>	<b>63</b>
4.3.1	Enquadramento regulamentar.....	63
4.3.2	Caracterização do edifício .....	64
4.3.3	Condicionantes .....	66
4.3.4	Solução estrutural.....	66
4.3.5	Materiais.....	66
<b>4.4</b>	<b>Pré-dimensionamento.....</b>	<b>67</b>
4.4.1	Lajes .....	67
4.4.2	Vigas.....	67
4.4.3	Pilares e Paredes .....	68
4.4.4	Escadas .....	68
4.4.5	Fundações .....	68
<b>4.5</b>	<b>Modelação em Revit .....</b>	<b>69</b>
4.5.1	Integração com a arquitetura.....	70
4.5.2	Níveis e Eixos.....	74
4.5.3	Pilares.....	76
4.5.4	Paredes .....	77
4.5.5	Vigas.....	79
4.5.6	Lajes .....	80
4.5.7	Escadas .....	82

4.5.8	Fundações .....	82
4.5.9	Formatos, textos e simbologia.....	84
<b>4.6</b>	<b>Estudo prévio - entrega do modelo.....</b>	<b>84</b>
4.6.1	Metadados.....	85
4.6.2	Etapas de entrega.....	85
4.6.3	Códigos do <i>status</i> .....	86
<b>4.7</b>	<b>Transferência do modelo analítico .....</b>	<b>87</b>
4.7.1	Preparação do modelo analítico .....	88
4.7.2	Link Revit-RSA.....	92
4.7.3	Link Revit-ETABS.....	94
4.7.4	Análise das transferências.....	96
<b>4.8</b>	<b>Anteprojeto - entrega do modelo.....</b>	<b>97</b>
4.8.1	Pormenorização .....	97
4.8.2	Mapas de quantidades .....	102
<b>4.9</b>	<b>Considerações finais .....</b>	<b>107</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS .....</b>	<b>109</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>109</b>
<b>5.2</b>	<b>Perspetivas futuras .....</b>	<b>110</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>113</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>



## Simbologia

### Latinas maiúsculas

$E_{cm}$  Módulo de elasticidade secante do betão

$E_s$  Módulo de elasticidade do aço

### Latinas minúsculas

$f_{cd}$  Valor de cálculo da tensão de rotura à compressão

$f_{ck}$  Valor característico de rotura do betão à compressão aos 28 dias de idade

$f_{ctm}$  Valor médio da tensão de rotura à tração simples

$f_{yd}$  Valor de cálculo da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado

$f_{yk}$  Valor característico da tensão de cedência à tração do aço das armaduras para betão armado

### Gregas minúsculas

$\gamma_c$  Peso volúmico do betão

$\gamma_G$  Coeficiente parcial de segurança relativo às ações permanentes

$\gamma_Q$  Coeficiente parcial de segurança relativo às ações variáveis

$\gamma_s$  Peso volúmico do aço

$\xi$  Coeficiente de amortecimento

$\nu_c$  Coeficiente de *Poisson* do betão

### Abreviaturas (siglas)

AIA *The American Institute of Architects* (Instituto Americano de Arquitetos)

API *Application Programming Interface* (Interface de Programação de Aplicações)

AutoCAD *Software computer-aided Design* (Programa de desenho assistido por computador)

BEP *BIM Execution Plan* (Plano de execução BIM)

BIM *Building Information Modelling* (Modelação de informação da construção)

BIP *BIM Implementation Plan* (Plano de implementação BIM)

CAD *Computer-aided Design* (Desenho assistido por computador)

CDE	<i>Common Data Environment</i> (Ambiente de Dados Comum)
<i>Dynamo</i>	Programação gráfica de código aberto para design
EC0	Eurocódigo – Bases para o projeto de estruturas
EC1	Eurocódigo 1 – Ações em estruturas
EC2	Eurocódigo 2 – Projeto de estruturas de betão
EC7	Eurocódigo 7 – Projeto geotécnico
EC8	Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos
ETABS	<i>Extended 3D (Three-Dimensional) Analysis of Building Systems</i> , (software de análise e modelação estrutural)
IC	Indústria da Construção
IFC	Ficheiro universal da <i>Industry Foundation Classes</i>
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i> (Projeto Integrado)
LOD	<i>Level of Development</i> (Nível de desenvolvimento)
Revit	<i>“Revise It”</i> da Autodesk, (software de modelação BIM)
ROI	<i>Return on Investment</i> (Retorno sobre o investimento)
RSA	<i>Robot Structural Analysis Professional</i> da Autodesk, (software de análise e modelação estrutural)

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Enquadramento e justificação do tema

A construção de um empreendimento é um processo complexo e faseado, envolvendo donos de obra e intervenientes de diversas áreas da Indústria da Construção (IC), que vão desde a Arquitetura às diferentes áreas da Engenharia Civil e às entidades responsáveis pela construção. As interligações entre estas áreas do sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), têm mostrado algumas dificuldades de comunicação e transmissão de informação durante o processo da construção de um empreendimento, afetando assim a qualidade dos projetos, tornando-os mais morosos, e suscetíveis a omissões e erros, comprometendo os empreendimentos com custos acrescidos.

No mercado atual, a prática mais comum para a representação de uma edificação em projeto ainda é o recurso ao desenho bidimensional - 2D, prevalecendo a metodologia desenho assistido por computador (*Computer-aided Design* - CAD). No entanto, essa ferramenta de representação apresenta algumas limitações, uma vez que apenas considera, de uma forma genérica, alguns dos parâmetros geométricos do empreendimento a ser construído (Nunes & Leão, 2018).

Como foi referido anteriormente, a metodologia CAD apresenta algumas limitações, atendendo que os empreendimentos são cada vez mais complexos, requerem planeamentos mais elaborados, e a sua construção envolve um elevado número de diferentes intervenientes. Devido a estes elevados níveis de interação e de colaboração entre os intervenientes, faz com esta seja fragmentada, deficiente na transmissão da informação e de incompatibilidade interdisciplinar, então esta metodologia CAD, pode conduzir a erros de difícil deteção e atualização, afetando assim prazos, custos e a qualidade dos empreendimentos.

Um dos principais problemas associados com a atual metodologia de trabalho, baseada nos documentos 2D, é a dificuldade e a quantidade de tempo que se despende para aceder a uma informação específica de um projeto, como por exemplo a um determinado pormenor. Esta mudança de necessidades e a evolução dos sistemas CAD resultou no desenvolvimento dos designados sistemas BIM (Papadopoulos, Sotelino, Martha, Nascimento, & Faria, 2017).

O BIM é uma metodologia de trabalho colaborativo que procura interligar pessoas, processos e modelos digitais em projetos de construção e de infraestruturas (Figura 1.1), permitindo assim fluidez na transferência de informações e comunicação (Freire & Alarcón, 2002).

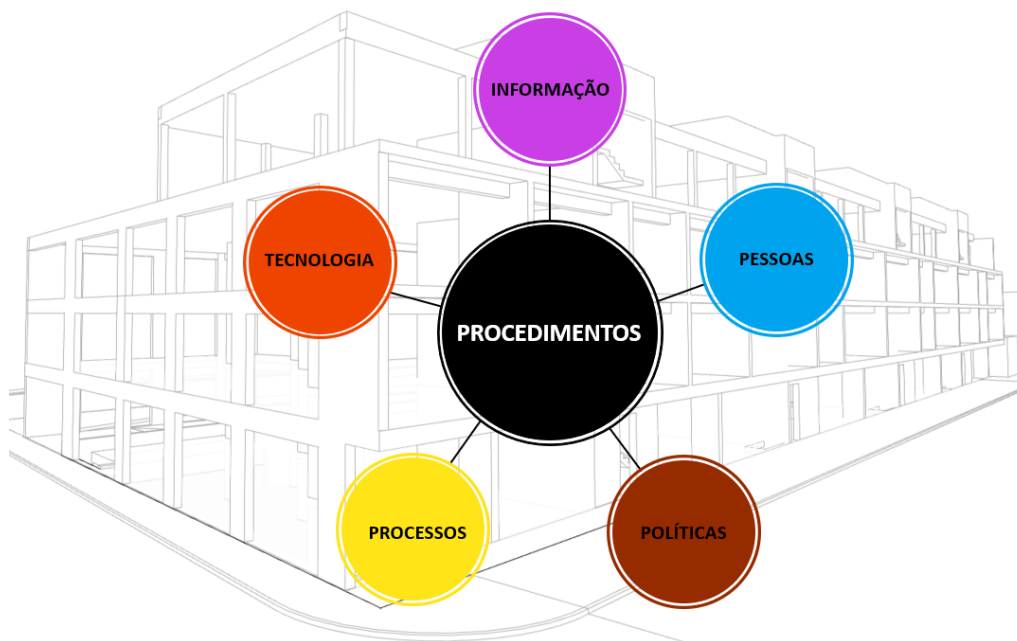


Figura 1.1 - Procedimentos da metodologia BIM, adaptado de (Paul, 2018).

Neste contexto, a implementação da metodologia BIM no desenvolvimento de Projeto de Estruturas, é um novo paradigma, mas não é um começar do zero; implica antes uma reorganização de procedimentos de projeto, mais estruturada e sistematizada, que se reflete num melhor planeamento interno dos intervenientes da organização.

Os desafios para a implementação desta nova metodologia são diversos, dos quais se salientam: as mudanças de mentalidade, as adaptações organizacionais, o investimento em tecnologia e a formação das pessoas, através de novas formas de colaboração, partilha de informação, requisitos de normalização e interoperabilidade. As organizações devem ser capazes de mapear processos, identificar trocas de informação, adaptar as suas estruturas organizativas e implementar processos e planos de BIM integrados.

## 1.2 Objetivos do trabalho

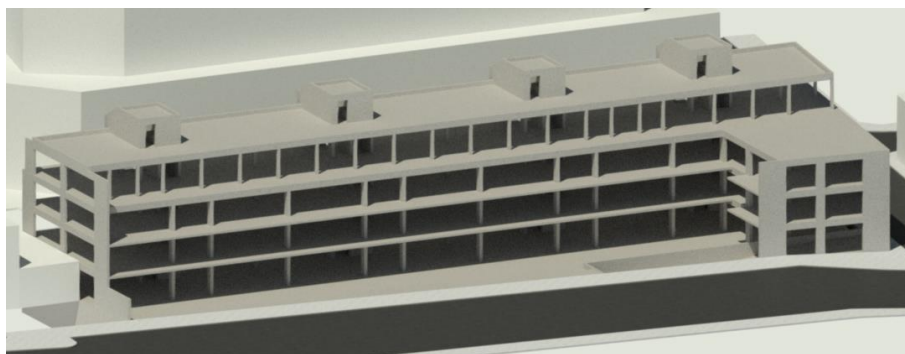
O objetivo principal é a preparação de uma metodologia através do planeamento estratégico, na realização de um modelo paramétrico 3D, com recurso de ferramentas BIM. Para alcançar esse objetivo são estabelecidos um conjunto de metas complementares que se enunciam de seguida:

- Estudo e compreensão do conceito e fundamentos de BIM na perspetiva do desenvolvimento de projetos de estruturas, analisando as etapas de maturidade, as nD dimensões, os níveis de desenvolvimento (*Level of Development - LOD*) e da interoperabilidade entre sistemas. Bem como os *softwares* BIM disponíveis para projeto de estruturas de acordo com a futura normalização.

- Planeamento estratégico da metodologia BIM, através de atividades pré-BIM e atividades BIM, definindo procedimentos de implementação BIM para alcançar as metas e objetivos planeados, baseados em normas e *guidelines*, de modo a obter peças desenhadas e mapa de quantidades;
- Desenvolvimento de um projeto-piloto, com a realização de um modelo de estruturas, através da interoperabilidade com o modelo de arquitetura (Figura 1.2).



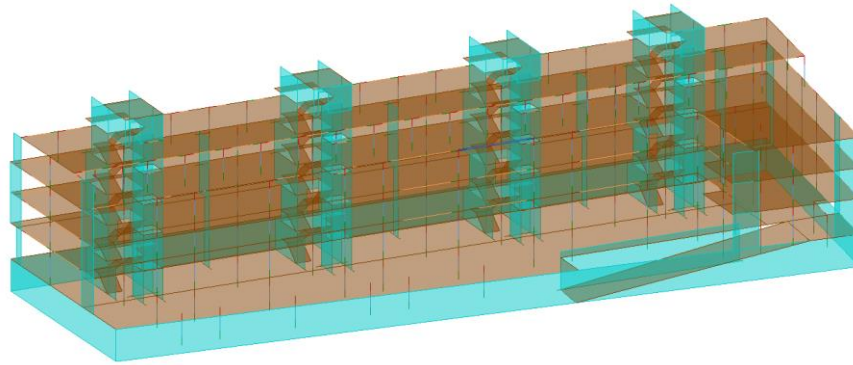
a)



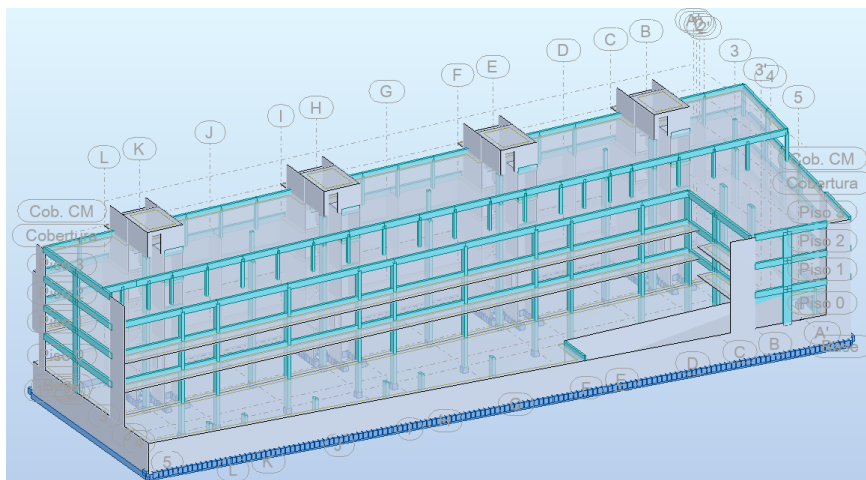
b)

Figura 1.2 – Modelos paramétricos: a) Modelo de arquitetura b) Modelo de estruturas.

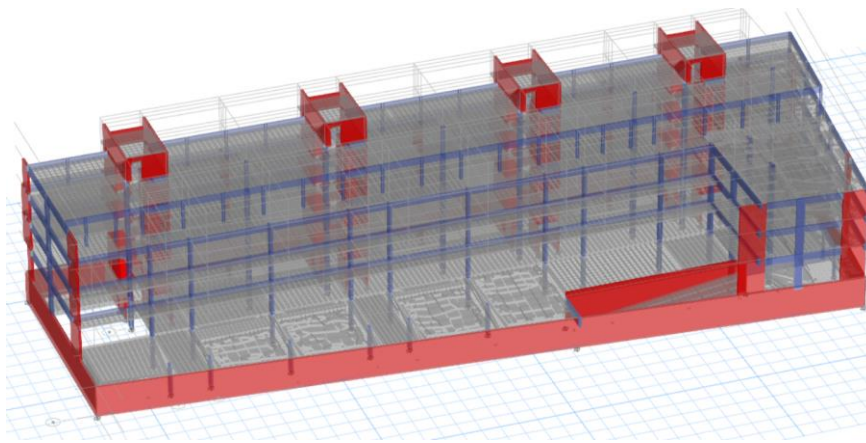
- Análise da interligação entre o modelo analítico e os softwares de análise estrutural, (*Robot Structural Analysis Professional da Autodesk – RSA*) e (*Extended 3D (Three-Dimensional) Analysis of Building Systems – ETABS*) como se esquematiza na (Figura 1.3).



a)



b)



c)

Figura 1.3 – Modelos: a) Analítico do Revit b) Estrutural do ROBOT c) Estrutural do ETABS.

- Aferição dos procedimentos da implementação da metodologia BIM, avaliando os benefícios e limitações do planeamento estratégico e das ferramentas informáticas envolvidas na metodologia.

### **1.3 Organização da dissertação**

O presente trabalho é constituído por cinco capítulos, incluindo o presente capítulo que faz a introdução, apresentação dos objetivos a estabelecer e a definição da metodologia utilizada nesta dissertação. Descrevem-se resumidamente os restantes capítulos.

#### **Capítulo 2: Conceito e fundamentos de BIM**

O capítulo 2, trata do estado da arte, onde se esclarece o enquadramento do tema, baseado na pesquisa bibliográfica efetuada, abordando o conceito BIM e os diversos fundamentos na área do projeto de estruturas.

#### **Capítulo 3: Metodologia BIM**

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia BIM, através do planeamento estratégico, definindo as metas e objetivos a alcançar, com a descrição dos procedimentos metodológicos da implementação BIM no projeto de estruturas.

#### **Capítulo 4: Projeto-Piloto**

O quarto capítulo consiste na consolidação dos procedimentos anteriores, com um projeto-piloto, onde são avaliados os resultados, evidenciando as vantagens e desvantagens da implementação da metodologia BIM.

#### **Capítulo 5: Conclusões e perspetivas futuras**

No último capítulo apresentam-se as principais conclusões do estudo, e as perspetivas futuras de pesquisa e investigação relacionadas com este tema.



## 2 CONCEITO E FUNDAMENTOS DE BIM

### 2.1 Considerações iniciais

A construção e gestão de um empreendimento, seja de uma edificação ou de uma infraestrutura, é um processo complexo e iterativo que envolve diversas alterações e restrições, durante o seu ciclo de vida. Envolve e promove a participação de diversos intervenientes do sector da AEC, que inicia na fase de projeto, passa pela fase de construção e prossegue na gestão e manutenção do empreendimento durante a sua vida útil.

Neste tipo de processos, os contributos prestados pelos diversos intervenientes ocorrem em momentos distintos, podendo dar origem a fluxos de trabalho desconectados e fragmentados, que podem ter, como consequências, baixa produtividade e canais de comunicação inadequados, promovendo assim, por exemplo, a ocorrência de trabalhos a mais e alterações recorrentes, entre outros.

Neste contexto, o recurso à utilização da metodologia BIM apresenta-se como uma das mudanças mais importantes e promissoras no sector da AEC, pois representa uma mudança de paradigma na conceção e na elaboração de projetos, permitindo o desenvolvimento de projetos, através de modelos paramétricos detalhados para as diferentes fases do ciclo de vida do projeto. Melhorando a colaboração e a centralização, alcançando elevados níveis de eficiência, o BIM permite a integração no sector da AEC, que geralmente é caracterizado por ser fragmentado (Freire & Alarcón, 2002). Com projetos de engenharia cada vez mais complexos e de enormes dimensões, estas metodologias e tecnologias estão a permitir a gestão da informação e o processamento dos dados gerados (Azhar, 2011; Lee, Park, & Song, 2018).

A fase do projeto de estruturas representa uma das tarefas mais complexas e dinâmicas do ciclo de vida de um empreendimento, uma vez que o comportamento estrutural deve ser rigorosamente analisado em conformidade com uma série de disposições regulamentares, e além disso é fruto da qualidade e experiência do engenheiro diretor pelo projeto. Estas disposições fazem da fase do projeto de estruturas um componente essencial da geração do modelo BIM (Liu, Li, & Zhang, 2010). Não existe um método aceite por unanimidade para a transferência de informações na fase de projeto de estruturas e, portanto, continua a ser um elo fraco nos fluxos de trabalho de um modelo BIM (Liu, Zhang, & Zhang, 2016).

A implementação do BIM no projeto de estruturas não é uma tarefa trivial, pois representa uma evolução completa da maneira como o processo de trabalho se desenvolve (P. Smith, 2014).

Este trabalho pretende dar um contributo nesta área, apresentando uma perspetiva sobre a sua implementação e interação com as outras áreas/especialidades (principalmente, Arquitetura e Construção).

Todavia para concretizar essa tarefa é necessário abordar um conjunto de conceitos e fundamentos em que assenta o paradigma em BIM, os quais serão abordados neste capítulo. Começa-se por apresentar uma perspetiva histórica da evolução do conceito BIM, seguindo-se a descrição de alguns dos principais fundamentos em que assenta essa metodologia (para o projeto de estruturas), nomeadamente a definição das etapas de maturidade, o enquadramento das dimensões nD e dos níveis de desenvolvimento (*Level of Development* - LOD).

Numa fase subsequente discutem-se as questões relacionadas com a interoperabilidade interna entre *softwares* da organização e a interoperabilidade externa entre *softwares* das diversas especialidades, bem como os principais formatos utilizados para a partilha universal de modelos BIM. Complementa-se a abordagem com uma descrição sucinta dos principais *softwares* utilizados no desenvolvimento de modelos BIM e da documentação que envolve esta metodologia.

O capítulo termina com uma pequena descrição do método de projeto integrado (*Integrated Project Delivery* - IPD) e a necessidade de uma adequada normalização em Portugal, para auxiliar os intervenientes do sector da AEC na fase de implementação e disseminação do BIM.

## 2.2 Perspetiva histórica sobre a evolução do conceito de BIM

A história do BIM está diretamente ligada à evolução do seu conceito, isto é, a adição de novas funcionalidades teve como resultado a evolução do conceito, o que fez com que estes dois termos estejam interligados. Assim, para melhor entender o conceito de BIM, deve-se analisar a sua história, nomeadamente as ideias e os trabalhos relacionados com este novo paradigma, para melhor compreender este complexo conceito.

Em (Tobin, 2008) são identificadas quatro fases, associadas à evolução histórica do conceito de BIM, as quais serão agora descritas sucintamente. Após esse apontamento histórico é apresentada uma pequena abordagem sobre o atual panorama, associado à interpretação do conceito BIM.

### Fase 1

As bases do BIM são lançadas em (Engelbart, 1962), onde é definida uma ideia de modelo de construção *Building Model* (BM), baseada no desenvolvimento de um projeto orientado a objetos (*object-based design*), envolvendo manipulação paramétrica (*parametric manipulation*), e uma base de dados relacionada (*relational database*). A partir das raízes da interface gráfica *Semi-Automatic Ground Environment* (SAGE) e do programa *Sketchpad*, de *Ivan Sutherland* em 1963, começaram a surgir programas de modelação de volumes sólidos, baseados na representação da geometria.

Esta primeira fase, é considerada como sendo de puro BM (Figura 2.1 a), na qual os elementos são simplesmente objetos 3D; não há outros dados; não há hipótese de criar agendas de componentes ou organizá-los numa linha do tempo, nem de os discriminar para obter estimativa de custos (Tobin, 2008).

### Fase 2

Um dos primeiros projetos a criar com sucesso uma base de dados da construção foi o *Building Description System* (BDS), que foi o primeiro *software* a descrever elementos individuais de uma biblioteca que podiam ser recuperados e adicionados num modelo. Foi concebido por *Charles Eastman*, nos anos 70, no qual surge a noção de revisão automatizada de modelos em "*check for design regularity*" apresentada em artigo de 1974 de *Charles Eastman*. Em (Lesniak, Grodzki, & Winiarski, 1975) é feita a primeira referência ao termo, *Building Design System*, sendo definido como um sistema computacional de projetos de edifícios adequado à construção sistematizada e industrializada. O projeto seguinte de *Eastman*, foi o *Graphical Language for Interactive Design* (GLIDE) criado em 1977 na *Carnegie-Mellon University*, no qual foi introduzida a maioria das características de uma moderna plataforma BIM.

Nesta segunda fase, surge a visualização do modelo com dados anexados, que são elementos do tipo BM + I, em que I está associado à adição de informação (Figura 2.1 b), portanto, objetos 3D com dados adicionados, semelhante a uma configuração de "almofada de alfinetes". As "cabeças de alfinete" que contêm dados do objeto não foram automaticamente relacionadas entre si (Tobin, 2008).

### Fase 3

Em 1982, *Gábor Bojár* desenvolve o *software* Radar CH, a versão inicial do ArchiCAD, sendo esta lançada posteriormente em 1984, e que marca o início do acesso a um *software* BIM por parte de qualquer utilizador. *Robert Aish* foi o primeiro a usar o termo "*Building Modelling*" em (Aish, 1986). Nesse artigo, descreveu o que hoje conhecemos como BIM e

a metodologia para implementá-lo. Todavia, o termo inicial *Building Information Model* (BIM) apenas aparece pela primeira vez em (van Nederveen & Tolman, 1992).

O *software* de modelação BIM “*Revise It*” (Revit) revolucionou o mundo do BIM, criando uma plataforma que utilizava um ambiente de programação visual para criar famílias paramétricas num "editor de família" gráfico, onde as relações entre componentes, visualizações e anotações foram capturadas pelo modelo para que uma alteração em qualquer elemento se propagasse automaticamente para manter o modelo consistente. Também o conceito de associatividade bidirecional entre componentes, visualizações e anotações foi um recurso distintivo do Revit.

Esta terceira fase, introduz a ideia de edifício virtual com a gestão da informação, onde surgem dados relacionados com a construção: elementos baseados em objetos 3D com dados anexados variando num contexto adicional de dados de construção. Esta fase marca a chegada do BIM (Figura 2.1 c), “BM” ligado à gestão da informação (Tobin, 2008).

#### Fase 4

Na quarta fase, também designada de BI(m), é o BIM tal como é conhecido atualmente, e a sua finalidade gira em torno do processo de projeto - a fase de entrada de dados (Figura 2.1d). As informações nos elementos do projeto passam a ser de maior importância do que o modelo 3D. Embora a extração de dados seja uma atividade contínua durante a conceção do projeto, o ponto fulcral de grande significado da extração de dados é muitas vezes a “data da entrega” - o ponto onde ocorre a sua conclusão e o projeto entra nas fases de concurso de empreitada, construção e de gestão e manutenção. O paradigma BI(m) é aquele que valoriza menos o objeto 3D e realça as informações sobre esse objeto (Tobin, 2008).

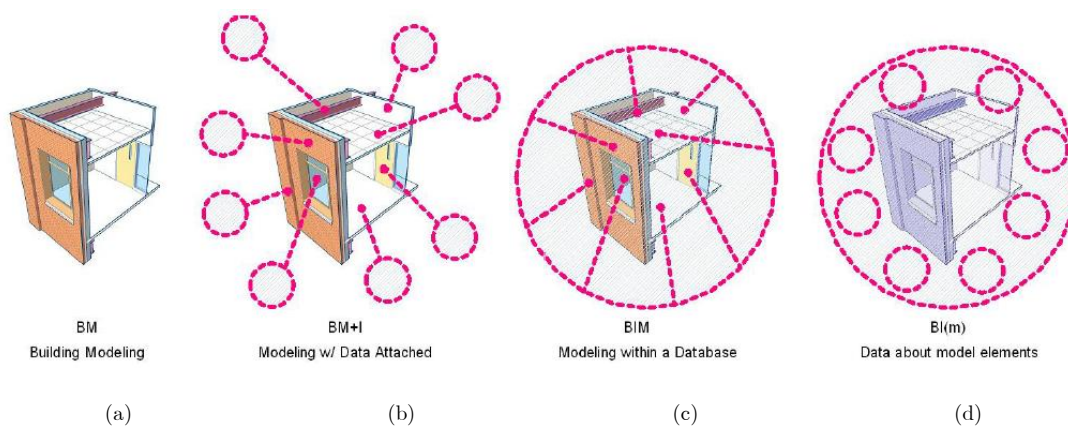


Figura 2.1 - As fases de BIM segundo (Tobin, 2008).

## O presente e o futuro

Atendendo aos desenvolvimentos mais recentes e ao que se prevê ser o futuro, perspetiva-se o início de uma quinta fase, que segundo *Amar Hanspal*, consiste em fazer “evoluir a maneira como o BIM funciona na era da nuvem, fornecendo um ambiente de dados comum”. De acordo como o projeto *Quantum* da *Autodesk*, de 2016, o objetivo é resolver os conhecidos problemas de fragmentação da informação que tipicamente ocorrem no sector da AEC, uma vez que se está perante um processo federado, com dados armazenados em muitos sítios, geralmente desconectados e indisponíveis quando necessário.

Em 2019 a *Autodesk* fez uma revisão dos processos do projeto *Quantum* e lançou um novo projeto designado de *Plasma*, onde adiciona um conjunto de novos dados, onde a partilha de cada participante no projeto é rastreada pelo sistema e necessita de aprovação para as trocas, através de uma série de plataformas. Deste modo cada projetista mantém o controlo sobre o seu projeto, partilhando dados que não podem ser editados. Por exemplo, o engenheiro estrutural pode ver os elementos da arquitetura, mas não os pode alterar e vice-versa ([AECMagazine, 2019](#)).

## Conceito de BIM

*Bilal Succar* afirma que BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que ao interagirem, geram uma metodologia para a gestão, em formato digital, do projeto de um empreendimento e dos seus dados, durante todo seu ciclo de vida. Verificou-se que esta foi a primeira definição encontrada em que um autor associa ao conceito, palavras como políticas, processos e gestão (na língua inglesa: *policies, process, manage*) na elaboração do significado, afastando-o, nesse caso, de uma conotação essencialmente computacional ou tecnológica ([Gaspar & Ruschel, 2017](#)).

O BIM também pode ser considerado como uma representação digital das características físicas e funcionais de um empreendimento, que permite integrar de forma sistematizada e transversal, as várias fases do seu ciclo de vida, com a gestão das informações disponíveis em projeto, formando assim uma base de dados confiável para a tomada de decisões durante o seu ciclo de vida, definindo este desde a primeira conceção até à demolição, tal como se esquematiza na Figura 2.2, ([NIBS, 2007](#)).

O conceito BIM para o sector da AEC, serve de base não apenas para uma construção específica, mas também para simular o desenvolvimento de um empreendimento num bairro ou cidade, prever qual o comportamento da estrutura, da sua segurança e conforto, da eficiência energética e do consumo de materiais. Estas informações permitem perceber os impactos, interferências e ganhos sociais do empreendimento no seu ciclo de vida. Por

isso, o BIM é muito mais amplo que uma visualização 3D ou um *software*, é um novo conceito para a IC, que agrega robustez ao projeto e facilita todo o fluxo de execução e gestão da obra (Gonçalves Jr, 2018).

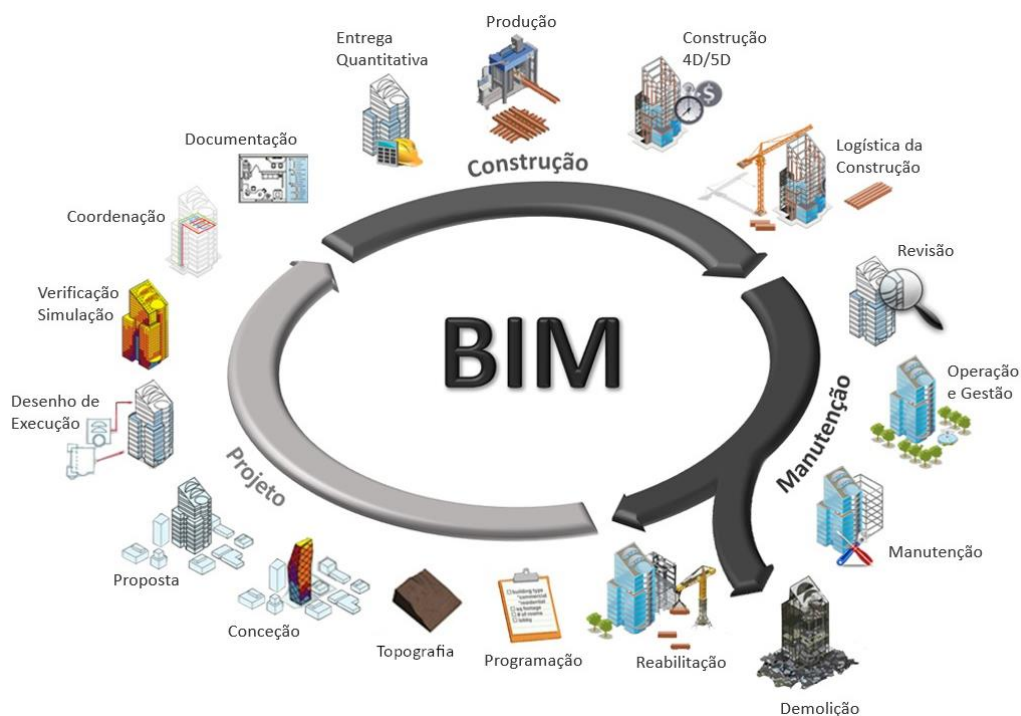


Figura 2.2 - Fases de um empreendimento com a metodologia BIM, adaptado de (Dispenza, 2010).

O conceito de BIM foi evoluindo ao longo do tempo, tendo por essa razão diversos pontos de vista, pelo que não é unânime para todos os intervenientes, mas percebe-se que as diversas ideias se complementam, ora em torno da tecnologia com a representação de um modelo paramétrico 3D que incorpora informações, mas também numa metodologia de trabalho que implementa um conjunto de políticas, processos e pessoas, donde se tira partido da informação gerada.

## 2.3 Etapas de maturidade BIM

Na implementação da metodologia BIM é necessário definir qual a etapa de maturidade mais adequada para o projeto de estruturas, de modo a atingir os objetivos definidos no plano de implementação.

Com a publicação da (ISO 19650-1, 2018), abandonou-se o termo de níveis de maturidade, para dar lugar a etapas (*stages*) de maturidade, tornando agora a noção de gestão e colaboração partilhada de projeto dos empreendimentos mais abrangente (Figura 2.3). A etapa de maturidade BIM pode ser definida como uma medida de quanto a informação

de cada parte está estruturada, para os colaboradores utilizarem nos modelos federados, sem exigir alterações significativas no processo (Committee BRISBIM, 2019).

A função da maturidade, com a nova ISO 19650, procura as melhorias na maturidade organizacional nas categorias de negócios, na informação, na tecnologia e na normalização.

Na gestão das novas etapas de maturidades existem quatro categorias (*layers*):

- Categoria da Normalização: que gere os objetivos, práticas e regras de como a tecnologia opera;
- Categoria da Tecnologia: são as ferramentas, os sistemas, a estrutura para produzir, registar e auditar a informação;
- Categoria da Informação: é o meio que assegura a resposta da necessidade;
- Categoria do Negócio: a necessidade propriamente dita.

Quanto mais categorias se integrem/gerirem, melhor será a comunicação e a eficiência na colaboração, incrementando os benefícios nos processos de negócio.

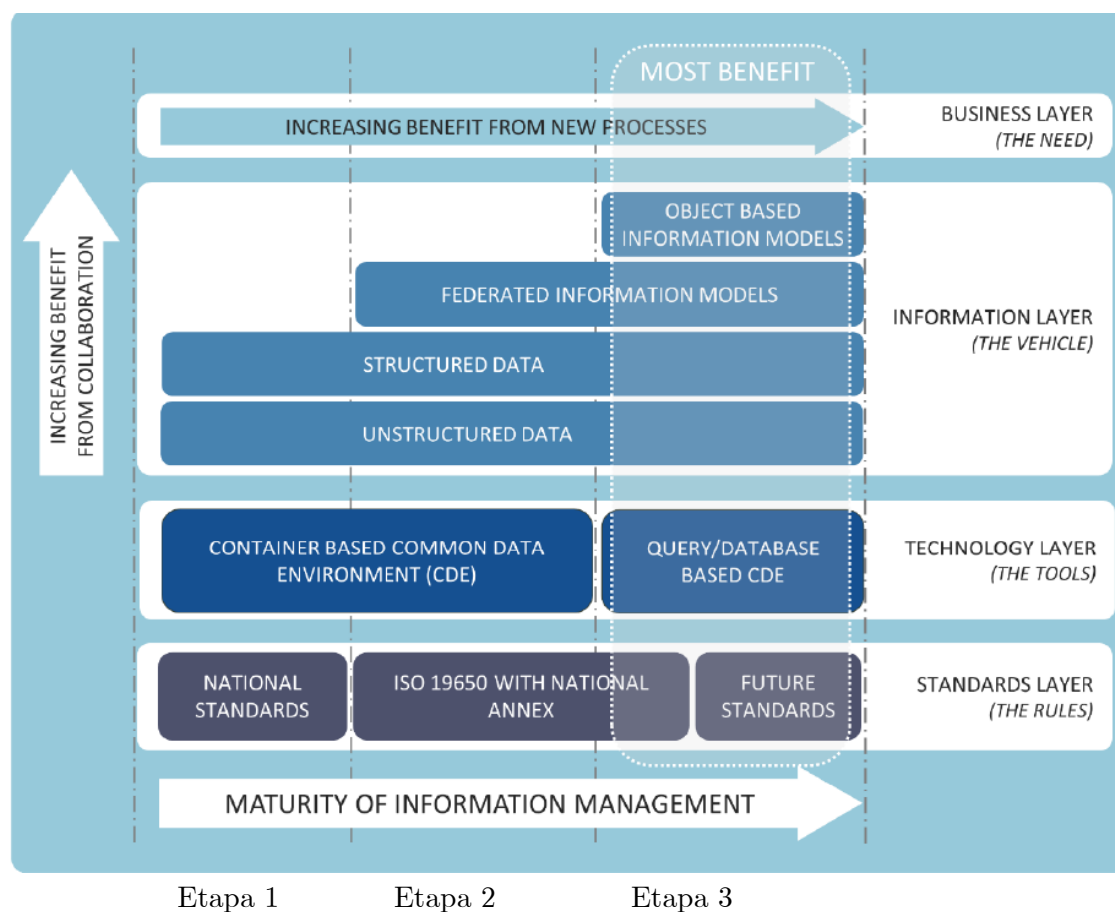


Figura 2.3 - Diagrama das etapas de maturidade (Committee BRISBIM, 2019).

As etapas de maturidade do BIM podem ser resumidas como:

**Etapa 0:** indefinido, neste novo procedimento esta etapa não tem qualquer significado.

**Etapa 1:** Os dados não federados são parcialmente estruturados. Isso pode ser alcançado por meio de normas nacionais, protocolos e guias orientadores.

**Etapa 2:** Os modelos estão separados por disciplina, mas estruturados com informação federada. As partes trabalham nos modelos BIM de forma isolada, a partilha dos dados e a coordenação das informações utilizam o ambiente de dados comuns (CDE - *Common Data Environment*) para integração dos modelos, com base nos princípios descritos na série de padrões da ISO 19650.

**Etapa 3:** Modelos de informações baseados em servidores hospedados em CDE com base de dados de consulta. A etapa 3 ainda não está totalmente definida.

Um CDE é definido como uma fonte única de informações para qualquer projeto, utilizado para partilhar, gerir e transmitir todas as informações relevantes do projeto em curso para equipas multidisciplinares num processo colaborativo (Adams, 2018).

Atendendo às etapas de maturidade, anteriormente apresentadas, constata-se que a maturidade adequada para o projeto de estruturas é a etapa 2.

Para trabalhar na etapa 2, são necessários os seguintes requisitos (Committee BRISBIM, 2019):

A documentação ainda pode ser uma entrega formal: pode incluir peças desenhadas 2D, cronogramas, etc. baseadas em ferramentas de autoria BIM e informações suplementares, como relatórios e especificações. Para alinhar com os requisitos da etapa 2, a entrega deve ser concluída em formato digital consistente através de um modelo 3D e pronto a ser federado com outros modelos.

O modelo 3D é emitido como uma entrega: os modelos 3D emitidos podem ser criados em *softwares* habilitados para BIM, como por exemplo, em ficheiros de Revit, Tekla, ArchiCAD, etc. ou num ficheiro não proprietário *Industry Foundation Classes* (IFC) contendo a mesma informação.

A documentação não gráfica é emitida como um produto separado: isto é, pode incluir informações que podem ser importantes para colaboração, coordenação, gestão de ativos futuros ou outras atividades.

Este tema será novamente abordado no capítulo seguinte, quando forem descritas as atividades BIM.

## 2.4 Dimensões nD BIM

As dimensões do BIM são diferentes das etapas de maturidade do BIM. As dimensões referem-se à maneira particular pela qual determinados tipos de dados são interligados ao modelo de informação.

De acordo com os requisitos de cada fase e complexidade do projeto, os parâmetros específicos são adicionados às informações existentes contidas no modelo. Desta forma obtém-se uma melhor compreensão do projeto de construção: quando será entregue, qual o prazo de construção, quanto custará e como deve ser mantido, etc. Estas dimensões - 4D, 5D, 6D e 7D BIM (Figura 2.4) - podem ser todas viáveis, mas não ocorrem todas num determinado fluxo de trabalho na etapa de maturidade 2 de BIM (McPartland, 2017).

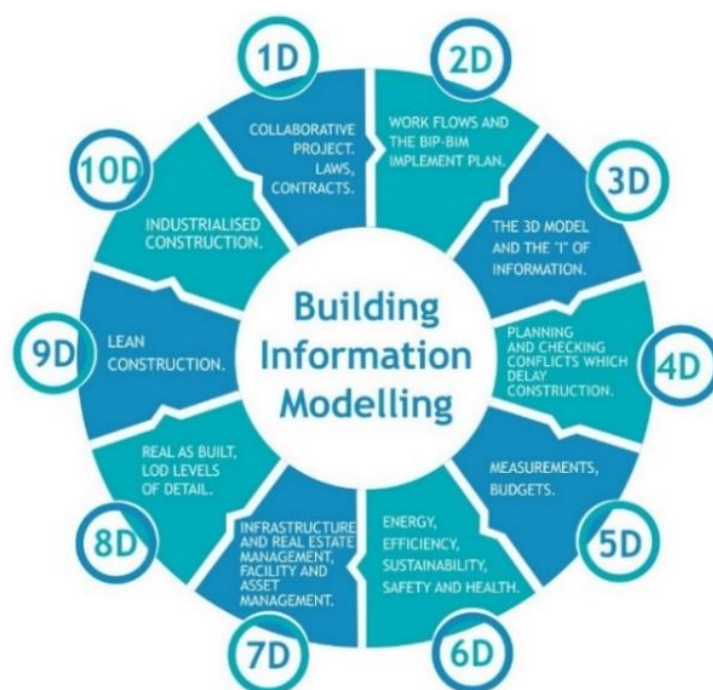


Figura 2.4 - Dimensões nD BIM (Centre Line Studio, 2019).

A tecnologia BIM evoluiu de dimensões básicas de 3D, 4D e 5D para dimensões mais sofisticadas de 6D e 7D, e estão em preparação novas dimensões que vão do 8D até 10D, para mudar o futuro do sector da AEC.

No projeto de estruturas, o objetivo principal é a dimensão 3D, mas o modelo pode englobar outras dimensões, como é o caso das dimensões 4D e 5D, que são prazos e custos respetivamente. Na fase da dimensão 3D, as estimativas das quantidades são menos detalhadas do que na fase de construção (4D e 5D). O projeto do empreendimento, quando entra na fase de construção, a obtenção das quantidades é tratada com mais rigor para as dimensões de 4D e 5D.

## 2.5 Níveis de desenvolvimento - LOD

A especificação de (*Level of Development* - LOD) é uma ferramenta de referência destinada a melhorar a qualidade da comunicação entre os intervenientes no BIM, tendo por base as características dos elementos nos modelos. A especificação LOD sobrepõe-se ao esquema LOD desenvolvido pelo *American Institute of Architects* (AIA) para o seu *E202-2009 BIM Digital Data Exhibit*, sendo atualizada no *G202-2013 Project BIM Protocol* da AIA, fornecendo definições e ilustrações dos elementos BIM de diferentes sistemas de construção, em diferentes estágios do seu desenvolvimento e utilização no processo de projeto e construção.

### 2.5.1 Nível de Desenvolvimento vs. Nível de Pormenor

O LOD é geralmente interpretado como sendo um Nível de Pormenor em vez de um Nível de Desenvolvimento.

Nível de Pormenor corresponde a uma pormenorização numa qualquer escala, que está incluída no elemento do modelo. O Nível de Desenvolvimento é o grau em que a especificação dos componentes, a sua geometria e as suas informações anexadas foram analisadas, isto é, o grau em que os membros da equipa de projeto podem definir as informações, ao usar o modelo.

### 2.5.2 LOD e a fase de projeto

O LOD não foi concebido com o propósito de ser associado às fases do projeto, isto é, nem todos os elementos têm de estar no mesmo LOD numa determinada fase de projeto. Esta ideia pode justificar-se através das razões que se apresentam de seguida ([United BIM, 2019](#)):

- 1) A primeira razão é que não há um padrão rigoroso disponível para a cada fase de projeto. Os padrões diferem de uma organização para outra e podem até diferir dentro de uma única organização, de acordo com os requisitos de um projeto.
- 2) Os projetos progridem da definição esquemática para a definição pormenorizada, em ritmos diferentes; portanto, a qualquer momento, diferentes elementos podem estar em fases distintas no desenvolvimento do projeto. Por exemplo, na fase de anteprojecto, o modelo incluirá muitos elementos no LOD 350, mas também incluirá alguns no LOD 200, além de outros no LOD 300, e possivelmente até no LOD 400.

### 2.5.3 Definições fundamentais associadas ao LOD

No contexto atual, são utilizados cinco níveis diferentes de desenvolvimento que são definidos pelo AIA e um sexto que ainda não é utilizado, os quais se apresentam de seguida, sendo esquematizados na (Figura 2.5).

**LOD 100:** O Elemento pode ser representado graficamente no modelo com um símbolo ou outra representação genérica. As informações relacionadas ao elemento podem ser derivadas de outros elementos do modelo.

**LOD 200:** O Elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou montagem genérica com quantidades, tamanho, forma, localização e orientação aproximada.

**LOD 300:** O Elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou montagem específica em termos de quantidade, tamanho, forma, localização e orientação. Informações não gráficas também podem ser anexadas ao elemento. A origem do projeto é definida e o elemento é localizado com precisão em relação à origem do projeto.

**LOD 350:** O Elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou montagem específica em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com outros sistemas de construção. Informações não gráficas também podem ser anexadas ao elemento do modelo.

**LOD 400:** O Elemento é representado graficamente dentro do modelo como um sistema, objeto ou montagem específica em termos de quantidade, tamanho, forma, localização, e orientação, com informações detalhadas de fabricação, montagem e instalação.

**LOD 500 (Não utilizado):** O Elemento é uma representação de campo, verificada em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação. Informações não gráficas também podem ser anexadas aos elementos do modelo.

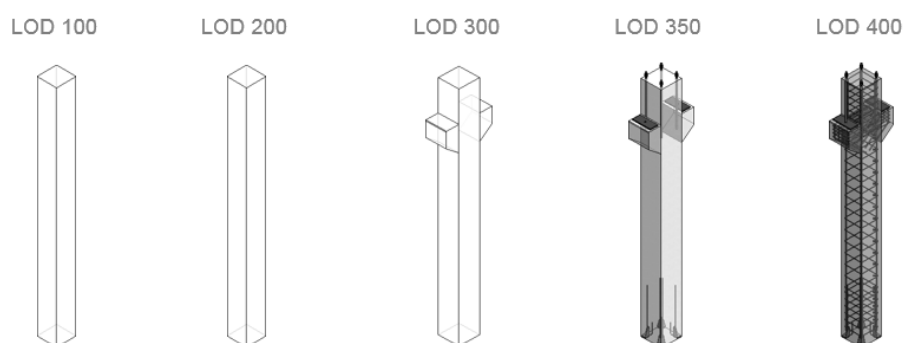


Figura 2.5 - Os níveis de desenvolvimento BIM - LOD (Grand Engineering, 2018).

## 2.6 Interoperabilidade

A chave para a adoção do BIM como principal método de transferência de projeto é a capacidade dos vários intervenientes de partilhar facilmente a informação da construção. A interoperabilidade tem uma importância elevada para o BIM estrutural, porque é através desta que a produtividade aumenta significativamente.

A interoperabilidade é uma característica de um produto ou sistema, cujas interfaces são completamente compreendidas, para trabalhar com outros produtos ou sistemas, presentes ou futuros, na implementação ou no acesso, sem quaisquer restrições. Em relação ao *software*, o termo interoperabilidade é utilizado para descrever a capacidade de diferentes programas de trocar dados por meio de um conjunto comum de formatos de troca, de ler e gravar os mesmos formatos de ficheiro e de usar os mesmos protocolos (Grani, 2016).

A interoperabilidade para o BIM estrutural tem usualmente duas perspetivas. A primeira é considerada como externa à organização, na qual a interoperabilidade e a colaboração são feitas com organizações externas, das várias especialidades como a Arquitetura, as Instalações Especiais e outras, por esta via existem vários modelos 3D por disciplina, que se interligam num modelo federado (Figura 2.6).

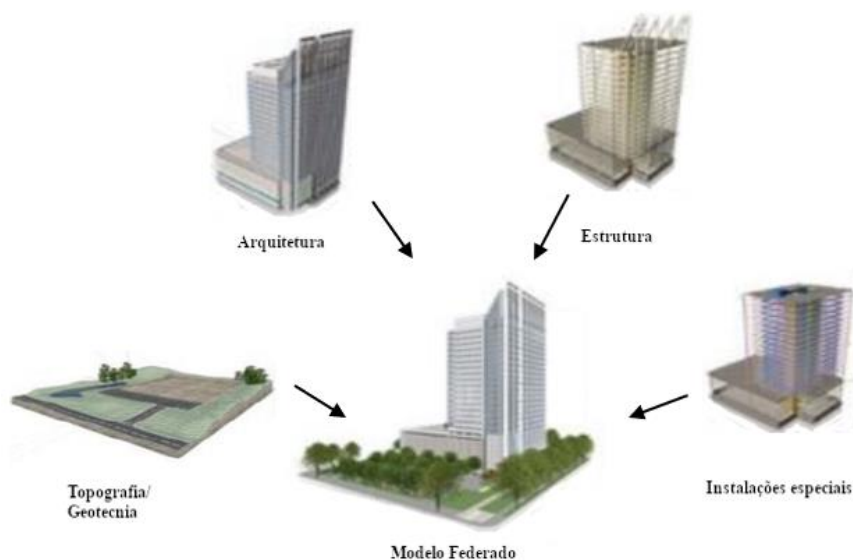


Figura 2.6 - Interoperabilidade entre modelos BIM de diferentes disciplinas, adaptado de (Knittle, 2014).

Neste contexto, a interoperabilidade entre sistemas pode ser assegurada através do ficheiro universal IFC, por ficheiros compatíveis ou por ficheiros do mesmo sistema de modelação BIM das diversas disciplinas.

A segunda perspetiva é considerada como interna, e refere-se a um sistema de modelação BIM que pode interagir, por exemplo com um sistema de análise de cálculo estrutural,

através de um Interface de Programação de Aplicações (*Application Programming Interface* - API) ou *plugins* instalados no sistema de modelação BIM (Figura 2.7).

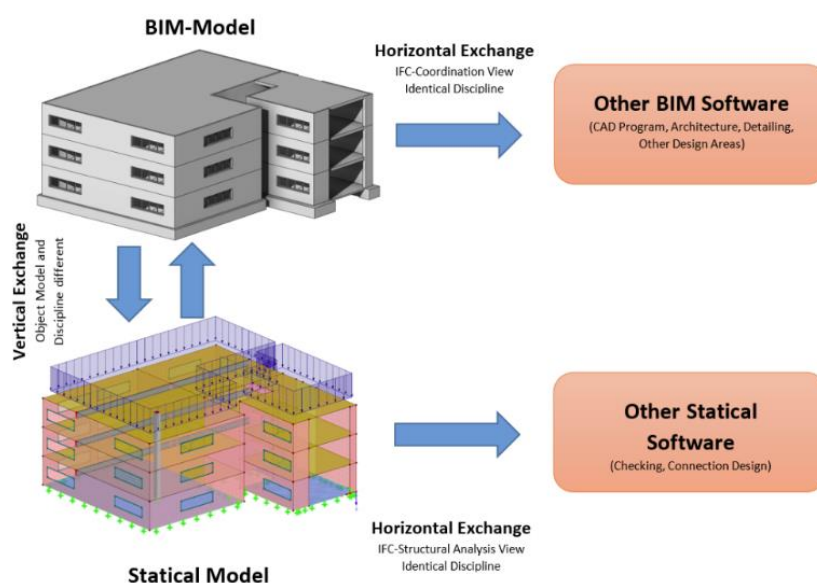


Figura 2.7 - Integração do modelo BIM com o modelo de análise estrutural (Rustler, 2017).

Na 1ª perspetiva existem evidentes limitações, relacionadas com a interoperabilidade entre os diversos sistemas com o ficheiro IFC. Todavia, mesmo que existam problemas de interoperabilidade, durante a partilha e troca de dados baseados em IFC, não se pode concluir que o processo da interoperabilidade não é viável (Lai & Deng, 2018).

Na 2ª perspetiva as limitações surgem quando se utiliza *softwares* de diferentes empresas; quando os *softwares* são da mesma empresa a compatibilidade é mais elevada e o fluxo de trabalho é mais eficiente. O *software* utilizado deve permitir a transferência de informação da geometria paramétrica existente dos objetos inteligentes específicos para o *software*, utilizando as interfaces correspondentes. Finalmente, uma boa estratégia de troca de dados em conformidade com o *software* utilizado, poderá permitir a integração do dimensionamento estrutural no processo BIM (Rustler, 2017).

## 2.7 *openBIM* e formatos universais

A preocupação com a interoperabilidade entre sistemas surgiu com o trabalho de (van Nederveen & Tolman, 1992). Nessa altura constatou-se que era importante apostar no BIM; no entanto, também se percebeu que existia um grande potencial comercial associado à introdução do conceito BIM, numa ferramenta ou num grupo de ferramentas e que a sua introdução no mercado poderia criar um monopólio ou oligopólio associado à exploração da tecnologia BIM. Porém, existiam dois obstáculos que impediam a ocorrência desse cenário: o primeiro seria inviável economicamente, haver somente uma

empresa a desenvolver uma tecnologia com o conceito BIM e o segundo é que já operavam várias empresas no mercado com diferentes *softwares* para requisitos distintos. Surgia então a necessidade da interoperabilidade entre os sistemas.

Em 1994, as empresas de tecnologia de *software* perceberam que a interoperabilidade – transferência completa de informações, entre os vários programas de *software* que estavam a ser utilizados no sector da AEC – afetaria diretamente, com grandes benefícios, a IC. Em 1995 surge uma aliança privada para a interoperabilidade: convencidos da importância da interoperabilidade para a IC, a *Autodesk* organizou uma aliança entre 12 empresas ligadas a esta tecnologia (Figura 2.8), a fim de comprovar os benefícios da interoperabilidade entre os sistemas (Gonçalves Jr, 2018).



Figura 2.8 - As 12 empresas da Aliança Internacional para a Interoperabilidade (IAI), adaptado de (Gonçalves Jr, 2018).

As empresas empenharam-se na conceção de projetos, análises de engenharia, construção e desenvolvimento de *softwares*.

Em 1996, um ano após a sua constituição, estas empresas chegaram a 3 conclusões:

- A interoperabilidade é viável e tem um grande potencial comercial;
- A Aliança deveria abrir a sua participação a partes interessadas em todo o mundo;
- Todos os padrões devem ser abertos e internacionais, não privados ou de propriedade de um grupo específico.

Assim, surgiu a Aliança Internacional para a Interoperabilidade (IAI), criada em maio de 1996 em Londres, para coordenar o desenvolvimento de padrões internacionais dos ficheiros de interoperabilidade. Em 2005, a organização independente e sem fins lucrativos, mudou de nome para *buildingSMART* (Gonçalves Jr, 2018).

A estrutura da organização *buildingSMART* é apresentada na (Figura 2.9), cujos *Chapters* individuais, ou seja, organizações membros nacionais, desenvolvem e promovem a aplicação de padrões abertos nos seus países. O *buildingSMART* desenvolve, padroniza e fornece soluções específicas (os chamados formatos abertos) para a troca de dados no processo *openBIM*: *BIM Collaboration Format* (BCF), *buildingSMART Data Dictionary* (bsDD) e o IFC.



Figura 2.9 - Organograma da *buildingSMART* ([buildingSMART.org](http://buildingSMART.org), 2020).

O *openBIM* é considerado uma abordagem universal para a concepção, construção e operação de edifícios com base em padrões abertos. A metodologia *openBIM* suporta uma cooperação aberta e transparente de todos os participantes do projeto, independentemente do *software* implementado. Associados ao conceito de *openBIM* existem diversos formatos independentes e universais, tais como IFC, BCF, COBie, CityGML, gbXML, etc. Deste conjunto de formatos universais, o formato IFC é o mais relevante para o desenvolvimento do modelo de estruturas utilizando a metodologia BIM ([buildingSMART.org](http://buildingSMART.org), 2020).

O formato IFC, é uma descrição digital padronizada do ambiente construído, incluindo edifícios e infraestruturas. O padrão internacional aberto (ISO 16739-1: 2018), é neutro em relação ao fornecedor e utilizável numa ampla variedade de dispositivos de *hardware*, plataformas de *software* e interfaces para muitos casos de utilizações diferentes. A especificação do formato IFC é o principal produto técnico da *buildingSMART International* para cumprir seu objetivo de promover o *openBIM*.

A especificação do formato IFC descreve como um recurso ou uma instalação é usada, construída e operada. A especificação IFC pode definir componentes físicos de edifícios, produtos manufaturados, sistemas mecânicos / elétricos, bem como modelos de análise estrutural, modelos de análise de energia, definição de custos, cronogramas de trabalho entre outros ([buildingSMART.org](http://buildingSMART.org), 2019).

O formato IFC é um padrão global adequado para descrever, partilhar e trocar informações sobre coordenação de edifícios e instalações (Figura 2.10).

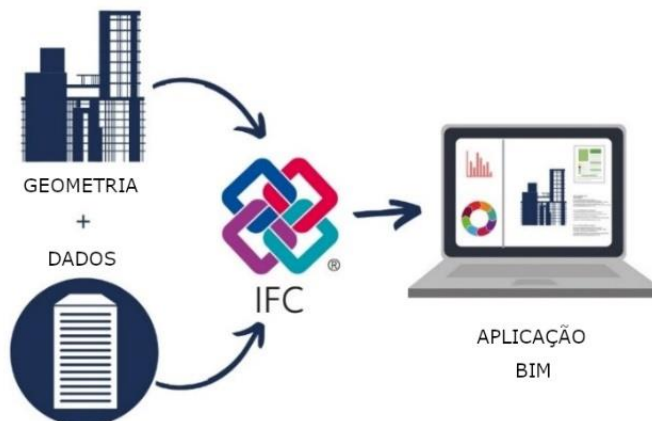


Figura 2.10 - Integração do ficheiro IFC, adaptado de (Majcher, 2019).

A versão do formato IFC está em constante evolução. A versão atual, lançada em 2020, é o IFC 4.3 RC1, as versões anteriores foram as 1.0, 1.5, 2.0, seguidas das 2x, 2x2, 2x3 e por fim surgiu a versão 4 (Figura 2.11).

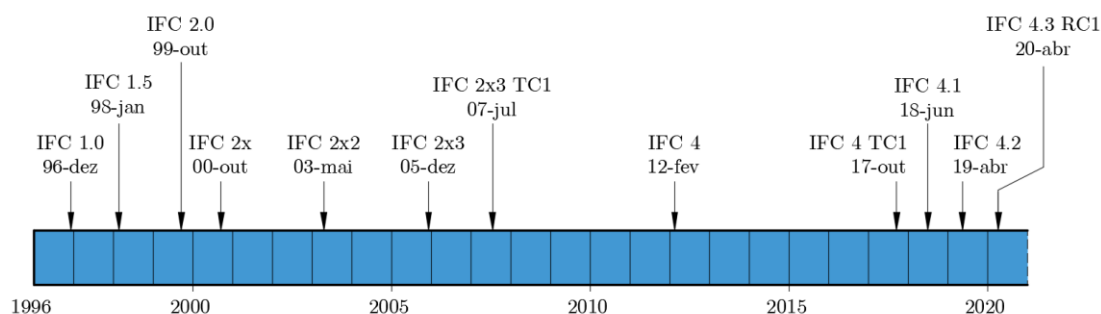


Figura 2.11 - Evolução do ficheiro IFC, adaptado de (buildingSMART,2020).

A versão IFC 5 ainda está em preparação com outros recursos paramétricos e a ativação do domínio da infraestrutura.







































## 2.8 Softwares de modelação BIM e análise estrutural

“BIM não é um software”, uma expressão muito utilizada para salientar que a metodologia BIM não é só *software*, mas na metodologia BIM o *software* é essencial e a questão que se coloca é: mas que tipo de *software* se utiliza para implementar a metodologia? Depende obviamente do tipo de projetos e dos processos BIM que as organizações tenham como finalidade.

O BIM é amplo e de grande complexidade como mostra no Quadro 2.1; com a evolução da tecnologia, o *software* para utilização da metodologia BIM diversificou-se muito; no presente a escolha do *software* requer uma análise e um estudo de mercado muito cuidado. Uma escolha errada do *software* a usar na implementação BIM, pode colocar em causa todo o processo e voltar ao início, ou mesmo retornar à metodologia 2D.

No planeamento da implementação BIM associada ao projeto de estruturas, a análise deve ser estruturada e cuidada sobre quais os *softwares* adequados à sua utilização na metodologia. Para cada disciplina existe um processo específico e bem definido; no BIM de estruturas deve-se avaliar os *softwares* existentes na organização e neste sentido pode-se manter ou adquirir novos, dependendo dos objetivos a alcançar.

**Quadro 2.1** – *Softwares* de modelação BIM e análise estrutural - Área de projeto de estruturas

Grupo	Empresa	Software de Modelação	Software de análise estrutural
 AUTODESK	 AUTODESK	 REVIT	 ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS PROFESSIONAL
 Bentley	 Bentley	 OpenBuildings™ CONNECT Edition	 RAM Concept CONNECT Edition
 Trimble	 Tekla	 Tekla Structures	 Tekla Structural Designer
 NEMETSCHEK GROUP	 GRAPHISOFT A NEMETSCHEK COMPANY	 GRAPHISOFT Archicad	 SCIA A NEMETSCHEK COMPANY
	 ALLPLAN A NEMETSCHEK COMPANY	 ALLPLAN ENGINEERING	
 PROTA SOFTWARE Innovation to Design	 PROTA SOFTWARE Innovation to Design	 ProtaStructure® 2021	
 cype	 cype	 cype CYPE 2021	
 ACCA ACCA SOFTWARE	 ACCA ACCA SOFTWARE	 EdiLus CONCRETE	
 TQS	 TQS	TQS Projetos de estruturas de concreto	
 CSI COMPUTERS & STRUCTURES, INC. STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE	 CSI COMPUTERS & STRUCTURES, INC. STRUCTURAL AND EARTHQUAKE ENGINEERING SOFTWARE	-	 ETABS®
 Arktec	 Arktec	-	 Tricalc 12.0
 HEXAGON	 BricsCAD®	 BricsCAD® BIM	-

O conjunto de *softwares* associados à modelação BIM e análise estrutural é elevado, o que pode conduzir a uma grande indecisão na fase da implementação da tecnologia. Neste sentido a avaliação deve ser bem estruturada, com uma definição clara dos objetivos, de modo que a tomada de decisão seja pelo *software* adequado.

A decisão da escolha do *software* de modelação BIM, é de fulcral importância, porque é a partir desta decisão que se vai desenvolver todo o planeamento da metodologia, como

veremos no capítulo seguinte. A escolha errada pode acarretar elevados custos e reanálise dos procedimentos da metodologia.

## **2.9 Softwares de colaboração / documentação**

Após a definição dos *softwares* de modelação e análise estrutural, segue-se a fase referente à escolha dos *softwares* para a colaboração entre os intervenientes BIM, gestão da documentação e comunicação. Neste contexto, as empresas já têm *softwares* de colaboração, gestão e comunicação, pelo que será necessária uma avaliação para saber se são adequados, ou não, à implementação da metodologia BIM. Se reunirem as condições adequadas pode ser apenas necessário readaptá-los; de outro modo a empresa poderá ter de adquirir *software* adequado (Figura 2.12).

Para BIM de estruturas existem as seguintes opções:

### **Software de colaboração baseado na nuvem:**

- BIM 360 da Autodesk
- Viewpont for Projects da Trimble
- Asite plataform da Asite
- Trimble Connect da Trimble
- ProjectWise da Bentley
- Allplan Bimplus da Nemetschek
- Sharepoint da Microsoft

### **Software para criar documentos:**

- Office 365 da Microsoft
- G-Suite da Google
- iWork da Apple
- Libreoffice da The Document Foundation
- Acrobat Pro DC da Adobe

### **Software BIM para comunicação entre os membros do projeto**

- Outlook da Microsoft
- Teams da Microsoft
- Hangouts chat da Google
- Slack da Slack
- Zoom da Zoom

## Software BIM para programação paramétrica

- Dynamo ferramenta open source
- Grasshopper de Scott Davidson
- Marionette da Nemetschek

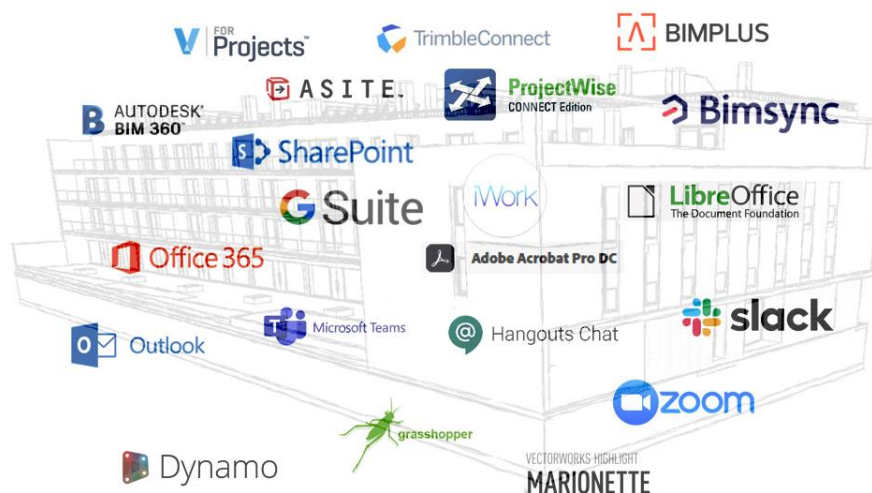


Figura 2.12 - Softwares de Colaboração / Documentação.

## 2.10 Integrated Project Delivery (IPD)

IPD é uma abordagem de projetos integrados que agrega pessoas, conjuntos de processos e políticas, que empregam procedimentos de forma colaborativa, mediante as competências e conhecimentos de todos os intervenientes para otimizar os resultados, acrescentando valor aos donos de obra, reduzindo os desperdícios e maximizando a eficiência em todas as fases de projeto, construção e gestão/manutenção, tal como se mostra na Figura 2.13 (AIA, 2007).

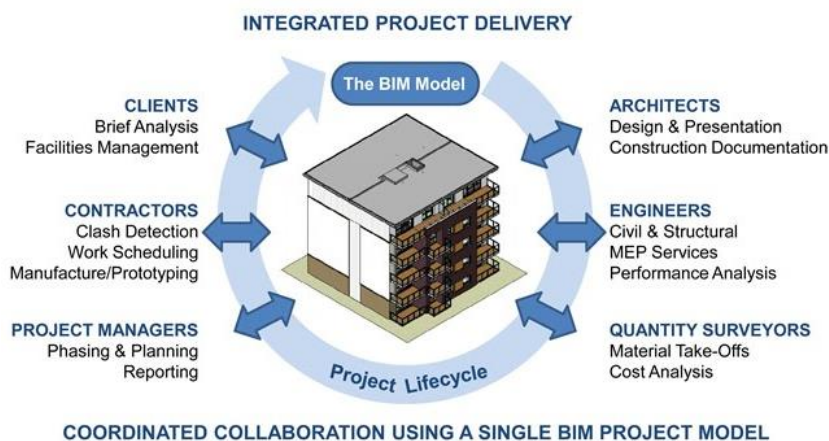


Figura 2.13 - Esquema do ciclo de projeto integrado em BIM (Dublin Institute of Technology, 2020).

O método do IPD, assenta no trabalho colaborativo na fase inicial de desenvolvimento do empreendimento, reunindo todos os intervenientes do processo construtivo. Este trabalho de colaboração, que habitualmente integra uma plataforma de trabalho virtual comum a todos e que permite um acesso partilhado. Facilita as trocas de informação entre todos os intervenientes e possibilita a redução de prazos e custos da obra.

Existem ainda algumas restrições que impedem a adoção do método, particularmente a confiança necessária entre os intervenientes das diferentes disciplinas, e a carência de soluções tecnológicas capazes de proteger a propriedade intelectual das partes interessadas.

A interoperabilidade de dados digitais nos projetos BIM visa a substituição dos processos de impressão, o incremento da velocidade, a eficiência da comunicação, bem como a melhoria da gestão dos custos desde a conceção à conclusão da construção.

O IPD combina as ideias das práticas integradas com o pensamento das construções *lean*, para tentar resolver muitos dos problemas das construções contemporâneas, como a baixa produtividade, os desperdícios criados, os desvios dos prazos, os conflitos gerados e as questões da qualidade (Ribeiro, 2012).

## 2.11 Normalização

Em Portugal, a Comissão Técnica CT197 é o *mirror committee* do CEN/TC442 BIM e ISO/TC59. É a entidade delegada pelo Instituto Português da Qualidade (IPQ), responsável para o desenvolvimento da normalização no âmbito dos sistemas de classificação, modelação da informação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos de construção.

A implementação BIM em organizações e projetos surge como um processo complexo, que deve ser abordado de forma estruturada e sistematizada. As organizações devem ser capazes de mapear processos, identificar trocas de informação, adaptar as suas estruturas organizativas e implementar metodologias e planos de execução BIM integrados. Transversalmente a todos estes desafios surge a necessidade da normalização BIM. Este é um ponto crítico, cuja complexidade exige especial cuidado, mas que contribui de forma decisiva para alavancar a vantagem competitiva permitida pela utilização integrada do BIM. A elaboração de um normativo europeu e nacional assume assim especial importância, devendo harmonizar processos, prever riscos, alinhar interações ao longo do ciclo do empreendimento, apoiar as partes na execução dos trabalhos e garantir a legalidade e distribuição de responsabilidades ao longo do ciclo de vida do empreendimento de construção (CT197, 2016).

Embora o atraso em relação a outros países europeus, a normalização em Portugal segue as atividades do programa de normalização e num futuro próximo teremos normas e guias, que permitirão um auxílio no planeamento e a organização dos projetos a desenvolver.

As ISO facilitam práticas BIM eficientes, por meio de análises detalhadas de projeto, da construção, e das operações de manutenção dos empreendimentos. As ISO para BIM com mais relevância para projeto de estruturas são:

A norma ISO 19650 estabelece padrões internacionais para a aplicação e implementação do BIM, com o objetivo de que a metodologia tenha uma maior disseminação e eficiência para todo o sector da AEC:

- **ISO 19650-1:2018** - Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles ([ISO 19650-1, 2018](#)).
- **ISO 19650-2:2018** - Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the assets ([ISO 19650-2, 2018](#)).

A norma ISO 29481 especifica a metodologia que interliga os processos de negócios realizados durante a construção. Mapeia e descreve os processos de informação, facilitando a interoperabilidade entre os aplicativos de *software* utilizados durante todas as fases do ciclo de vida de construção. Promove a colaboração digital entre os principais intervenientes do processo de construção:

- **ISO 29481-1:2016** - Building information models — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format ([ISO 29481-1, 2016](#)).
- **ISO 29481-2:2012** - Building information models — Information delivery manual — Part 2: Interaction framework ([ISO 29481-2, 2012](#)).

A norma ISO 21597 define os formatos de recetor aberto e estável para troca de ficheiros de natureza diversa para entregar, armazenar e arquivar documentos que descrevem um ativo em todo o seu ciclo de vida:

- **ISO 21597-1:2020** - Information container for linked document delivery — Exchange specification — Part 1: Container ([ISO 21597-1, 2020](#)).
- **ISO 21597-2:2020** - Information container for linked document delivery — Exchange specification — Part 2: Link types ([ISO 21597-2, 2020](#)).

Finalmente refere-se a prEN 17412, que está em desenvolvimento, especifica conceitos e princípios para estabelecer uma metodologia, com a finalidade de especificar o nível de

necessidade de informação e a entrega de informação de uma forma consistente ao usar BIM.

A normalização em BIM é de crucial importância porque pressupõe uma mudança de paradigma da indústria tradicional, rumo à indústria 4.0, incentivada pelas tecnologias inovadoras que provocam resultados significativos, quer nos sistemas de produção e nos modelos de negócio.

## **2.12 Considerações finais**

Neste capítulo foram apresentados, os principais conceitos associados ao BIM e a sua evolução temporal, os fundamentos para o enquadramento da metodologia BIM no projeto de estruturas e a futura normalização componente essencial para implementação deste novo paradigma no sector da AEC.

A compreensão destes componentes pode levar a alcançar um elevado nível de conhecimento, para a realização do planeamento da metodologia BIM. Esta nova metodologia requer alterações de procedimentos, através de novos processos, novas políticas internas, e envolvimento de todos os intervenientes do sector da AEC.

A estratégia passa por um adequado planeamento de implementação da metodologia BIM de estruturas. Este deve ter em atenção as etapas de maturidade BIM a atingir, a compreensão dos LOD que são pretendidos em cada fase de projeto. A interoperabilidade entre aplicações, com a escolha acertada dos *softwares* de modelação BIM e de análise estrutural, evidenciando a sua compatibilidade. Os *softwares* de documentação, partilha e de colaboração, tendo papéis secundários na metodologia BIM, não devem ser descurados no planeamento.

A avaliação e aferição do planeamento, deverá ser realizada inicialmente através de projetos-piloto, para atualizar a estratégia e a gestão da implementação da metodologia, e posteriormente em avaliação contínua com todos os projetos da organização desta nova metodologia.

A normalização é um fator decisivo para a disseminação e implementação do BIM, esta trará guias, protocolos e a programação de roteiros de implementação, para o desenvolvimento do trabalho colaborativo.

## 3 METODOLOGIA BIM

### 3.1 Considerações iniciais

A transição da metodologia CAD para BIM, requer uma implementação de forma faseada. No período de transição irão coexistir as duas metodologias; a organização terá de se ajustar progressivamente à nova realidade. A implementação da metodologia BIM em projeto de estruturas tem como primordial objetivo, o planeamento e a gestão num nível competitivo.

A implementação de forma gradual é uma alternativa, uma vez que há benefícios mesmo com utilizações parciais das ferramentas BIM. Por outro lado, existe a necessidade da consciencialização dos projetistas das várias disciplinas, no sentido de formar aos poucos uma cadeia de trabalho de colaboração, para ampliar, no futuro, aqueles benefícios (AsBEA, 2013).

Não existe um padrão universal para implementar o BIM em projeto. As normas e guias existentes, muitas vezes não são compatíveis com todas as organizações, devido às diferentes culturas organizacionais, procedimentos, dimensão, objetivos e metas. Antes da escolha do plano de implementação, é fundamental ter uma boa compreensão sobre o BIM (Ahmad, Demian, & Price, 2012).

Neste trabalho apresenta-se uma proposta de implementação da metodologia BIM no projeto de estruturas, com uma etapa inicial de atividades pré-BIM, perspetivando-se quais os benefícios/barreiras da metodologia, e uma etapa subsequente de atividades BIM, com a realização de um diagnóstico à organização, a definição da estratégia através de um planeamento dos novos processos da metodologia, e por fim a implementação com a aferição dos resultados obtidos.

As atividades pré-BIM (ver Figura 3.1), analisam o estudo da viabilidade da implementação BIM, abrangendo a avaliação do investimento e o desenvolvimento de um roteiro, para estabelecer uma decisão sobre a implementação e adequar a estratégia em BIM (Ray, 2020).

As atividades BIM (ver Figura 3.1), seguem uma abordagem de pesquisa/ação, divididas em quatro fases. Diagnóstico: análise do fluxo de trabalho tradicional; Planeamento: desenvolvimento dos novos processos e linhas orientadoras da adoção da metodologia; Implementação: ação e desenvolvimento do projeto BIM; e Avaliação: aferição do projeto e divulgação dos resultados (Arayici et al., 2011).

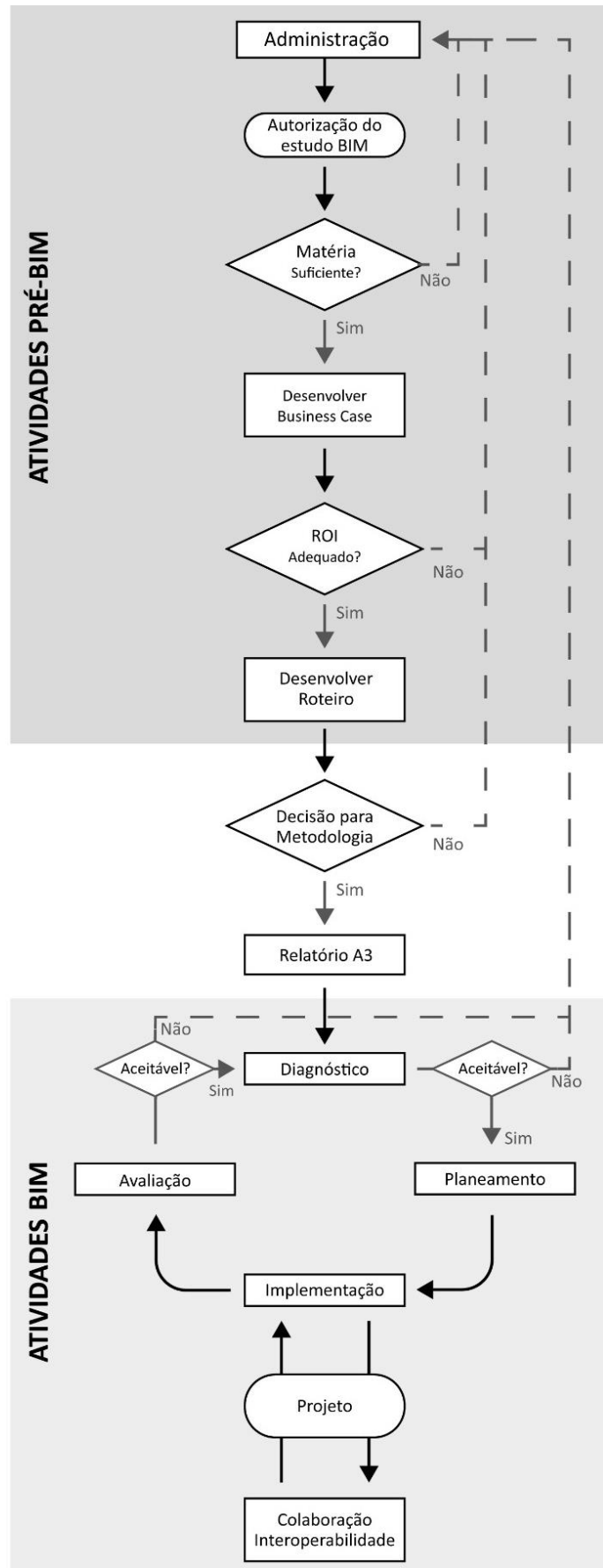


Figura 3.1 – Metodologia BIM, adaptado de (Arayici et al., 2011; Ray, 2020).

## 3.2 Atividades Pré-BIM

As atividades pré-BIM auxiliam a organização na antevisão dos benefícios/barreiras da metodologia com relevância para a compreensão do BIM, no investimento necessário para a sua adoção, bem como a sua possível calendarização.

### 3.2.1 Compreensão do BIM

A administração, para ter um adequado nível de conhecimento sobre a temática do BIM, pode nomear uma comissão técnica dentro da organização que tenha uma boa percepção do tema BIM ou através de uma entidade externa. O objetivo é iniciar um estudo sobre o tema, com a finalidade de compreender quais os benefícios/barreiras da metodologia.

Se a opção recair pela comissão técnica interna, esta deve selecionar os tópicos mais relevantes sobre o BIM estrutural, com a finalidade de desenvolver um documento com a descrição pormenorizada dos tópicos selecionados. O intuito deste documento é dar uma base de apoio à administração na compreensão e conhecimento sobre BIM. Complementando o estudo do tema, é também desenvolvido um relatório de avaliação do investimento, através de um modelo de negócios *business case*.

### 3.2.2 Modelo de negócios *Business Case*

A comissão técnica procede, com base num modelo de negócios de *business case*, a uma avaliação de investimento, para justificar a tomada de decisão. O modelo de negócios de *business case* fornece uma adequada justificação de investimento, para a concretização de um projeto/implementação, avaliando benefícios e custos num certo intervalo de tempo, e consiste num documento bem fundamentado para incentivar a tomada de decisão ou ação a respeito de um negócio, desenvolvido durante a etapa inicial desse projeto/implementação. Neste sentido, apresenta-se no anexo 1 o modelo do *template do business case* baseado em (Martins, 2017).

A implementação em BIM é muito mais uma decisão de negócio do que uma decisão técnica. A tecnologia deve ser implementada como parte de uma ampla estratégia de negócios para ter sucesso. Muitos processos de negócios e fluxos de trabalho devem mudar para aproveitar ao máximo a tecnologia (D. K. Smith & Tardiff, 2009).

Muitas organizações do sector da AEC (com diferentes dimensões), começam por utilizar o BIM abandonando-o logo em seguida, por não alcançarem os resultados pretendidos, mesmo após investimentos avultados (ABDI & MDIC, 2017).

### 3.2.3 Relatório de retorno de investimento (ROI)

Conjuntamente com o modelo de negócios *business case*, pode também ser apresentado o retorno do investimento (*Return on Investment* - ROI), o qual pode ser planeado e aferido através de índices numéricos. Nestas circunstâncias, a organização deverá ter métricas de desempenho, qualidade, custos e prazos (AsBEA, 2013).

A análise de ROI, é uma das muitas maneiras de avaliar um investimento. Faz uma comparação entre o lucro previsto de um investimento, com o custo do investimento na implementação (Autodesk, 2004).

$$\frac{\text{Lucro}}{\text{Custos}} = \text{ROI} \quad (3.1)$$

O ROI em BIM de estruturas pode ser relativamente fácil de calcular, na implementação da metodologia BIM em projeto. Tem de se prestar atenção às mudanças de produtividade, no período inicial do processo, e aos custos iniciais de investimento.

O diagrama representado na Figura 3.2, mostra o que acontece depois da implementação da metodologia. Numa fase inicial há uma queda imediata de produtividade, pelo facto dos colaboradores se estarem a adaptar à nova metodologia. Com o tempo, a produtividade sobe para valores idênticos ao da metodologia tradicional e vai aumentando à medida que a nova metodologia é implementada.

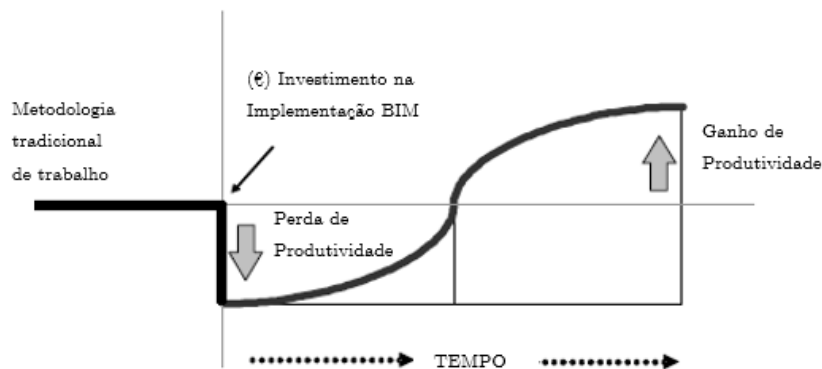


Figura 3.2 - Curva de projeção do investimento e produtividade na implementação BIM, adaptado de (Autodesk, 2004).

A fórmula para calcular o ROI no primeiro ano da implementação da metodologia, está descrita na equação (3.2). Utiliza as variáveis-chave relacionadas com o custo da tecnologia disponível, a formação e a produtividade geral associada à utilização da tecnologia.

$$\frac{\left( B - \left( \frac{B}{1 + E} \right) \right) \times (12 - C)}{A + (B \times C \times D)} = 1^\circ \text{ Ano do ROI (\%)} \quad (3.2)$$

Em que:

A = Custo da tecnologia (€)

B = Custo do trabalho mensal (€)

C = Tempo gasto em formação (meses)

D = Perda de produtividade na implementação (%)

E = Ganho de produtividade depois da implementação (%)

- O numerador representa a parte da equação referente aos ganhos provenientes do aumento de produtividade;
- $\left( B - \left( \frac{B}{1 + E} \right) \right)$  representa o aumento da produtividade na média mensal;
- $(12 - C)$  representa o número de meses num ano, menos os meses de formação (C);
- O denominador representa a parte da equação referente aos custos, inclui o custo do sistema (A) e o custo da produtividade perdida, em termos de custo de mão-de-obra, conforme o colaborador está em formação. O segundo termo é o produto do custo de mão-de-obra mensal (B) multiplicado pelos meses de tempo de formação (C) e pela produtividade perdida na formação (D).

Da análise da equação anterior pode-se constatar que o tempo de formação; refere-se ao tempo que um colaborador leva a atingir o mesmo nível de produtividade que já tinha na metodologia tradicional e não a duração da sua formação.

Por outro lado, depreende-se que o ganho e a perda de produtividade são as variáveis mais sensíveis da equação. Assim, pequenas mudanças nessas variáveis têm um maior impacto no ROI, pelo que, se a produtividade for um fator crítico, então origina um maior prazo do retorno de investimento na implementação do BIM (Autodesk, 2004).

### 3.2.4 Roteiro de metodologia de BIM

O roteiro de implementação da metodologia BIM (Figura 3.3) pode ajudar a compreender e a documentar os padrões da organização, a definir as metas e objetivos a implementar. Quando bem estruturado, ajuda a equipa a monitorizar o progresso da implementação e também a organizar as alterações da estratégia de forma gradual. Um roteiro deve ser considerado como um documento ativo, e não ser apenas utilizado para ajudar a monitorizar os processos, mas também para atualizar a estratégia de implementação quando necessário (Voxell, 2020).

O roteiro é um processo crítico para qualquer implementação, mas muito mais para o BIM, porque requer que a equipa entenda as várias fases de implementação e tenha a perceção do conjunto específico de objetivos a alcançar. Deve-se garantir que o Roteiro

do BIM esteja integrado nas diversas iniciativas e metas relevantes que a organização tem como objetivo implementar. Este envolvimento pretende que a equipa trabalhe com os recursos internos e externos que estão envolvidos no trabalho diário e no processo de tomada de decisões. Ajuda a garantir que toda a equipa de projeto esteja a evoluir em conjunto, para ter sucesso nos processos BIM colaborativos (Voxel1, 2020).

O Roteiro BIM pode conter os seguintes tópicos:

- Diagnóstico e análise da tecnologia e fluxos de trabalho existentes;
- Plano de formação e partilha de conhecimento;
- Plano de implementação BIM (*BIM Implementation Plan - BIP*);
- Organograma e equipa BIM;
- Desenvolvimento de padrões e modelos de BIM;
- Restruturação da infraestrutura informática;
- Manual interno de modelação BIM;
- Projetos-pilotos;
- Indicadores da monitorização de Performance.

A estimativa de tempo de implementação da metodologia BIM em projeto de estruturas depende, em muito, da organização em questão e do tipo de implementação BIM. Em pequenas organizações os intervalos de tempo podem ser mais curtos, nas médias e grandes organizações podem ter intervalos de tempo mais alargados.

Para implementar totalmente a metodologia BIM em projetos de estruturas, a duração poderá ser provavelmente superior a 1 ano, dependendo dos objetivos e metas a alcançar. Na implementação as organizações estão dependentes umas das outras; só com um elevado esforço e colaboração entre todos os intervenientes é possível o sucesso deste novo paradigma.

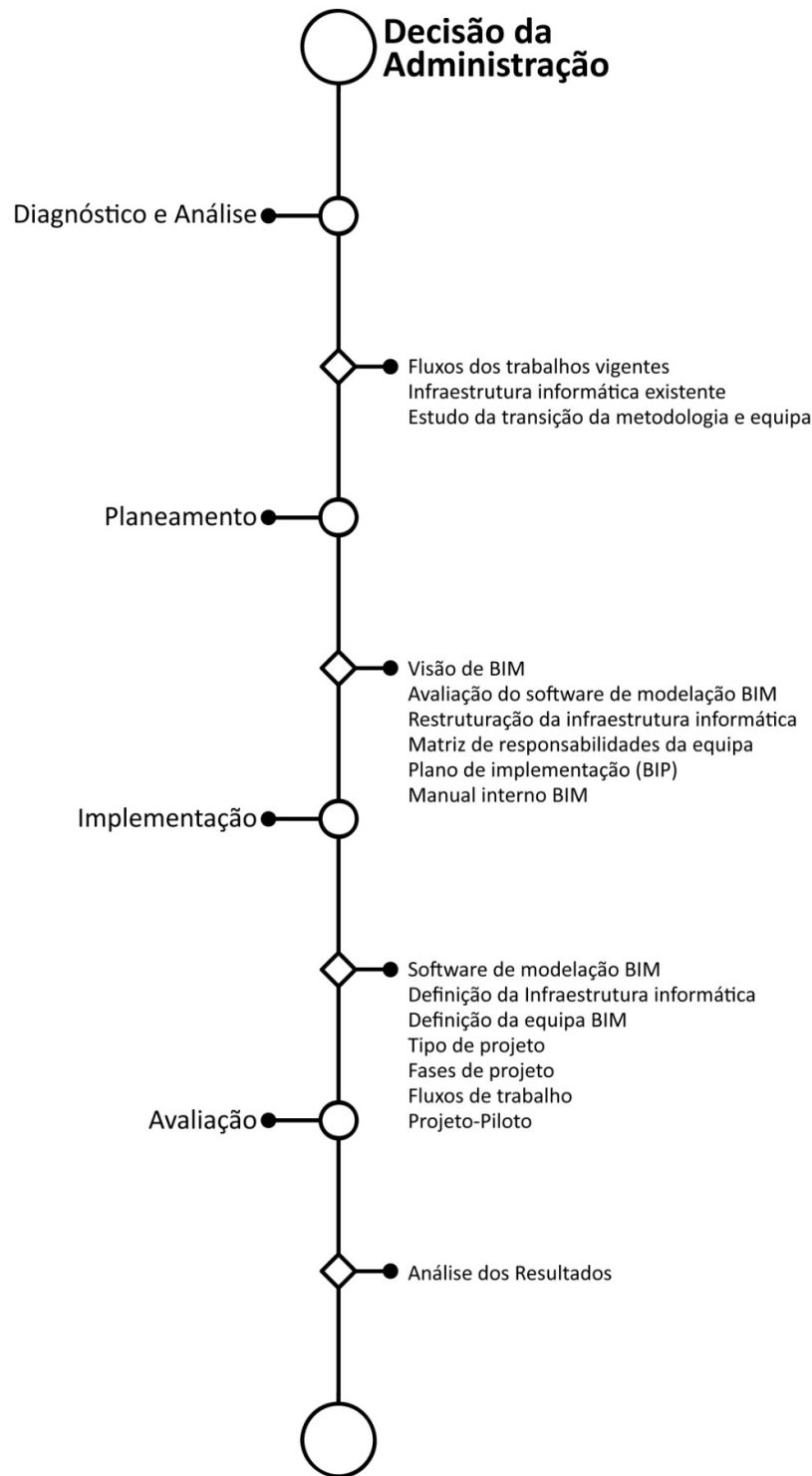


Figura 3.3 – Roteiro da metodologia, adaptado de (Voxel1, 2020).

Com o conhecimento adequado de BIM e analisados o modelo de negócios de *business case*, o relatório do ROI e o roteiro de implementação, compete à administração elaborar uma deliberação sobre o assunto proposto, ou seja, se é o momento de avançar para a metodologia BIM ou de adiar para redefinir alguns pontos mais relevantes do tema.

### 3.3 Decisão pela metodologia BIM

Para iniciar as atividades BIM, a administração tem de ponderar e avaliar a tomada de decisão, se esta for afirmativa, deve ser anunciada e justificada aos colaboradores. Após a aprovação, inicia-se o desenvolvimento das atividades BIM, um dos processos que se pode utilizar é o relatório A3 (ver anexo 2).

#### 3.3.1 Justificação da Decisão

Implementar o BIM no sector da AEC, nas respetivas organizações e em projeto com sucesso e eficiência, depende em muito da administração (P. Smith, 2014).

A administração tem de evidenciar com esta tomada de decisão as seguintes diretrizes:

- A visão em BIM;
- A linha de ação estratégica alinhada com os objetivos da organização;
- A mudança cultural e organizacional;
- A colaboração de todos colaboradores;
- Investimentos na tecnologia e formação das pessoas;
- Transição progressiva de processos.

#### 3.3.2 Relatório A3 – Problema/solução

O relatório A3, desenvolvido pela *Toyota Motor Corporation*, é uma ferramenta que procura reconhecer e apoiar a resolução de problemas, identifica a causa, a sua natureza e as medidas de melhoria possíveis.

A estrutura do relatório A3 (ver o *template* no anexo 2) é baseada no ciclo PDCA e na gestão visual e, apesar de existirem variações, é composto dos seguintes tópicos (Machado, 2020; Paula, 2017):

1. Considerações iniciais;
2. Situação atual;
3. Análise;
4. Objetivos;
5. Recomendações para um plano de ação;
6. Implementação do plano de ação;
7. Avaliação e indicadores.

Ao contrário de uma linha de montagem onde os princípios *lean* foram inicialmente desenvolvidos pela *Toyota Motor Corporation*, na prática de projeto, não se trata tanto

de montar peças, mas de aplicar o conhecimento. Logo, o desenvolvimento e a documentação do processo e dos procedimentos *lean*, destacam os dados, as informações e o conhecimento podem ser melhor tratados por meio de processos criativos (Arayici et al., 2011).

### 3.4 Atividades BIM

Com a entrega do relatório A3 à administração, inicia-se as atividades BIM delineando a estratégia em quatro fases, o diagnóstico da organização, o planejamento dos novos processos BIM, seguido da implementação da metodologia e a aferição dos resultados obtidos respectivamente.

#### 3.4.1 Fase 1 – Diagnóstico e análise

A primeira fase das atividades BIM é de primordial importância, consiste em analisar o estado atual da organização, compreender os métodos e fluxos de trabalho atual, a fim de reorganizar os novos padrões da futura metodologia. Nesta fase realiza-se um diagnóstico através de uma análise pormenorizada, pela comissão técnica, aos seguintes tópicos:

- Fluxos do trabalho atual na organização;
- Avaliação da infraestrutura informática existente;
- Transição da metodologia.

##### 3.4.1.1 Fluxos do trabalho atual na organização

O fluxo de trabalho na metodologia 2D - CAD em projetos de estruturas, depende da complexidade do projeto e das características e dimensões de cada organização. Por isso é importante perceber o fluxo de trabalho atual na organização, para preparar a transição sem grandes disparidades e traçar os paralelismos entre as metodologias CAD e BIM.

Normalmente para projeto de estruturas, os dados a serem fornecidos podem ser: o projeto de arquitetura, o levantamento de topografia/levantamento do existente, o plano de sondagens geotécnicas/estruturais, e os diversos projetos das instalações especiais.

A metodologia CAD em projetos de estruturas é realizada por fases, após a definição da localização e das características do terreno do empreendimento, é idealizada uma solução estrutural. Em seguida definem-se os elementos estruturais em conformidade com o projeto de arquitetura, através de um pré-dimensionamento, produzindo-se as primeiras

peças desenhadas; normalmente são plantas e cortes à escala 1:100, de acordo com as normas de desenho técnico em uso, correspondendo esta fase ao estudo prévio do projeto.

O fluxo de trabalho tem diversas iterações ao longo do ciclo de projeto; nas fases seguintes desenvolve-se o modelo de análise estrutural, para produção de peças desenhadas de pormenorização a várias escalas; a fase do anteprojecto/projecto de licenciamento, além de licenciar o projeto, destina-se a estabelecer as bases para o projeto de execução.

O projeto de execução, é apresentado sob a forma de peças escritas e desenhadas, e em paralelo, inicia-se o processo de medições e orçamento.

O projeto de execução e as medições e orçamento, dá origem ao caderno de encargos, documento escrito que especifica as condições técnicas gerais e especiais de construção.

Todavia, convém salientar que os fluxos de trabalho referentes à componente de análise estrutural podem não ter qualquer tipo de interligação direta com o CAD, desenvolvendo-se o modelo da análise estrutural de acordo com as normas adotadas no cálculo estrutural. Só em situações de maior complexidade do projeto de arquitetura, é que podem ser realizados modelos 3D em CAD, como é o caso do exemplo representado na Figura 3.4 (Teixeira Trigo, 2020).

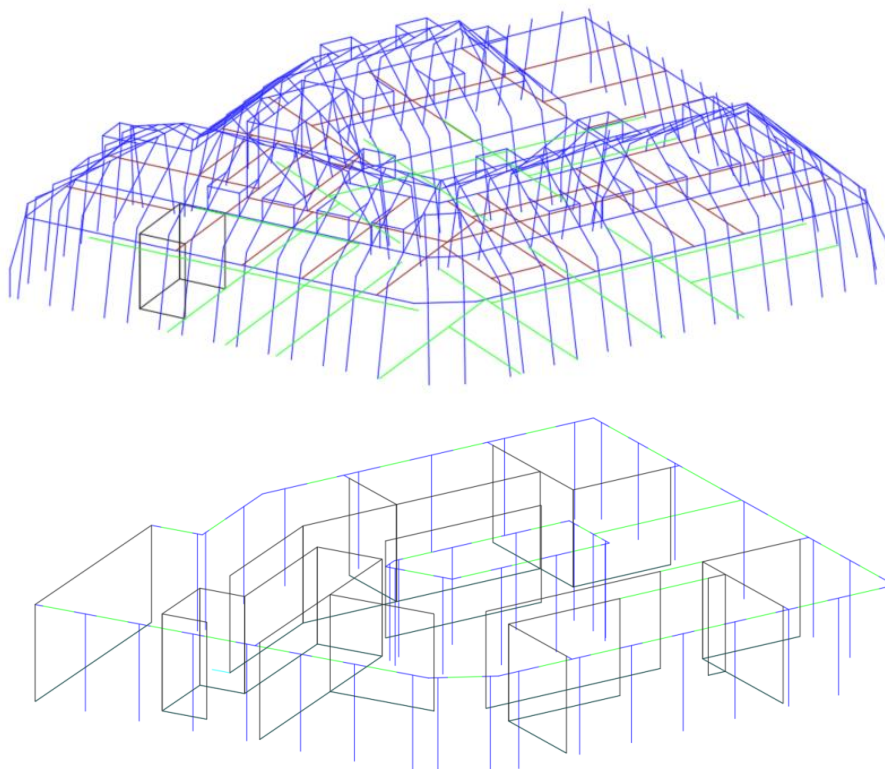


Figura 3.4 – Visualização de informação em formato “*dxf*” no AutoCAD.

Nas situações em que exista um modelo 3D em CAD, a informação relevante para o projeto de estruturas pode ser transferida para o programa de análise estrutural

recorrendo ao formato “*dxf*”. No caso específico do ETABS, essa transferência de informação resume-se em converter linhas 3D em *frames* e *polylines* em *shells*, obtendo-se o modelo representado na Figura 3.5 (Teixeira Trigo, 2020). Importa referir, que os elementos criados no AutoCAD (*Software computer-aided Design*), não têm qualquer informação sobre materiais ou secções, sendo posteriormente definidos no *software* de análise estrutural.

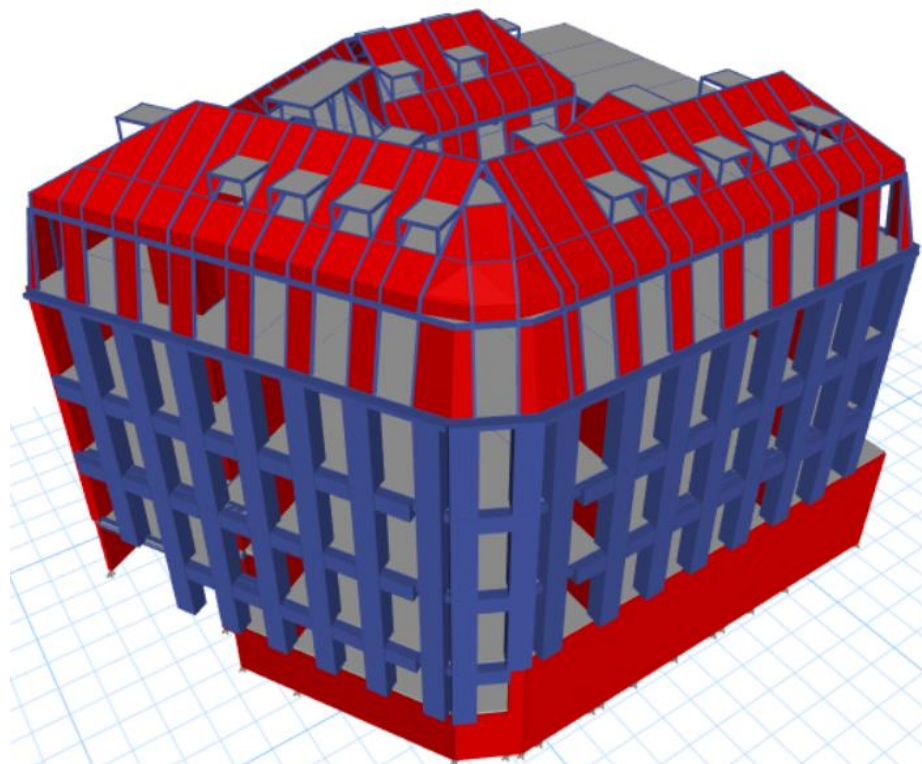


Figura 3.5 – Modelo obtido através da importação de ficheiros “*dxf*” (do AutoCAD) para o ETABS.

Atendendo ao exposto e à prática corrente, convém evidenciar que os fluxos de trabalho em CAD envolvem diversos tipos de alterações, dando origem a múltiplas interações entre as diversas disciplinas de projeto, resultando daí uma fragmentação que é própria deste tipo de abordagem, conduzindo ao isolamento das diversas especialidades.

As inevitáveis compatibilizações das peças desenhadas são realizadas pela coordenação de projeto, sendo um trabalho que exige uma elevada experiência por parte do coordenador. Mesmo num processo bem coordenado e com uma comunicação adequada entre os vários intervenientes, surge sempre uma enorme dificuldade na deteção de conflitos entre as diversas especialidades, tornando este processo algo moroso e com algumas lacunas.

Neste contexto, importa salientar que na metodologia CAD a normalização sobre o tratamento da documentação gráfica e não gráfica raramente é empregue, pelo que o projeto de estruturas, resulta de informações espartilhadas provenientes de modelos de

cálculo estrutural, com produção de memórias de cálculo, especificações técnicas, peças desenhadas, mapa de quantidades, estimativas orçamentais, etc., sendo, portanto, difícil de padronizar. Assim, trata-se claramente de uma área que necessita de melhoramentos.

#### 3.4.1.2 Infraestrutura informática existente

A análise à infraestrutura informática existente, inclui o *hardware* e os *softwares* que são utilizados na organização. Este ponto é revelante, porque a metodologia BIM requer um processamento de informação extremamente elevado. Para se perceber quais os itens da infraestrutura que estão num desempenho adequado, produz-se uma lista do *hardware* (servidor, rede interna e computadores), e também dos *softwares* de CAD, de análise estrutural, de colaboração e de documentação que estão a ser utilizados, para posteriormente avaliar quais os itens que se adequam à metodologia BIM.

#### 3.4.1.3 Transição de metodologia

Para uma adequada transição de metodologia, a organização necessita de apostar na compreensão e transmissão dos benefícios do BIM à equipa, uma vez que os benefícios da transição serão tanto maiores quanto mais a equipa apreender sobre esta nova metodologia. Neste contexto, serão discutidos com a equipa os seguintes tópicos (LaValley, 2016):

- Requisitos obrigatórios para novos projetos;
- Eficiência na documentação do projeto;
- Resolução de problemas de coordenação;
- Capacidade de trabalhar com outros intervenientes que usam BIM;
- Procedimentos de interoperabilidade;
- Olhar para o futuro da indústria 4.0 na construção civil.

No início, o investimento pode ser relativamente elevado para implementar o BIM se a organização não tiver disponível a tecnologia necessária. A implementação será realizada a longo prazo, no entanto, nas fases iniciais pode ser mais conveniente a atualização de computadores, *softwares*, servidores e a plataforma na nuvem conforme a necessidade.

Depois de começar a planear a transição para o BIM, convém agendar um horário para formação e identificar as pessoas mais vocacionadas para a utilização do BIM, de maneira que a formação ajude a impulsionar a produtividade e a eficiência a longo prazo. A formação pode desenvolver-se de diversas formas: internamente, se a organização tiver um ou mais elementos que tenham conhecimento do *software* de modelação e da metodologia; ou externamente, enviando a equipa para formação em empresas certificadas na utilização da metodologia BIM.

Para manter um nível de conhecimento elevado, além da equipa a formar, contratar um gestor de BIM (*BIM manager*) que faça a gestão e resolução de eventuais problemas, é de extrema importância.

No início da transição para BIM, deve-se ter especial atenção à criação de padrões internos, nomeadamente, *templates*, gestão de ficheiros, produção de peças desenhadas, mapas de quantidades, que devem estar de acordo com as normas e regras adequadas.

A implementação é realizada de forma progressiva, começando preferencialmente por projetos de menor dimensão, se possível, recorrer na organização a um projeto existente, de fácil modelação e com pormenores repetitivos, para comparar com a metodologia 2D anteriormente utilizada. Quando os processos estiverem mais rotinados, pode-se desenvolver um novo projeto, que muito provavelmente no início da utilização do BIM não terá os níveis de produtividade usuais. A curva de aprendizagem na fase inicial é acentuada (Figura 3.6), sendo necessário adequar a equipa a ajustar-se aos novos padrões de acordo com os prós e contras do próprio *software* (LaValley, 2016).

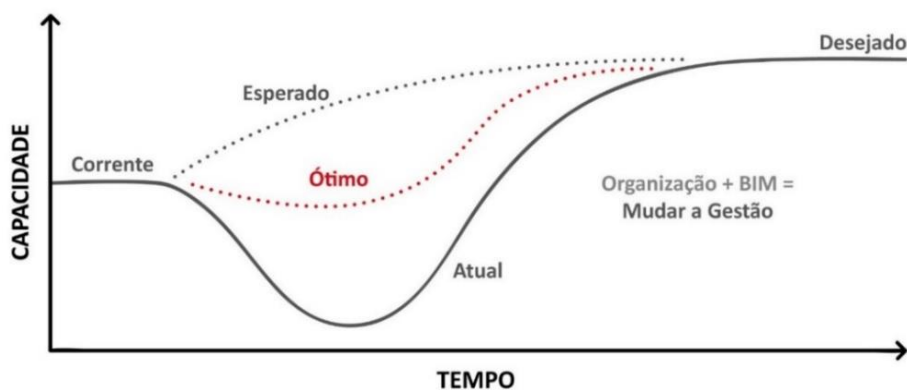


Figura 3.6 - Curva J da aprendizagem de modelação BIM, adaptado de (Mondrup, Karlshøj, & Vestergaard, 2012).

- Caminho esperado: muitas organizações na implementação do BIM esperam resultados imediatos.
- Caminho atual: a implementação do BIM tem uma curva de aprendizagem acentuada, provocando uma perda de produtividade aos colaboradores.
- Caminho ótimo: a implementação do BIM requer preparação, formação e orientação extensivas (Mondrup et al., 2012).

### 3.4.2 Fase 2 - Planeamento

A fase de planeamento tem como objetivo mostrar as linhas orientadoras e mapear os processos da nova metodologia. Para organizar a estratégia da implementação do BIM, e tendo os conceitos e as metas definidas, deve-se partir para o plano de implementação do BIM, conforme os seguintes tópicos:

- Promover a visão de BIM;
- Escolha dos *softwares*;
- Reestruturação da infraestrutura informática;
- Plano de formação da equipa;
- BIP;
- Matriz interna de responsabilidades da equipa;
- Manual interno de modelação BIM.

#### 3.4.2.1 Visão de BIM

Uma visão concisa e estruturada por parte da administração é essencial para o sucesso da implementação do BIM. A visão deve descrever o que a adoção da metodologia BIM trará para a organização, quais são os principais elementos da transformação e como será a evolução nas diferentes fases (Autodesk, 2017). Assim, para criar uma adequada visão do BIM, devem-se ter em consideração os seguintes aspetos:

- A visão deve ser abrangente e ambiciosa, para conquistar os diferentes sectores da organização;
- A administração precisará de entender o BIM e considerar o seu impacto na criação de estratégias corporativas;
- Quem, o quê, quando, onde e porquê, darão a cada sector da organização, os detalhes dos objetivos da visão BIM;
- Dividir as tarefas iniciais e estabelecer metas que ajudem a organização, a superar a paralisia inicial de algo visto como uma tarefa monumental.

#### 3.4.2.2 Avaliação do *software* de modelação BIM

Após a análise da organização, elabora-se a lista dos diversos *softwares* de documentação e de colaboração, compatíveis com a metodologia. Com base na avaliação da comissão técnica, define-se a lista final dos *softwares* de documentação e de colaboração para a sua aquisição.

Um dos pontos mais importantes na implementação da metodologia BIM em projetos de estruturas é a escolha do *software* de modelação BIM. Este deve apresentar diversos fatores relevantes para a metodologia, tais como produção de peças desenhadas, obtenção de mapas de quantidades, interoperabilidade com o *software* de análise estrutural e *softwares* de coordenação, através da geração de modelos 3D. No mercado existem diversos *softwares*, muitas vezes de características semelhantes, o que em muitos casos pode criar um problema acrescido para a decisão final.

A aquisição do *software* de modelação BIM torna-se assim num dos fatores mais importantes para a implementação da metodologia porque passa a ser a peça central da metodologia, com os outros *softwares* a interagirem com este último (Figura 3.7). O planeamento fica dependente da escolha *software* de modelação, para estabelecer a preparação da reestruturação da infraestrutura informática e o plano de formação.

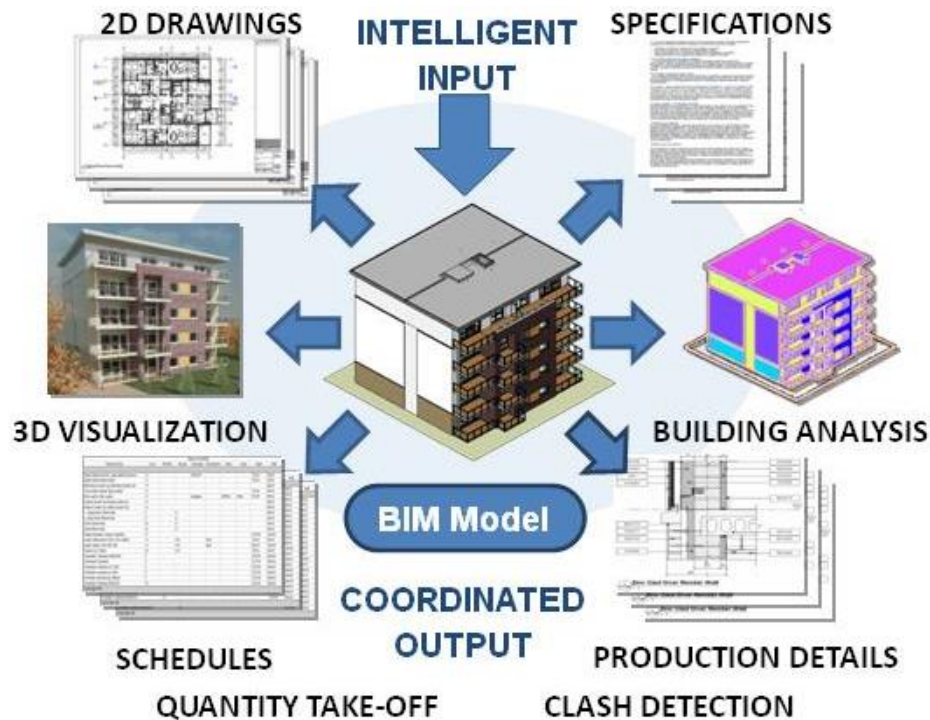


Figura 3.7 – Extração de informação da Modelação BIM (Crowley, 2013).

A decisão de qual o *software* de modelação BIM a ser utilizado, pode ser feito através de uma matriz, onde se colocam os tópicos mais importantes para análise, dando uma cotação por exemplo de 1 a 5, a cada um desses tópicos (Arayici et al., 2011). A seleção de quais os tópicos a estabelecer na matriz vai depender da utilização que vai ser dada ao *software*; neste caso específico do projeto de estruturas, pode-se detalhar alguns dos seguintes tópicos:

- Custos/benefício de licenças;
- Gestão de subscrições;
- Assistência de suporte;
- Licenças de *network/cloud*;
- Interoperabilidade entre os *softwares* BIM;
- Gestão de APIs;
- Expansibilidade;
- Criação de *templates*;
- Gestão de bibliotecas;

- Facilidade de modelação;
- Facilidade de parametrização e programação;
- Facilidade de gerar elementos complexos;
- Flexibilidade;
- Tipo de projetos;
- Interface;
- Obtenção de peças desenhadas;
- Obtenção de mapas de quantidades;
- Outros.

### 3.4.2.3 Reestruturação da infraestrutura informática

Um projeto BIM produz uma elevada quantidade de informação, a qual se encontra guardada num único ficheiro. Para que a informação esteja disponível e o seu acesso se processe de maneira rápida, é necessária uma infraestrutura informática com grande capacidade de processamento para responder a estas solicitações. Para obter um bom aproveitamento dos *softwares*, é necessário *hardware* compatível, considerando a dimensão do projeto e da utilização BIM. O investimento em *hardware* tem o mesmo grau de importância que a aquisição do *software*, pelo que podem ocorrer em simultâneo (AsBEA, 2013).

Diferente do processo tradicional, a quantidade de informação gerada em processos BIM solicita maior velocidade de comunicação de dados. Sugere-se manter a estrutura da rede sempre atualizada com as melhores especificações de mercado. Recomenda-se um servidor que seja compatível com a velocidade da infraestrutura informática e que consiga processar as informações dos projetos simultaneamente. Assim como a rede, o servidor tem relação direta com o desempenho e o tempo de espera do processamento. Com a capacidade e oportunidade de utilizar cada vez mais ferramentas na nuvem (*cloud computing*) e para que a troca de ficheiros entre as organizações não se torne algo que perturbe o processo, é indicada a utilização de internet com elevada velocidade (AsBEA, 2013).

Neste sentido, é importante ter um plano de aquisição e renovação de equipamentos e de licenças, a fim de aproveitar todos os recursos delineados nas plataformas de compra e equipamentos necessários para a implementação da metodologia BIM. Assim, o cronograma de compras também tem que ser planeado de acordo com os objetivos definidos e a empresa informática é responsável por instalar as licenças e configurar a rede da *intranet* organizacional. Desta forma, será possível oferecer um serviço de venda de licenças (por meio de um distribuidor estratégico de programas parceiros) ou deixar a opção em aberto para a organização (Rivera, Vielma, Herrera, & Carvallo, 2019).

#### 3.4.2.4 Plano de formação da equipa

Com base na escolha dos *softwares*, o passo seguinte, é a escolha dos colaboradores que devem fazer a formação em BIM. O número de colaboradores a incluir nesta fase, está dependente da dimensão da organização. Em pequenas organizações, o planeamento pode ser mais fácil de executar e incluir todos os colaboradores; em médias e grandes organizações, o melhor método pode passar pelo faseamento de várias equipas em diversos intervalos de tempo, de modo a não interromper os processos em curso na organização, podendo esta estabelecer alguns parâmetros para o plano de formação dos seus colaboradores (Morrical, 2015), como os indicados a seguir:

- Definir metas: um plano de formação de sucesso deve ter objetivos bem definidos. Pensar no que pretende em termos do BIM para a equipa;
- Escolha dos temas críticos: definir quais são os temas críticos e quais os que podem ser abordados com menos importância;
- Planear a programação: decidir quando realizar as sessões de formação e qual o intervalo de tempo necessário para a formação.
- Envolvimento de todos: convidar a equipa para fornecer informações sobre o conteúdo do currículo, envolver os colaboradores durante as discussões em grupo e encorajar todos a fazerem perguntas dará um sentido de propriedade da formação e aumenta a eficácia.
- Promover a educação contínua: há uma razão para que organizações exijam educação contínua; porque sem progresso constante, as competências podem enfraquecer.

#### 3.4.2.5 Matriz interna de responsabilidades da equipa





Na ISO 19650, a matriz de responsabilidades identifica quais as informações que devem ser produzidas, quando e com quem as informações devem ser trocadas e qual a equipa que é responsável pela sua produção. Esta matriz contém a responsabilidade indicada para cada elemento do modelo de informação e os principais produtos associados a cada elemento, conforme podem ser identificados nos dados de informação e/ou fornecidos de acordo com o padrão de informação (Ford, 2020a).

A definição da matriz interna de responsabilidades da organização, deve ter em conta as atribuições das funções e as responsabilidades dos colaboradores da equipa. Esta matriz é documento importante porque auxilia na definição das equipas para o projeto de BIM e a projetar as equipas, quando for necessário a sua inclusão no BEP.

Após a formação da equipa, a organização pode avaliar e definir as novas funções e responsabilidades dos colaboradores, estas estão dependentes do tipo e dimensão das

organizações. Em organizações de média e grande dimensão, provavelmente existirão mais funções do que nas organizações de pequena dimensão. No Quadro 3.1 indica-se a título de exemplo algumas dessas novas funções e responsabilidades.

**Quadro 3.1** – Funções e responsabilidades dos colaboradores, adaptado de (Rivera et al., 2019).

Função	Responsabilidades	Modelo
Líder BIM	Responsável pela implementação do BIM, definindo protocolos e orientação do BIP, estipula as funções e responsabilidades dos colaboradores.	
Gestor BIM (Manager)	Responsável pela validação e gestão do modelo BIM. Faz a gestão entre os diferentes modeladores e especialidades - deve cumprir o BEP e estar plenamente ciente dos padrões BIM, normas e regulamentos.	
Engenheiro de projeto BIM	Profissional que realiza modelação e análise estrutural, com competências para desenvolver parcial ou totalmente o trabalho de BIM e plataformas computacionais.	
Modelador BIM	Responsável pelo desenvolvimento de modelos BIM. Deve ter um amplo domínio relacionado às ferramentas BIM e um amplo conhecimento da disciplina modelada.	

#### 3.4.2.6 Plano de implementação BIM (*BIM Implementation Plan - BIP*)

O BIP aborda as utilizações BIM pretendidas no projeto, delinea funções e responsabilidades de cada organização. O BIP define os detalhes e o âmbito das informações a serem modeladas e partilhadas, bem como os processos relevantes, a configuração da equipa e as regras de compromisso (Figura 3.8). Este documento, conjuntamente com a matriz interna de responsabilidades, regem o modo como a metodologia BIM se desenvolve na organização. Mudanças no BIP serão incorporados após o gestor BIM e a equipa de projeto chegarem a um consenso e será partilhado como uma versão atualizada do documento. Este documento visa estabelecer metas e esforços de coordenação das partes interessadas, ao mesmo tempo em que delinea os processos, fluxos de trabalho e gestão do BIM (Blanks, Eling, & Hanks, 2014).

O BIP planeia a implementação na organização através dos seguintes tópicos:

- Descreve as políticas, processos, objetivos e estratégias que o Gestor BIM implementa na organização, de forma a garantir que os fluxos de trabalho, sejam geridos com sucesso de acordo com os requisitos do BEP;

- Documenta as estratégias e métodos para garantir que todos os requisitos do projeto relacionados ao BIM estejam disponíveis para a equipa;
- Descreve como a equipa BIM desenvolve, monitoriza e controla as informações e modelos durante as diversas fases de entrega dos projetos; portanto, é importante que o BIP seja desenvolvido com o auxílio da equipa de projeto, assim todos devem de estar envolvidos para um melhor conhecimento da estratégia BIM e definição dos processos, antes de iniciar as atividades BIM;
- Relevância nas fases de planeamento e implementação do BIM na organização, logo, deve ser revisto e atualizado ao longo da implementação da metodologia.

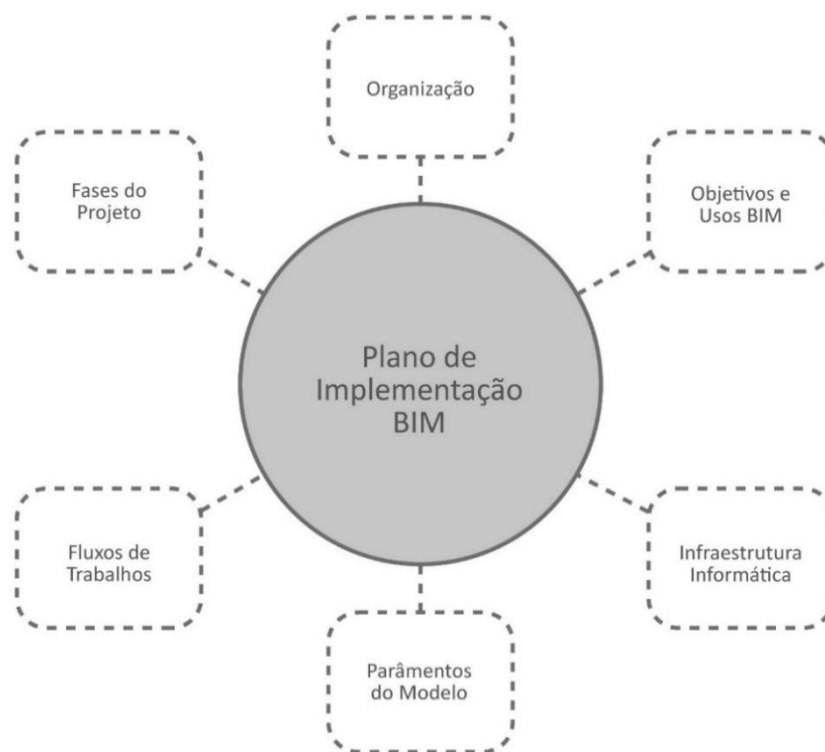


Figura 3.8 – Diagrama do BIP, adaptado de (Zigurat Global Institute of Technology, 2019).

Deve constar no Plano de implementação BIM (Blanks et al., 2014):

- Glossário;
- Introdução e apresentação da organização;
- Objetivos e utilizações do projeto BIM;
- Infraestrutura informática;
- Parâmetros do modelo;
- Fluxos de trabalhos;
- Fases de projeto.

### 3.4.2.7 Manual de modelação BIM da organização

O culminar da transição reside na criação de um manual interno BIM que permita conduzir todos os colaboradores aos objetivos a que a organização se propõe. A existência de um manual interno torna-se muito importante quando confrontado com a inexistência de uma normalização nacional ou europeia que dê resposta aos problemas, estando assim redigidas as ações a tomar no desenvolvimento dos projetos de construção (Pereira, 2016).

O manual de modelação BIM da organização é um documento, que contém os padrões adotados, os processos de fluxo de trabalho, as orientações básicas de procedimentos e os critérios para o desenvolvimento das atividades do *software* de modelação utilizado pela organização.

O manual de modelação BIM da organização, pode ser uma adaptação do manual da metodologia CAD, porque a organização tem os padrões definidos e experiência com projetos. No entanto, é um documento, que deve ser constantemente revisto e atualizado, para estar de acordo com novas exigências e futuras orientações dos serviços a prestar (Experts, 2019).

As secções abordadas no Manual de modelação BIM da organização podem ser as seguintes:

- Glossário e apêndice.
- Informação geral;
- Requisitos e utilizações do BIM no modelo 3D;
- Padrão de nomenclatura de objetos;
- Biblioteca de famílias e materiais;
- Parâmetros do modelo 3D;
- Definições do tipo de projeto;
- Produção de peças desenhadas e mapa de quantidades;
- Colaboração interna e externa.

O manual BIM, estabelece regras desde as boas práticas de modelação, transferência do modelo analítico, representação das peças desenhadas de acordo com as normas, a melhor forma de obter quantidades, a formatação das entregas, planos de comunicação e colaboração com as diversas disciplinas, etc.

### 3.4.3 **Fase 3 – Implementação**

Para implementar a metodologia seguem-se os tópicos elaborados no planeamento. De grande relevância é a escolha do *software* de modelação BIM, adequando a infraestrutura

informática com os requisitos necessários e a definição da equipa para a formação. A plena integração do BIP só é possível com a decisão da administração e o envolvimento de toda a equipa de modo a implementar os tópicos do planeamento. O BIP está dependente da escolha do *software* de modelação, da reestruturação da infraestrutura de informática e da futura equipa BIM. Recomenda-se a realização de um manual de BIM para auxiliar o desenvolvimento do projeto, estruturando as informações (dados) e os processos necessários para o seu desenvolvimento, estabelecendo padrões de representação, planeamento e gestão.

#### 3.4.3.1 Escolha do *software* de modelação BIM

Neste trabalho a tomada de decisão do *software* de modelação para projetos de estruturas consistiu no Revit da *Autodesk*, uma vez que o *software* está disponível para estudantes através da inscrição no site da empresa. A tomada de decisão teve em conta a formação adquirida em Revit.

O Revit é um *software* com muita expressão na temática BIM, sendo um produto multidisciplinar e com uma enorme comunidade, tornando-se assim num produto de grande preponderância no mundo BIM.

O Revit é um *software* multidisciplinar, criado para a arquitetura, engenharia e MEP (*Mechanical, Eletrical, Pumbling e Piping*). Foi desenvolvido pela *Revit Technology Corporation*, inicialmente chamada de *Charles River Software*, fundada em 1997 e renomeada em 2000. O Revit foi adquirido pela *Autodesk* em 2002 e, em maio desse ano lança o Revit 4.5 sendo a primeira versão sob a alçada da *Autodesk* com um novo conteúdo paramétrico e recursos de relatório que melhoram a coordenação da construção e a precisão na estimativa de custos, economizando tempo e custos do projeto.

Desde 2002 até aos dias de hoje, houve uma enorme evolução no *software* de modelação Revit, que atualmente se encontra na versão 2022, são mais de 20 versões apresentadas pela *Autodesk* ao longo destes anos.

O modelo em Revit assenta numa base de dados guardada num único ficheiro, o qual pode ser partilhado entre os vários colaboradores. Plantas, cortes, alçados, legendas e tabelas estão todas interconectados, e se um colaborador fizer uma alteração numa planta, as outras serão atualizadas automaticamente. Portanto, as peças desenhadas e as tabelas do Revit estão sempre totalmente coordenadas em termos dos objetos de construção mostrados nas peças desenhadas.

### Vantagens do Revit:

- O Revit produz modelos virtuais para a coordenação e documentação, e modelos analíticos associados para a análise estrutural;
- Modelos de betão armado 3D num ambiente de BIM, com documentação de peças desenhadas, de plantas, cortes e pormenorização de armaduras;
- Fluxos de trabalho de estruturas metálicas e de pormenorização, definindo o projeto para um nível mais elevado de pormenor para ligações metálicas no modelo de Revit;
- Ligações com um nível superior de pormenor, utilizando uma variedade de ligações metálicas paramétricas no Revit e a criação das próprias ligações metálicas personalizadas;
- Documentação detalhada e precisa de projetos de estruturas metálicas e de betão armado;
- O *software* de programação visual *Dynamo* fornece ferramentas aos engenheiros estruturais, projetistas e modeladores, para construírem estruturas com pouco esforço e criarem as suas próprias ferramentas de programação;
- Exporta para as aplicações de análise estrutural o modelo analítico, enquanto cria o modelo paramétrico no Revit;
- O modelo analítico é uma representação 3D simplificada da descrição completa de engenharia de um modelo paramétrico estrutural. O modelo analítico consiste nestes componentes estruturais, geometrias, propriedades do material e cargas, que juntos formam um sistema de engenharia;
- O alinhamento analítico compreende um número de diferentes opções disponíveis para colocar o modelo analítico em relação a si mesmo e a outros elementos analíticos, existem dois métodos de alinhamento analítico: deteção automática e projeção;
- Algumas configurações estruturais não são adequadas à integração direta com o *software* de análise e projeto, o ajuste adaptativo é requerido antes de um modelo paramétrico ser inserido no *software* de análise e projeto;
- Aplicação de cargas estruturais no modelo analítico;
- Utilização das condições limites para comunicar os princípios de engenharia sobre as condições de suporte para pacotes de *software* de análise;
- As ferramentas para verificação de consistência analítica fornecem avisos nas primeiras fases do projeto sobre a estabilidade da estrutura;
- Integração de projetos com um *software* de análise e projeto através de uma API, onde é possível efetuar alterações de dimensão e modificações geométricas ao modelo, as alterações podem incluir a exclusão, realocação ou adições.

### Desvantagens do Revit:

- Determinadas ações que acontecem com alguma frequência que podem perturbar um pouco, por exemplo, muitas vezes, os cortes e as vistas geradas pelo Revit a partir das plantas, necessitam de ajustes;
- Alguns utilizadores definem como desvantagem o facto, de que antes iniciar a modelação, e para que tudo esteja funcional, é necessário configurar diversos parâmetros e ter uma biblioteca bem desenvolvida;
- Os menus e os comandos do Revit, não são dos mais intuitivos. Para conseguir aproveitar as vantagens das ferramentas que disponibiliza, é necessária algum tempo e uma formação bem desenvolvida;
- No geral os projetos desenvolvidos em Revit são mais rápidos. Porém, para se adaptar e ganhar desempenho no *software* leva algum tempo até desenvolver a técnica adequada.

Somando os prós e contras, o *software* Revit é uma escolha razoável para projetos de estruturas tanto de betão armado, de estruturas metálicas, como das diversas especialidades da engenharia civil e de mecânica para empreendimentos.

Uma boa solução pode ser o pacote “*Architecture, Engineering & Construction Collection*” da *Autodesk*, onde para além do *software* Revit também se encontra o AutoCAD, o *Robot Structural Analysis Professional* (RSA), *Civil 3D*, *Navisworks Manage*, entre outros, é uma questão a ser ponderada quando se realizar o ROI na organização.

Com a decisão tomada pelo *software* de modelação, a metodologia deve-se focar ao redor deste, seja o Revit ou outro *software*. Deve-se adequar os requisitos necessários da infraestrutura informática, do plano de formação da equipa, da plataforma na nuvem, dos *softwares* de análise estrutural e de documentação, ao *software* de modelação escolhido estes têm de ser compatíveis com o *software* de modelação.

#### 3.4.3.2 Requisitos da Infraestrutura Informática

A infraestrutura informática deve alcançar os requisitos de etapa 2 da maturidade BIM, isto é estar de acordo com as normas para um ambiente 3D coordenado com dados anexados, e os modelos separados por disciplina. Para acomodar os processos BIM colaborativos, deve incluir quatro recursos fundamentais:

- Um espaço de trabalho de projeto partilhado para os membros da equipa de projeto e interoperabilidade com as diferentes disciplinas e coordenação BIM;
- Acesso controlado às informações armazenadas no CDE;

- Um processo de aprovação estruturado e configurável para controlar o fluxo de informações do projeto;
- Um processo para rastrear e gerir atividades relacionadas às informações e controlos do CDE.

A organização deve ter um acesso à *internet*, com as especificações requeridas do processo BIM em que está envolvida, as especificações devem de estar de acordo com as condições adequadas de mercado.

Para o acesso ao CDE, a organização deve ter um servidor adequado à plataforma BIM, de acordo com os requisitos de projeto que esteja em desenvolvimento.

As definições das *workstations/desktops* para o *software* escolhido podem variar conforme os requisitos das especificações do fornecedor de *software*, quando adquirir o mesmo.

#### 3.4.3.3 Definição da equipa BIM

A definição das funções e responsabilidades da equipa é realizada de acordo com os resultados obtidos da formação, a importância da gestão da equipa é fundamental para o sucesso da implementação da metodologia BIM.

#### 3.4.3.4 Fluxos de trabalho BIM

O presente trabalho não tem como objetivo de definir os novos fluxos de trabalho de forma extensiva, mas sim de referir algumas boas práticas e identificar um conjunto de recomendações que possam servir de base a futuros projetos.

As organizações têm de se adaptar ao novo ambiente de trabalho digital que obriga a uma maior estruturação e normalização da organização, dos processos e da informação partilhada, do que os processos tradicionais. Clarificando deste modo a essência dos projetos BIM e garantindo que todos os intervenientes se adaptam aos novos processos e fluxos de trabalho. Para garantir um bom alinhamento com as melhores práticas, devem ser tidas em consideração as recomendações da série ISO 19650 e do Guia da Contratação BIM, publicado pela Comissão Técnica de Normalização BIM nacional (CT197-BIM). A ISO 19650-2 aborda o processo de gestão de informação ao longo de um empreendimento de construção, que atualmente é considerada como uma das normas de referência internacional no âmbito do BIM (Júlio, 2020).

Na Figura 3.9 representam-se as diversas fases de um empreendimento no contexto da gestão da informação com base na ISO 19650-2.



Figura 3.9 – Diagrama dos fluxos de trabalho da ISO 19650-2, adaptado de (Júlio, 2020; Muñoz, 2019).

Evidencia-se na Figura 3.9 uma orientação para a introdução progressiva da metodologia BIM nos empreendimentos de construção em geral, em que, a gestão de projetos se baseia na ISO 19650 e envolve 8 etapas:

1. Avaliação e necessidades;
2. Preparação de concurso;
3. Resposta do concurso;
4. Contrato;
5. Mobilização;
6. Produção colaborativa de informação;
7. Entrega do modelo de informação;
8. Fecho do Projeto.

As 8 etapas são englobadas em 3 fases, que são a contratação, o planeamento da informação e a produção de informação.

A parte contratante começa por realizar a avaliação das necessidades, garantindo que os requisitos de informação estão claramente definidos no início do projeto, juntamente com a forma como os conceitos e princípios do projeto deve ser implementada a gestão da informação e os benefícios esperados dela.

Os requisitos de informação são um conjunto de especificações sobre: a informação que deve ser produzida, quando deve ser produzida, o seu método de produção e o seu destinatário. Os requisitos podem ser classificados como:

- OIR: Requisitos de Informação da Organização em relação aos seus objetivos;
- PIR: Requisitos de informações do projeto relacionados ao seu desenvolvimento;
- EIR: Requisitos de intercâmbio de informações entre duas partes sujeitas a um contrato.

A parte contratante deve explicar os principais motivos pelos quais as informações são solicitadas, e assim, oferecer uma melhor compreensão do trabalho colaborativo a ser realizado; o Quadro 3.2 mostra alguns desses requisitos e documentos.

Cada parte contratada (por exemplo, projetista, empreiteiro, fiscalização) deve responder aos requisitos de informação, ao enviar propostas com o seu BEP, antes da contratação, indicando quem, quando e como as informações que atendam aos pré-requisitos que serão desenvolvidos.

**Quadro 3.2** – Exemplos de requisitos e documentos a contemplar pelos intervenientes do projeto BIM.

Conceito original ISO 19650	Tradução
<i>Organizational Information Requirements, OIR</i>	Requisito de informação relativos à organização
<i>Project Information Requirements, PIR</i>	Requisito de informação relativos ao projeto
<i>Common Data Environment CDE</i>	Ambiente de dados comum
<i>Exchange Information Requirements, EIR</i>	Requisito de partilha de informação
<i>PIM Project Information Model, PIM</i>	Modelo de informação do projeto
<i>Responsibility Matrix</i>	Matriz de responsabilidade
<i>Level of Information Need</i>	Nível de informação necessário
<i>BIM Execution Plan, BEP</i>	Plano de execução BIM
<i>Task Information Delivery Plan, TIDP</i>	Programa de entrega de informação de tarefas
<i>Master Information Delivery Plan, MIDP</i>	Programa geral de entrega de informação

### **Plano de execução BIM, (BIM *execution plan* - BEP)**

O plano de execução de BIM é estabelecido pela parte contratada principal para a equipa de desenvolvimento e deve conter os seguintes elementos:

- Os nomes e o perfil profissional das pessoas que exercerão a função de gestão da informação;
- A estratégia de entrega de informações;
- A estratégia de federação dos modelos de informação;

- A matriz de responsabilidades, que descreve a participação de várias funções, na execução de tarefas ou no fornecimento de produtos;
- Os métodos e procedimentos de produção de informações do projeto;
- O padrão de informações do projeto;
- A infraestrutura tecnológica (aplicações *software* e *hardware*) a ser adotada.

Uma vez mobilizados os recursos necessários conforme definido no plano de execução de BIM, inicia-se a atividade de produção de informação colaborativa.

### Ambiente de dados comum, CDE

Para trabalhar de forma colaborativa, é necessário ter um ambiente de dados comum (CDE). O CDE é a fonte acordada de informações para cada ativo ou projeto, para reunir, gerir e distribuir cada recetor de informação por meio de um procedimento estabelecido. De acordo com este procedimento, as informações contidas no CDE podem ter diferentes *status* (ver Figura 3.10):

- *Status* de trabalho em andamento (WIP). Aplica-se às informações que estão sendo desenvolvidas pela equipa de trabalho.
- Estado partilhado (S). Aplica-se a informações que podem ser consultadas por todas as partes apropriadas.
- *Status* publicado (P). Aplica-se a informações que foram autorizadas para serem utilizadas.
- *Status* do ficheiro (ARC). Aplica-se a informações que foram partilhadas e publicadas e são registadas.

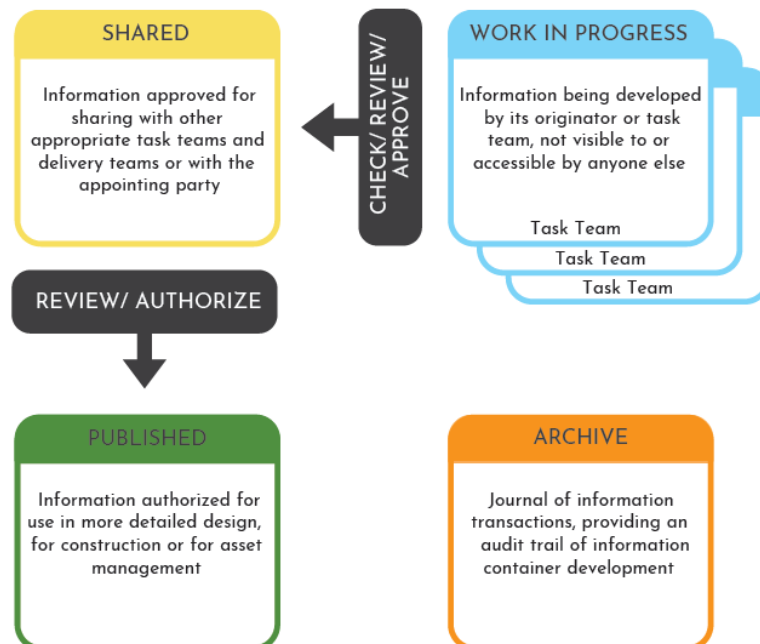


Figura 3.10 – Diagrama dos *status* das informações contidas no CDE, adaptado de (Ford, 2020b).

A parte contratante tem a responsabilidade de prover o Ambiente Comum de Dados (CDE) para cada projeto, seja diretamente ou por meio de um terceiro, como por exemplo um dos contratados.

Uma vez realizada a produção colaborativa de informação, dá-se início à atividade de entrega do modelo de informação.

O TIDP (*Task Information Delivery Plan*), inclui todas as informações do projeto e o cronograma de entrega. Representa uma lista abrangente do modelo de informação, peças desenhadas, renderizações, especificações, relatórios, equipamentos, cronogramas, mapa de quantidades, etc. A equipa de projeto é responsável por desenvolver o TIDP, após a sua conclusão, é colocado no CDE para ser integrado no MIDP (*Master Information Delivery Plan*).

### **Modelo de informação**

O modelo de informação é um conjunto constituído por informação estruturada (modelos geométricos, propriedades e atributos, horários, etc.) e informação não estruturada (documentos, imagens, vídeos, etc.) que facilitam a tomada de decisões.

O modelo de informação pode ser composto por um conjunto de modelos de disciplina ou projetos parciais (arquitetura, estrutura, instalações, etc.), organizados de forma que possam ser adequadamente federados para facilitar a colaboração durante o desenvolvimento do projeto.

Por outro lado, os modelos de informação que podem ser considerados como entregáveis podem ser classificados como:

- PIM: Modelo de informação do projeto relacionado à fase de desenvolvimento;
- AIM: Modelo de informação do ativo relacionado à fase de operação.

#### **3.4.3.5 Disposições gerais sobre projeto de edifícios**

Com base na (Portaria n.º 701-H/2008), descrevem-se resumidamente as fases de projeto:

**Programa Preliminar** – Programa na qual o dono de obra e o autor do projeto discutem o que vai ser projetado, com as condicionantes orçamentais. São analisados os constrangimentos legais e planos em vigor. São discutidos os prazos de elaboração do projeto, constituição da equipa de projeto e os condicionalismos do mesmo.

O dono de obra deverá entregar, nesta fase, o Levantamento Topográfico, bem como, se assim for o caso, o Levantamento Arquitetónico do existente.

**Fases de um Projeto**, o projeto desenvolve-se de acordo com as fases a seguir indicadas, podendo, algumas delas, ser dispensadas de apresentação formal, por especificação do caderno de encargos ou acordo entre o dono da obra e o projetista:

- a) **Programa base** - documento elaborado pelo projetista a partir do programa preliminar resultando da particularização deste, visando a verificação da viabilidade da obra e do estudo de soluções alternativas, o qual, depois de aprovado pelo dono da obra, serve de base ao desenvolvimento das fases posteriores do projeto;

Com a definição da zona de construção, deve ser pedido o estudo geológico-geotécnico.

- b) **Estudo prévio** - documento elaborado pelo projetista, depois da aprovação do programa base, visando a opção pela solução que melhor se ajuste ao programa, essencialmente no que respeita à conceção geral da obra. Normalmente, consiste na apresentação de peças desenhadas a diferentes escalas. Alguns vezes são apresentadas maquetas de estudo e/ou simulações tridimensionais do proposto, de modo a facilitar a compreensão do mesmo por parte do dono de obra.
- c) **Anteprojeto ou projeto base** (Fase licenciamento) - documento a elaborar pelo projetista, correspondente ao desenvolvimento do estudo prévio aprovado pelo dono da obra, destinado a estabelecer, em definitivo, as bases a que deve obedecer a continuação do estudo sob a forma de projeto de execução. Em simultâneo ou posteriormente ao licenciamento do projeto de arquitetura, proceder-se-á à entrega dos restantes projetos de especialidades legalmente exigidos para aprovação.
- d) **Projeto de execução** - documento elaborado pelo projetista, a partir do estudo prévio ou do anteprojeto aprovado pelo dono da obra, destinado a facultar todos os elementos necessários. - Após a aprovação por parte das entidades públicas dos diversos projetos [arquitetura e especialidades], inicia-se a preparação do projeto de execução, apresentado sob a forma de peças escritas e desenhadas, de fácil interpretação por parte dos diversos intervenientes na sua materialização e onde se especifica todos os trabalhos necessários para a execução da obra. Em paralelo, inicia-se o processo de medições e orçamento, onde se discrimina todas as quantidades de materiais a utilizar, tipos de trabalho e forma de execução, de modo a poder aferir-se o valor da obra. A partir destes dois documentos - projeto de execução e medições e orçamento – elabora-se o caderno de encargos, documento escrito que especifica as condições técnicas gerais e especiais de construção e vincula o empreiteiro às demais condições da obra.

### 3.4.3.6 IPD (*Integrated Project Delivery*)

A Curva *MacLeamy* (Figura 3.11) ilustra o conceito de tomada de decisões, no início do projeto, quando a oportunidade de influenciar resultados positivos é maximizada e o custo das mudanças minimizado, especialmente no que diz respeito às funções de projetista e consultor de projeto (WP-1202, 2004).

Além de mudar a tomada de decisão do projeto, a redefinição das fases é impulsionada por dois conceitos-chave:

- A integração da entrada inicial de empreiteiros, instaladores, fabricantes e fornecedores, bem como de projetistas;
- A capacidade de modelar e simular o projeto com precisão usando ferramentas BIM.

Estes dois conceitos permitem que o projeto seja levado a um nível muito mais alto de conclusão antes do início da fase de documentação.

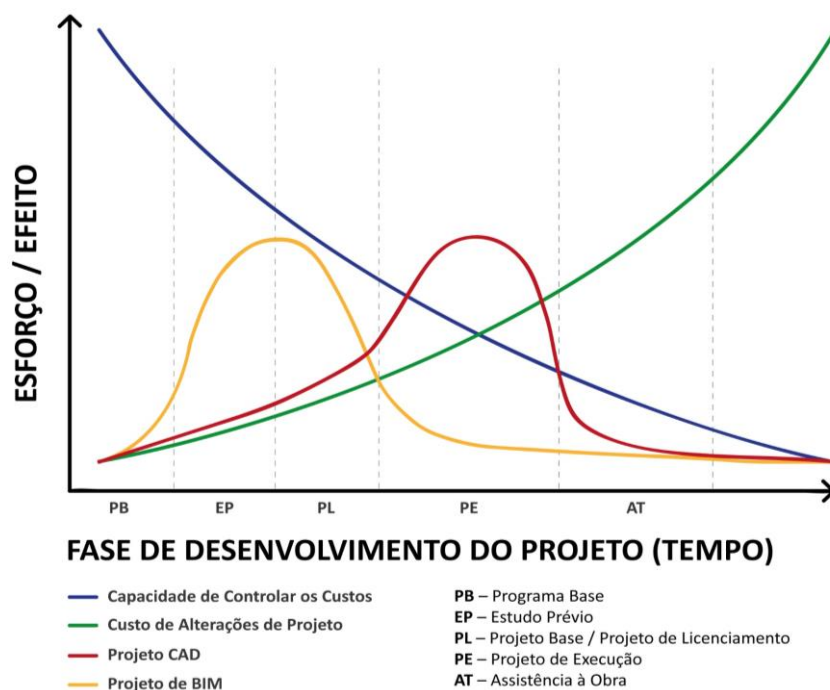


Figura 3.11 - Curva de *MacLeamy* em BIM (WP-1202, 2004).

As três primeiras fases do IPD: Programa base, estudo prévio e anteprojeto envolvem mais esforço do que os seus similares no fluxo de trabalho tradicional.

Este nível mais elevado na conclusão das fases iniciais de projeto significa que a próxima fase, o projeto de execução, requer menos esforço do que a fase similar do fluxo trabalho tradicional. A participação antecipada de entidades reguladoras, empreiteiros e fabricantes permite a redução de tempo na quinta e sexta fase, a revisão de projeto e o

concurso também (Figura 3.12). O resultado é que o projeto é definido e coordenado num nível mais elevado (antes do início da construção), do que é típico com os métodos de entrega tradicionais, permitindo uma fase de construção mais eficiente e um período de construção potencialmente mais curto. As fases do IPD são concluídas no encerramento do projeto (AIA, 2007).

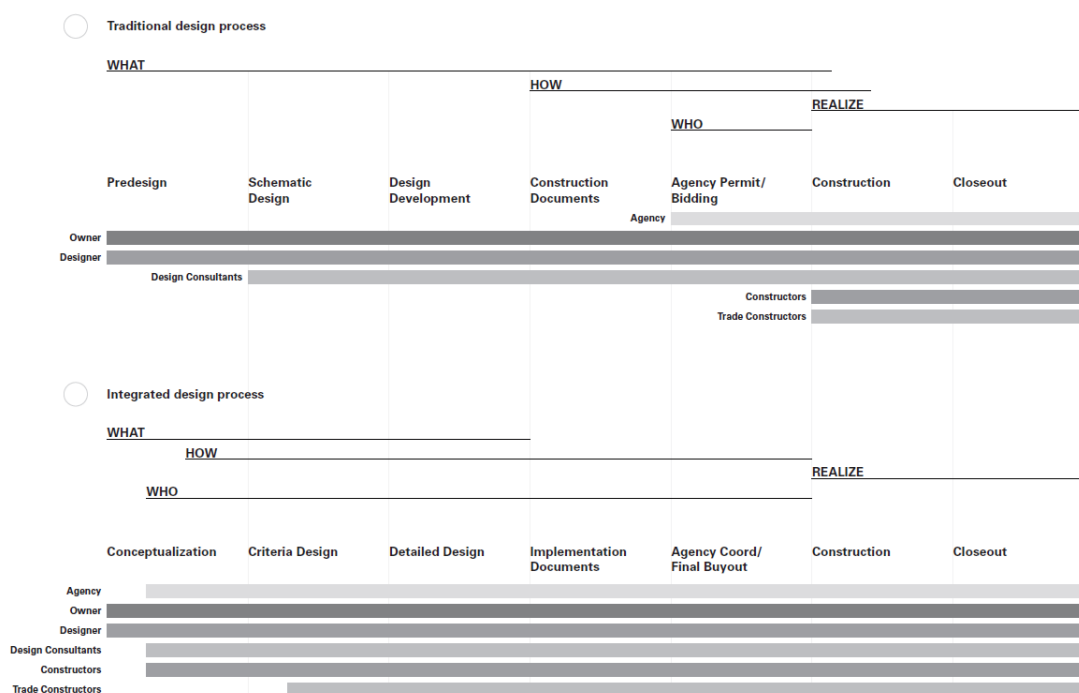


Figura 3.12 – Processos de projeto tradicional vs. projeto integrado (AIA, 2007).

### 3.4.4 Fase 4 - Avaliação

Nesta fase é avaliado o desenvolvimento da implementação da metodologia BIM. Os resultados da análise à metodologia, serão discutidos depois da execução do projeto-piloto, no quarto capítulo, no ponto (4.9).

## 3.5 Considerações finais

Não existe um padrão para implementar a metodologia BIM em projetos de estruturas as organizações, para iniciar este novo paradigma que é o BIM, devem estruturar e planejar a transição com o devido cuidado.

As atividades pré-BIM, não são só importantes na fase de transição da metodologia BIM, mas também quando houver novas mudanças, quer de *softwares* como de *hardware*. A metodologia BIM estará sempre em frequente evolução, serão necessárias novas avaliações de investimento e até uma possível mudança de estratégia, estas atividades projetam os benefícios/barreiras das estratégias a serem definidas.

As atividades BIM resultam sempre da tomada de decisão por parte da administração, o planeamento e a implementação têm sempre como objetivo a adequação dos novos procedimentos da metodologia. Os procedimentos estão sempre desenvolvimento aberto, a constante evolução da tecnologia, o constante desenvolvimento da normalização, fazem com esta metodologia esteja sempre em transformação.

As organizações devem estar sempre preparadas para mudanças quer seja para BIM ou para outras metodologias. A evolução e a mudança fazem parte da característica humana, embora exista sempre a parte resistente à mudança.

A metodologia BIM está progressivamente a implementar-se no mercado e em muitos países conta com uma elevada expressão. Portugal está atrasado em relação a diversos países europeus, porque ainda está numa fase de desenvolvimento da normalização, mas com a disseminação das normas, guias e protocolos, o panorama atual poderá mudar.

## 4 PROJETO-PILOTO

### 4.1 Considerações iniciais

Definido o planeamento da metodologia, é o momento adequado para abordar os principais aspetos associados à realização de um projeto-piloto. Os futuros projetistas em ambiente BIM podem adotar várias opções, através de um projeto fictício, de um projeto existente para comparar com a metodologia 2D/CAD, ou de um projeto novo para um cliente. O projeto-piloto deve incluir avaliações em todas as fases de projeto, para demonstrar que a metodologia BIM melhorou o processo de projeto. Os benefícios positivos, de cada processo, também devem ser documentados para auxiliar no cálculo de retorno do investimento (Autodesk, 2017).

Tal como na transição dos estiradores de desenho para o 2D/CAD, a transição para BIM, origina uma quebra de produtividade na fase inicial, durante o processo de implementação da metodologia. Deve-se definir as expectativas desde o início do processo, estabelecer um roteiro e fornecer um plano de formação apropriado para os colaboradores (Autodesk, 2017).

O projeto-piloto, auxilia na avaliação dos fluxos de trabalho BIM, na recolha de informação e opiniões do progresso da equipa envolvida, para aperfeiçoar a implementação e facilitar o planeamento dos processos na organização.

No presente trabalho a realização do projeto-piloto, segue o alinhamento das atividades da ISO 19650, na perspetiva do projeto de estruturas em BIM.

Pretende-se, com projeto-piloto, a produção de um modelo 3D de estruturas, para reproduzir peças desenhadas e mapas de quantidades, a interoperabilidade com o projeto de arquitetura, e a avaliação da integração com os *softwares* de análise estrutural.

Posteriormente avalia-se os resultados obtidos dos pontos anteriores, com a análise da escolha do *software* de modelação, e dos novos fluxos de trabalho. Para evidenciar os benefícios da implementação da metodologia.

### 4.2 Fases de gestão do projeto BIM (ISO EN 19650-2:2018)

A ISO EN 19650-2:2018, engloba oito etapas, com três fases distintas: a contratação, o planeamento da informação e a produção da informação, a realização do projeto-piloto insere-se na última fase.

Na 1ª etapa de avaliação e necessidades, pode-se estabelecer um conjunto de requisitos essenciais para a realização do projeto, dependendo da sua dimensão:

- O gestor de projeto;
- Os requisitos de informação do projeto (PIR) e requisitos de troca de informações (EIR);
- As diversas fases de entrega de informação (sem datas definidas, com base na Portaria n.º 701-H/2008);
- Trocas de informação;
- Os procedimentos e métodos;
- Os requisitos de partilha de informação;
- O CDE (Ambiente Comum de Dados);
- O protocolo da informação de projeto.

#### **4.2.1 Fase da contratação**

As 2ª e 3ª etapa, são a preparação do concurso e resposta ao concurso, respetivamente. Estas etapas estão incluídas na fase de contratação, em resumo, a parte contratante coloca a documentação necessária no CDE, para os projetistas e outros intervenientes formalizarem a resposta ao concurso, com os dados disponíveis. Nesta fase estabelece-se o pré-BEP, a proposta do plano de mobilização e o registo para riscos da mobilização, entre outros documentos.

#### **4.2.2 Fase de planeamento da informação**

As 4ª e 5ª etapa, são o contrato e mobilização, respetivamente. Estas etapas estão incluídas na fase do planeamento da informação, em resumo, a parte contratante adjudica as diversas propostas aos projetistas, celebrando o contrato. Segue-se a confirmação do pós-BEP, a definição da matriz de responsabilidades da equipa, estabelece-se os requisitos de troca de informação do coordenador da parte contratada, e os diversos documentos de contrato. Aprova-se o plano de mobilização, mobiliza-se os recursos e tecnologias de informação, e a realização do teste dos procedimentos de produção de informação.

#### **4.2.3 Fase de produção da informação**

As 6ª e 7ª etapa, são a produção colaborativa da informação e a entrega do modelo de informação, respetivamente. Estas etapas estão incluídas na fase de produção da informação, em resumo, a sexta etapa tem como finalidade a produção dos vários modelos 3D, é um processo de colaboração entre os diversos intervenientes do projeto, a sétima

etapa procede-se à entrega do modelo; como o projeto é um processo faseado tem-se várias entregas ao longo do projeto.

A oitava etapa é o fecho do projeto, é o término da gestão das fases de projeto e da construção, dando início à fase de operação do empreendimento.

No protocolo da metodologia BIM é indispensável a colaboração entre as diversas disciplinas, aumentando a eficiência, qualidade, e diminuindo prazos e custos associados ao empreendimento.

### 4.3 Informação do projeto

Após a logística contratual e a mobilização da tecnologia, inicia-se a produção do modelo de estruturas. Acedendo à plataforma do CDE, obtêm-se as informações relativo ao empreendimento, entre as quais:

- Localização do projeto;
- Levantamento topográfico do local (se existir);
- Projeto de arquitetura;
- Calendarização das entregas do projeto;
- Níveis de informação no projeto;
- Contactos dos intervenientes envolvidos;
- Etc.

#### 4.3.1 Enquadramento regulamentar

Com o Despacho Normativo n.º 21/2019 “*Sumário: Aprova as condições para a utilização dos Eurocódigos Estruturais nos projetos de estruturas de edifícios*”, que entrou em vigor a 16 de dezembro de 2019, passa-se então a utilizar as normas dos Eurocódigos Estruturais.

No projeto corrente sendo uma estrutura constituída por elementos de betão armado, é indispensável recorrer às seguintes normas:

- NP EN 1990:2009/A1:2019 - Eurocódigo 0 - Bases para projeto de estruturas;
- NP EN 1991-1-1:2009 - Eurocódigo 1 - Ações em estruturas;
- NP EN 1992-1-1:2010/AC:2012 - Eurocódigo 2 - Projeto de estruturas de betão;
- NP EN 1997-1:2010 - Eurocódigo 7 - Projeto geotécnico;
- NP EN 1998-1:2010 - Eurocódigo 8 - Projeto de estruturas para resistência aos sismos.

Para especificar o betão no projeto, utiliza-se a norma:

- NP EN 206-1:2007 - Betão - Especificação, desempenho, produção e conformidade.

Para especificar as armaduras passivas no projeto, utiliza-se a norma e a regulamentação:

- EN 10080 - *Steel* - *for the reinforcement of concrete.*
- DL n.º 349-C/83, de 30 de julho - REBAP

### 4.3.2 Caracterização do edifício

O edifício em estudo localiza-se na cidade de Vila Franca de Xira, pertence ao município de Vila Franca de Xira, Distrito de Lisboa. A localização geográfica do município está indicada na (Figura 4.1).

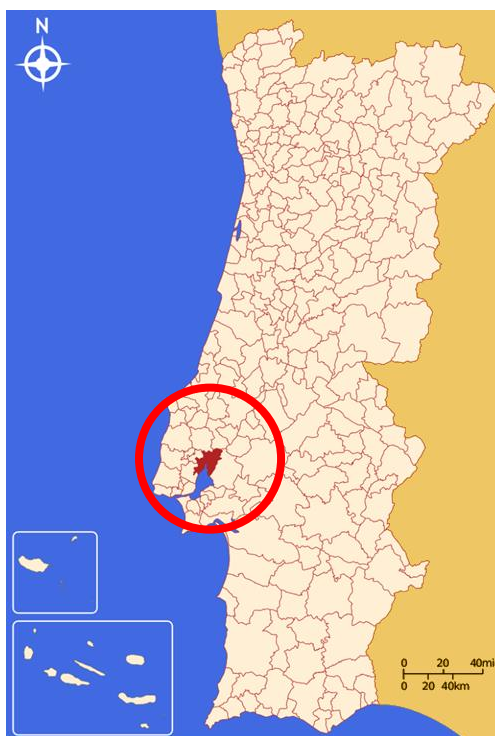


Figura 4.1 - Localização geográfica do edifício.

O edifício é composto por 4 pisos acima do nível do solo e uma cave para estacionamento. O piso 0 é zona comercial e os pisos 1 a 3 destinam-se a fins habitacionais. A cota altimétrica entre os pisos -1 e 0 é de 2,75 m, nos pisos 0 e 1 é de 3,40 m e 2,90 m nos pisos 1 a 3. A geometria do edifício apresenta em planta uma configuração em forma de “L”. Em altura, o edifício apresenta um recuo no piso 3 na zona norte (Figura 4.2).



Figura 4.2 – Modelo 3D em Revit, do projeto de arquitetura.

A área de implantação do piso -1 é de 1721,4 m<sup>2</sup> (Figura 4.3a), nos pisos 1 e 2 a área é de 1240,5 m<sup>2</sup> (Figura 4.3b). Em todos os pisos a extensão máxima no plano horizontal corresponde a 75,20 m, por condicionamentos de arquitetura não existe juntas de dilatação.

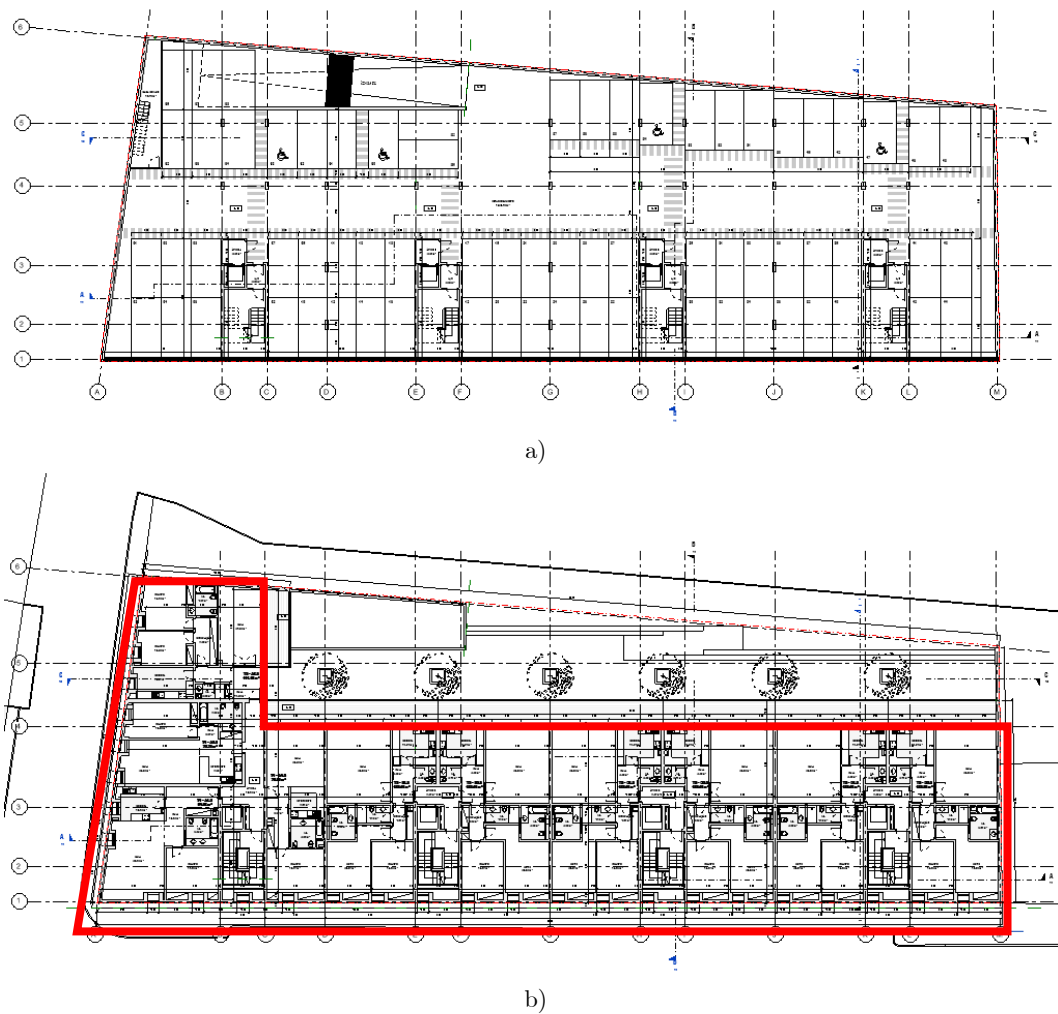


Figura 4.3 – Plantas de arquitetura: a) piso -1; b) pisos 1 e 2.

### 4.3.3 Condicionantes

Na elaboração do projeto teve-se em consideração algumas condicionantes na concepção tais como:

- Respeitar o projeto de arquitetura;
- Região sísmica (Sismicidade);
- Obrigatoriedade de cumprir a legislação aplicável;
- A não existência de juntas de dilatação;
- Função do edifício.

### 4.3.4 Solução estrutural

A estrutura do edifício será constituída por elementos de betão armado. Os pilares interiores, núcleos de elevadores e escadas não se encontram ligados por vigas, suportando, diretamente as lajes fungiformes maciças. A periferia é constituída por vigas que formam pórticos com os pilares exteriores e paredes de betão. As fundações do edifício serão do tipo fundações diretas, interligadas por vigas de fundação nas duas direções em planta. Na rampa de acesso ao estacionamento na cave é utilizada uma laje maciça também de betão armado.

Os muros de suporte são de betão armado e são concretizados no projeto de escavação e contenção periférica, que é entregue separadamente do projeto de fundações e estruturas.

### 4.3.5 Materiais

**Betão** - Dada a natureza do trabalho ser académico, assumiu-se que o edifício não exige especial atenção para a utilização de um betão de comportamento específico, optou-se então por uma solução corrente escolhida com base nos critérios da Norma NP EN 206-1.

**Aço** - A escolha do aço foi feita através do compromisso entre um bom comportamento em regime plástico e uma capacidade resistente adequada para a solução estrutural adotada.

Tabela 4.1 – Propriedades do betão C30/37 e aço A500NR SD.

Betão C30/37·XC3(P)·CI0.40·D <sub>max</sub> 25mm·S3		Aço A500 NR SD
$f_{ck} = 30,0$ MPa	$E_{cm} = 33,0$ GPa	$f_{yk} = 500$ MPa
$f_{cd} = 20,0$ MPa	$\gamma_c = 24,0$ kN/m <sup>3</sup>	$f_{yd} = 434$ MPa
$f_{ctm} = 2,9$ MPa	$\nu_c = 0,2$	$E_s = 200$ GPa
$\xi = 5\%$		$\gamma_s = 77$ kN/m <sup>3</sup>

## 4.4 Pré-dimensionamento

O estudo do projeto de arquitetura, e o pré-dimensionamento são os fatores que determinam as secções iniciais dos elementos estruturais.

### 4.4.1 Lajes

Função estrutural das lajes (Garcia, 2016):

- Suportam as ações verticais;
- Em conjunto com os pilares e paredes, formando pórticos, suportam as ações horizontais;
- As lajes suportam as ações verticais associadas às cargas permanentes e sobrecargas;
- Necessitam de suportar as ações atuantes com deformação reduzida.

No pré-dimensionamento a espessura da laje fungiforme maciça, é determinada através da seguinte fórmula:

$$h = \frac{L}{30 \text{ a } 35} \quad (4.1)$$

Em que:

h – Espessura da laje;

L – Maior vão condicionante da laje.

### 4.4.2 Vigas

Função estrutural das vigas (Garcia, 2016):

- Tal como as lajes suportam as ações verticais;
- As vigas suportam as ações verticais associadas às cargas permanentes e sobrecargas.

No pré-dimensionamento as alturas das vigas, são determinadas através das seguintes condições:

$$h = \frac{l}{10 \text{ a } 12} \wedge h > 1,5 \times d \quad (4.2)$$

Em que:

h – Altura da viga;

l – Vão a vencer entre pilares;

d - Representa a altura adotada na laje.

### 4.4.3 Pilares e Paredes

Função estrutural dos pilares (Garcia, 2016):

- Transmitem as ações verticais provenientes das lajes e vigas até às fundações.
- Paredes estruturais: são contínuas desde a fundação até à laje de cobertura do edifício.
- Pilares: são contínuos desde a fundação até à laje de cobertura, salvo situações excepcionais:
- Pisos recuados;
- Elementos secundários para travamento de alvenarias.

Para a determinação da secção dos pilares no pré-dimensionamento, é necessário estimar o valor do esforço axial a que estes estão sujeitos. Esta verificação é conseguida pela análise da resistência ao esforço axial e dada pela seguinte expressão:

$$A_c \geq \frac{N_{sd}}{0,65 \times f_{cd}} \quad (4.3)$$

Em que:

$A_c$  – Área da secção do pilar/paredes;

$N_{sd}$  – Valor do esforço axial nos elementos para a combinação fundamental de ações;

$f_{cd}$  – Valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão.

### 4.4.4 Escadas

A espessura das escadas, é determinada através da seguinte fórmula:

$$h = \frac{L}{25 \text{ a } 30} \quad (4.4)$$

Em que:

$h$  – Espessura da laje;

$L$  – Vão das escadas.

### 4.4.5 Fundações

As sapatas transmitem ao terreno as cargas provenientes da estrutura (Garcia, 2016):

- Fundações diretas:
- Isoladas sob os pilares;
- Contínuas sob as paredes.
- Solo resistente e/ou ações reduzidas;

- Normalmente utilizam-se vigas de fundação (entre as sapatas).

Sabendo o esforço normal dos pilares/paredes é possível pré-dimensionar as dimensões iniciais das sapatas, através da seguinte expressão:

$$A_{\min} \geq \frac{N_{Ed}}{\sigma_{adm}} \quad (4.5)$$

Em que:

$A_{\min}$  - área mínima da sapata;

$N_{Ed}$  - esforço axial na base do elemento vertical;

$\sigma_{adm}$  - Tensão admissível do terreno.







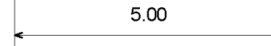



## 4.5 Modelação em Revit

No âmbito do presente trabalho foi desenvolvido o modelo de estruturas, em Revit 2020, de modo que o processo de colaboração fosse compatível com o modelo de arquitetura.

Terminada a formação da equipa, a organização, deve criar um *template*<sup>1</sup> com as definições adequadas para iniciar o modelo 3D no âmbito de projeto de estruturas. O *template* de estruturas por defeito no Revit, não têm as unidades, os materiais, as bibliotecas (conjunto de famílias), as vistas, os formatos, entre tantas outras definições, de forma compatível, para produzir peças desenhadas com a aparência da metodologia 2D/CAD.

Modificação de algumas famílias no Revit (Quadro 4.1), apresenta-se a título de exemplo, a aparência que vem por defeito e a nova aparência pretendida.

Quadro 4.1 – Modificação de famílias.

Parâmetro	Família por defeito	Nova família
Level/Nível		
Grid/Eixo		
Spot Elevation/Elevação do ponto		
Dimensions/cotas		
Column/Pilar		

<sup>1</sup> *Template* é um modelo de *layout* pronto e genérico, é utilizado como base para a criação de outro *layout*.

No *template* define-se as unidades de trabalho, biblioteca dos materiais mais utilizados em estruturas, a fonte de texto, as anotações dos elementos (*tags*), os diversos tipos de texto associados às peças desenhadas, a simbologia e legendas, a criação de formatos de acordo com a norma NP EN ISO 5457, e a apresentação de acordo com o desenho técnico (Costa, 2018). O procedimento de readaptar o *template* insere-se nas boas práticas da utilização do BIM, facilitando o desenvolvimento do projeto e os requisitos de produtividade e qualidade.

Nas opções do Revit escolhe-se a localização do novo *template* (Figura 4.4a), e todos elementos da equipa devem utilizar o mesmo ficheiro. As alterações do *template* são reportadas ao gestor de BIM, modifica-se o número da versão e assinala-se em documentação as alterações realizadas.

No presente trabalho optou-se pela versão Revit na língua inglesa; doravante os comandos do Revit são referenciados na língua inglesa.

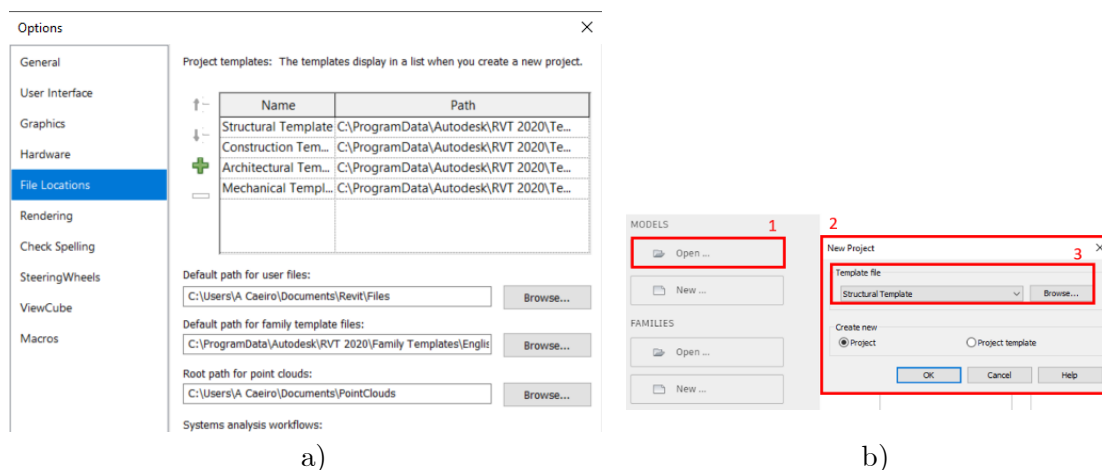


Figura 4.4 – Menus...: a) de opções com a localização do *template* b) de iniciar do modelo paramétrico.

A modelação, nesta primeira fase deve ter em atenção o modelo paramétrico, mas também a preparação do modelo analítico, se for intenção de interligar com os *softwares* de análise estrutural para isso; são importantes algumas particularidades que se destacam nos pontos seguintes, com algumas boas práticas a ter nos ajustes dos elementos analíticos.

#### 4.5.1 Integração com a arquitetura

A primeira fase é a interoperabilidade externa, do modelo de arquitetura com o modelo de estruturas. O objetivo é ter uma base colaborativa de sincronia com o projeto de arquitetura, para a localização adequada dos elementos estruturais.

A integração da arquitetura é realizada através do comando *Link Revit* (Figura 4.5), para posicionar escolhe-se o *Auto - Center to Center*.

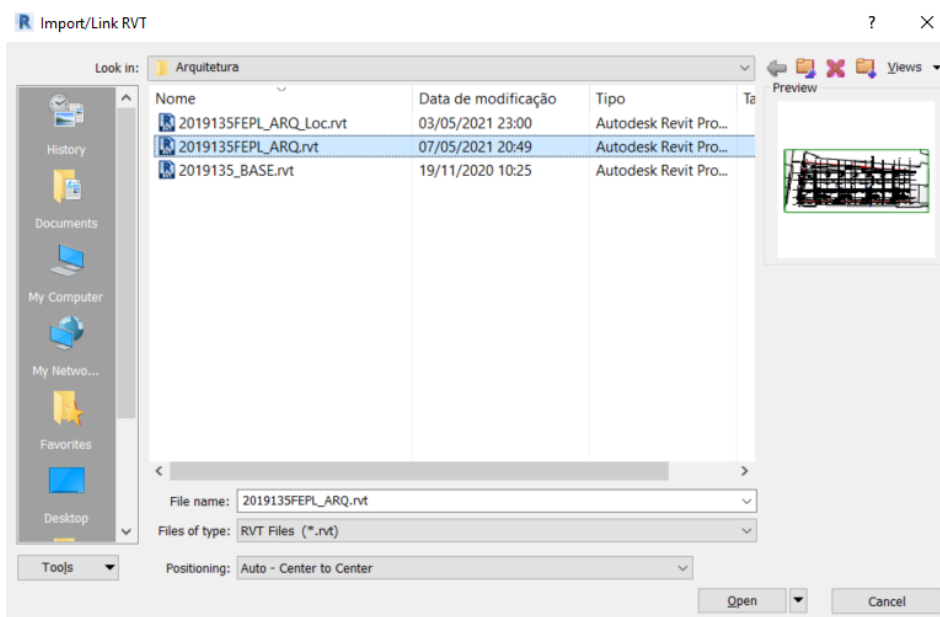


Figura 4.5 – Menu do comando *Link Revit*.

Com a integração do modelo, as plantas e cortes podem ter elementos indesejados (Figura 4.6), procede-se ao ajustamento dos mesmos, de forma a facilitar a visualização pretendida.

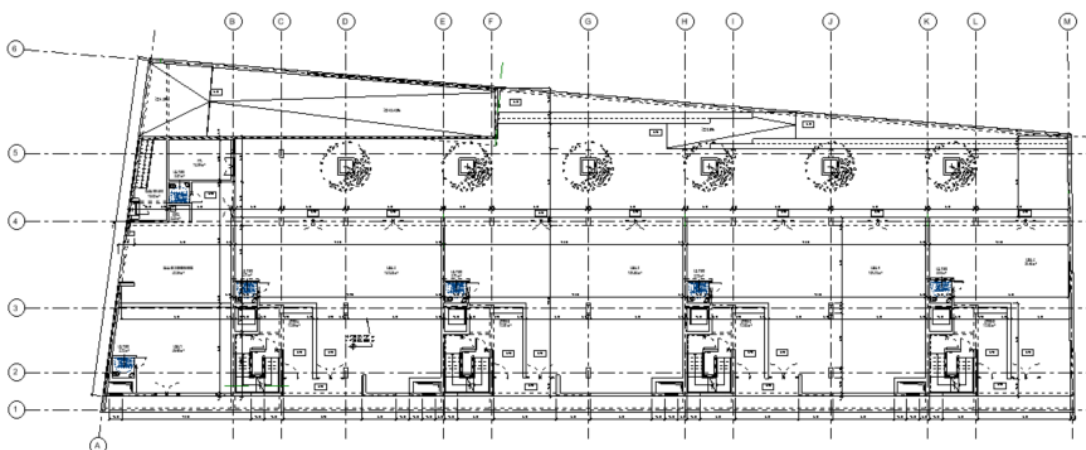


Figura 4.6 – Visualização da planta do piso 0 de arquitetura após o comando *Link Revit*.

Os ajustes são realizados com o comando *Visibility/Graphic* (Figura 4.7), na caixa de diálogo *Revit Links*, selecionando o link pretendido e clicando em *By Host View*.

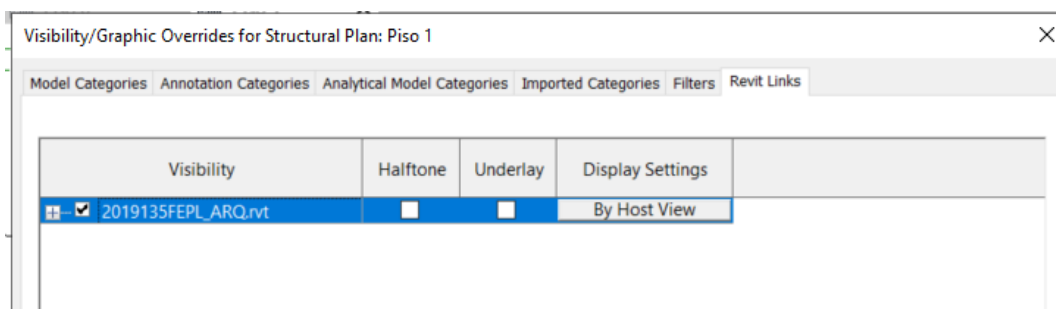


Figura 4.7 – Menu do comando *Visibility/Graphic*, no separador *Revit Links*.

E aparece o seguinte menu *RVT Link Display Settings* (Figura 4.8):

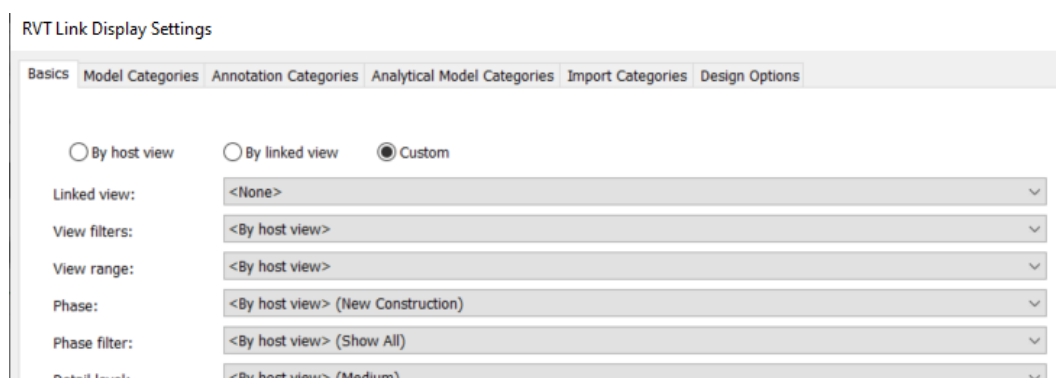


Figura 4.8 – Menu *RVT Link Display Settings*.

Fazendo a analogia com o AutoCAD, é semelhante ao quadro de *layers*, onde se pretende esconder os elementos que não são necessários. O passo seguinte clica-se em *Custom* e na caixa de diálogo *Model Categories*, escolhe-se os elementos a esconder, tais como vegetação, mobiliário, portas, janelas, cotas, etc.

Após a definição dos elementos que vão auxiliar na localização dos elementos estruturais, coloca-se a planta em *Halftone* (Figura 4.9), a fim de suavizar a planta de arquitetura, com a finalidade de evidenciar os elementos de estrutura; este processo deve ser realizado em todas as plantas e cortes.

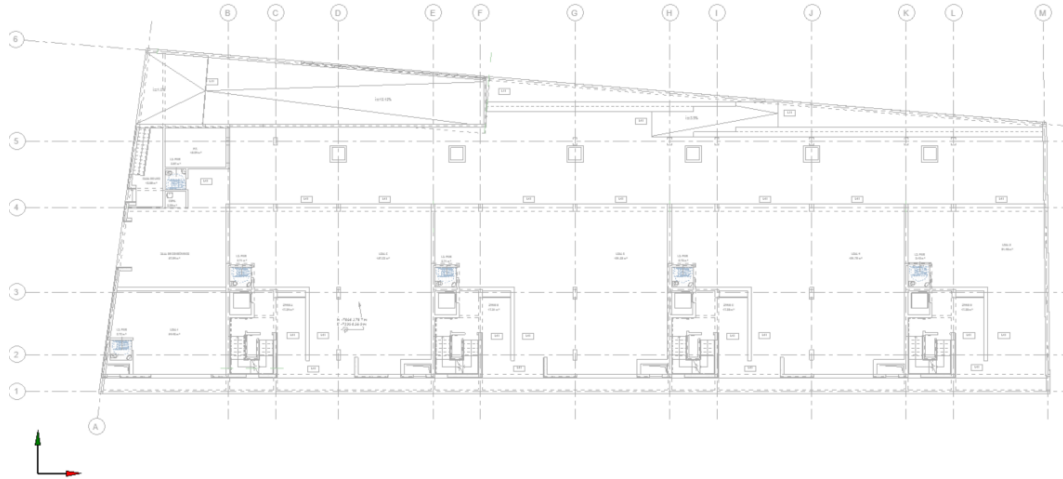


Figura 4.9 – Visualização da planta do piso 0 de arquitetura após o comando *Half tone*.

O modelo da arquitetura pode ter o ponto (0,0), numa localização que não é a mais indicada para o modelo de estruturas, procede-se ao ajuste da nova localização. Define-se uma nova localização e para o efeito basta mover o modelo da localização pretendida, para o ponto (0,0), sendo este o ponto de referência nos *softwares* de análise estrutural (Figura 4.10).

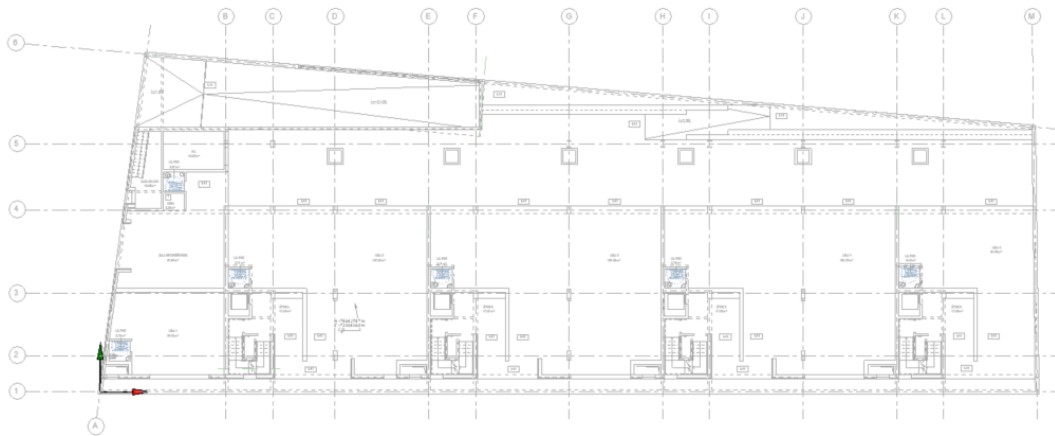


Figura 4.10 – Planta do piso 0, com nova definição do ponto (0,0).

Fica evidente a facilidade de interoperabilidade, pelo facto de ambas as disciplinas utilizarem o mesmo tipo de *software*. Se o modelo de arquitetura estiver noutra *software*, a integração no Revit é através do formato universal IFC, a arquitetura é disponibilizada num ficheiro numa versão apropriada, a fim de ser inserida no *software* de modelação, neste caso pelo comando *Link IFC*, e efetua-se os mesmos passos anteriormente enumerados.

#### 4.5.2 Níveis e Eixos

Na fase do estudo prévio, realiza-se o pré-dimensionamento para definir as secções iniciais dos elementos estruturais e dos materiais a utilizar nos mesmos.

Com o modelo de arquitetura integrado no Revit, dá-se início ao desenvolvimento do modelo de estruturas, sendo necessário respeitar uma determinada hierarquia de modelação, que deve estar descrita no manual de modelação interno da organização.

Na metodologia 2D/CAD, começa-se por criar os eixos, e posteriormente insere-se os elementos estruturais. Na metodologia BIM, são os pisos (*levels*) os primeiros a serem criados (Figura 4.11), seguido pelos eixos (*grids*), e a inserção dos elementos estruturais.

No separador *structure*, clica-se em *level*, e coloca-se a distância entre cada piso de acordo com o projeto de arquitetura.

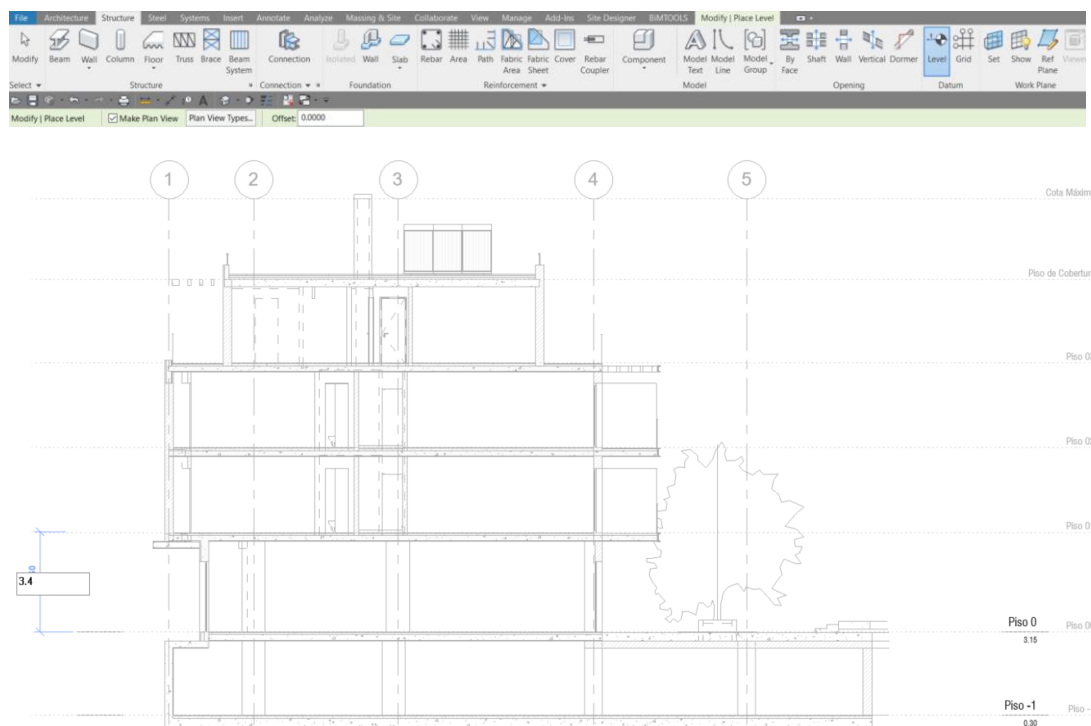


Figura 4.11 – Criação dos níveis com o comando *level*.

Posteriormente, as cotas altimétricas dos pisos devem ser ajustadas de acordo com os revestimentos de cada piso.

A criação dos eixos contempla dois métodos. No primeiro método, seleciona-se o separador *structure*, clica-se em *grid*, e desenha-se os novos eixos, com base nos eixos de arquitetura.

O segundo método é mais colaborativo, rápido e eficiente (Figura 4.12), de acordo com a sequência indicada:

1. No separador *colaborate*, em *copy/monitor*, clica-se em *Select Link*, e seleciona-se o modelo de arquitetura.
2. Na caixa de diálogo *Copy/Monitor*, seleciona-se *copy* e clica-se em *multiple*.
3. Filtra-se somente os *grids* e clica-se em *finish*.
4. Concluído o processo, os eixos da arquitetura são copiados automaticamente no modelo de estruturas e com símbolo de monitorização, isto é, qualquer alteração nos eixos da arquitetura irá gerar um aviso a relatar a alteração de posição do eixo de arquitetura.

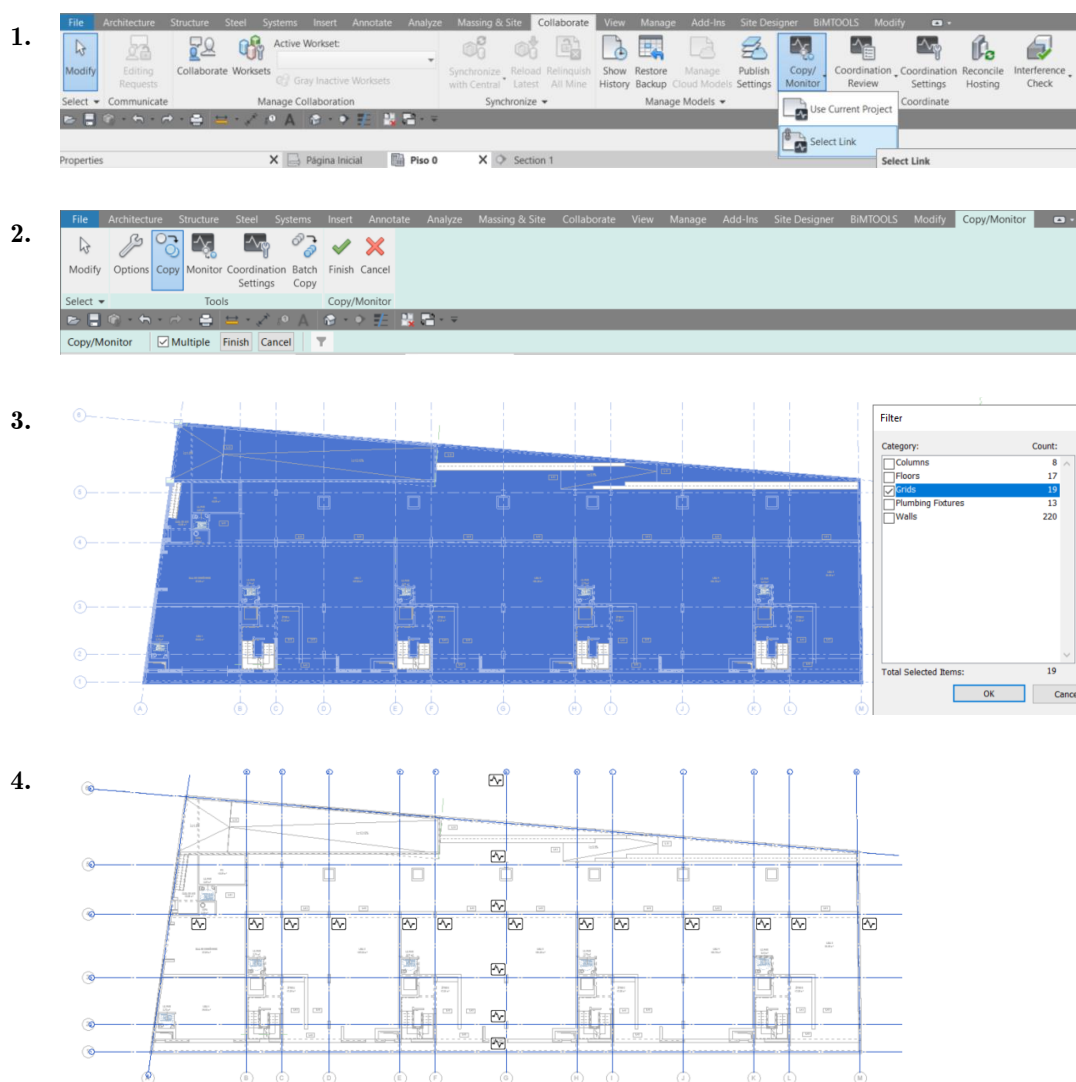


Figura 4.12 – Sequência colaborativa de criação dos eixos no modelo de estruturas.

Depois dos níveis e eixos finalizados, de acordo com o projeto de arquitetura. Segue-se a produção do modelo de estruturas, de modo a obter peças desenhadas e mapas de quantidades, paralelamente também é possível produzir o modelo analítico, para integrar com *softwares* de análise estrutural.

Se a finalidade também for a integração do modelo analítico, a fase inicial de modelação deve ser desenvolvida pelo engenheiro modelador, com base no pré-dimensionamento e nas condicionantes do projeto de arquitetura. O desenvolvimento dos modelos paramétrico e analítico na fase de estudo prévio requer uma abordagem com competências de análise estrutural; numa fase posterior o modelo é desenvolvido pelo modelador. São necessários princípios e boas práticas de modelação, que se devem respeitar, para desenvolver os dois modelos em conjunto, que será abordado nos pontos seguintes.

No presente trabalho, são tratados os dois modelos, quer o modelo paramétrico, bem como o modelo analítico, para aferir a interoperabilidade com os *softwares* de análise estrutural.

### 4.5.3 Pilares

A modelação no estudo prévio, deve também ter atenção com a integração com os *softwares* de análise; nesta fase deve-se definir as propriedades dos elementos estruturais adequando em ambos os *softwares*.

Com os níveis e eixos definidos, inicia-se a modelação dos elementos estruturais. Pode-se iniciar pelos pilares ou paredes; no presente caso optou-se pelos pilares. Na modelação define-se o material C30/37 e as secções iniciais do pré-dimensionamento, no separador *Structure*, clica-se em *Column*, escolhe-se a família de acordo com o material a utilizar, na presente situação betão (*Concrete*) como se mostra na Figura 4.13.

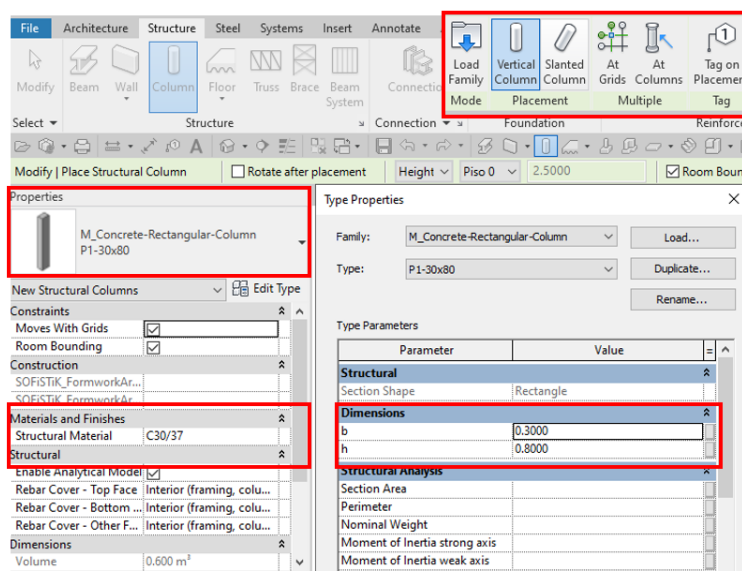


Figura 4.13 – Pilar: família, material, secção e definições de modelação.

Uma boa prática de modelação é ter sempre que possível, os pilares nas interseções dos eixos e modelar entre pisos, para serem posteriormente replicados para os restantes pisos

(Figura 4.14), desde a fundação até onde sejam necessários, tal como se modela nos *softwares* de análise estrutural. Este procedimento auxilia também na realização das tabelas de quantidades, para facilitar a identificação das quantidades de materiais por piso.

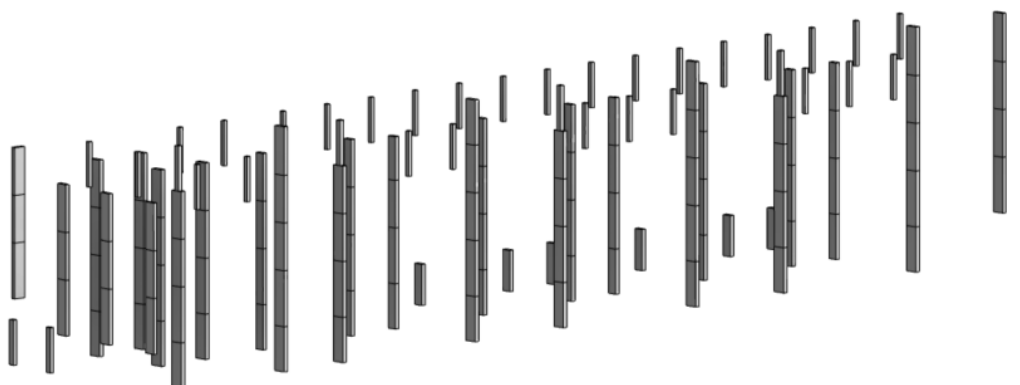


Figura 4.14 – Modelação dos pilares.

#### 4.5.4 Paredes

As paredes estruturais podem ter várias funções, o Revit faz a distinção de paredes exteriores, interiores, de fundações, de contenção e de núcleos. Na modelação deve-se ter bem definido a função de cada parede, porque o parâmetro pode ser utilizado como filtro nas tabelas de quantidades.

As paredes distinguem-se dos pilares na forma de modelar, as paredes desenvolvem-se como se fossem linhas com espessura enquanto os pilares são inseridos como se fossem pontos. As paredes são mais flexíveis de modelar e pode-se acrescentar camadas a estas.

No separador *Structure*, clica-se em *Wall* e escolhe *structural*, a família de paredes estruturais distingue-se da arquitetura pelo facto de ser possível inserir posteriormente as armaduras. A definição dos parâmetros nas paredes é diferente dos pilares; no menu definem-se conjuntamente o tipo de material (C30/37), a espessura e a sua função (Figura 4.15). A modelação das paredes, teve em consideração as condicionantes da arquitetura, com as paredes de contenção localizadas no perímetro do limite do lote e as paredes dos núcleos de elevadores e escadas, as restantes paredes foram modeladas na rampa de acesso ao estacionamento, e no envolvimento exterior do edifício.

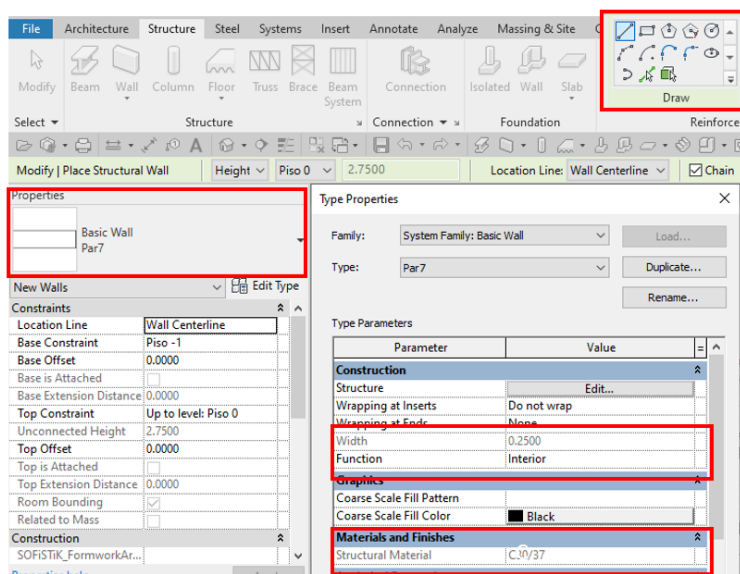


Figura 4.15 – Parede: família, material, espessura, função e definições de modelação.

Ao modelar as paredes, pode-se optar por três alinhamentos, exterior, central e interior, um dos exemplos a ter em atenção na escolha do alinhamento, são as paredes de contenção no limite do lote, seleciona-se o alinhamento pelo exterior, porque se for necessário aumentar a sua espessura, a parede mantém-se no limite do lote, aumentando somente para o lado interior. Outra questão é a utilização de aberturas nas paredes, tais como portas, janelas ou passagem de instalações, e também paredes com configurações não retangulares.

Tal como os pilares, as paredes podem ser modeladas entre pisos e replicados para os restantes pisos (Figura 4.16) onde sejam necessários, de forma contínua desde a fundação até a cobertura se for o caso.

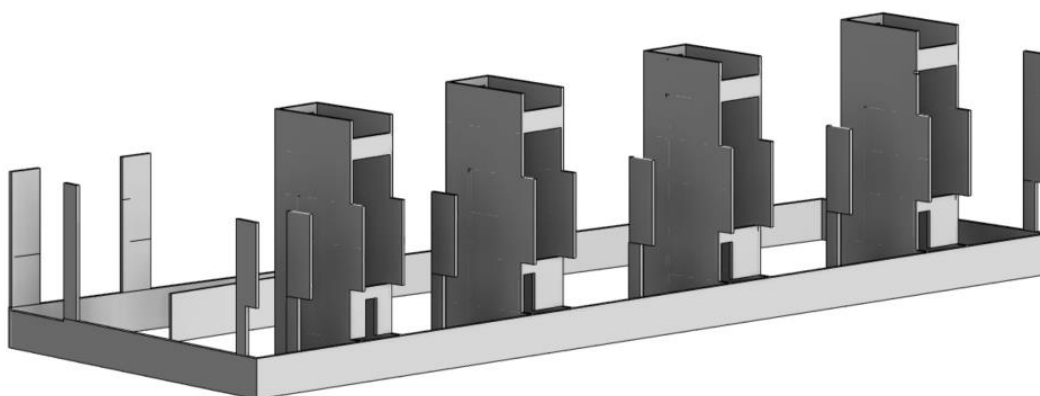


Figura 4.16 – Modelação das paredes.

Nas boas práticas de modelação no modelo analítico, alerta-se para as seguintes situações nas paredes, que podem motivar problemas na transferência para os *softwares* de modelação, sendo necessário fazer o ajuste analítico (Figura 4.17).

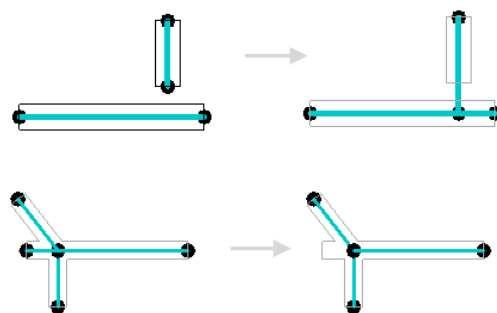


Figura 4.17 – Ajustamento analítico nas paredes, adaptado de (Autodesk, 2014).

#### 4.5.5 Vigas

Após a modelação dos pilares e das paredes, inicia-se a inserção das vigas: a modelação das vigas tem um desenvolvimento idêntico às paredes, mas a inserção dos parâmetros é idêntica aos pilares.

Na modelação define-se o material C30/37 e as secções iniciais do pré-dimensionamento: no separador *Structure*, clica-se em *Beam*, escolhe-se a família de acordo com o material a utilizar, na presente situação betão (*Concrete*) como se mostra na Figura 4.18.

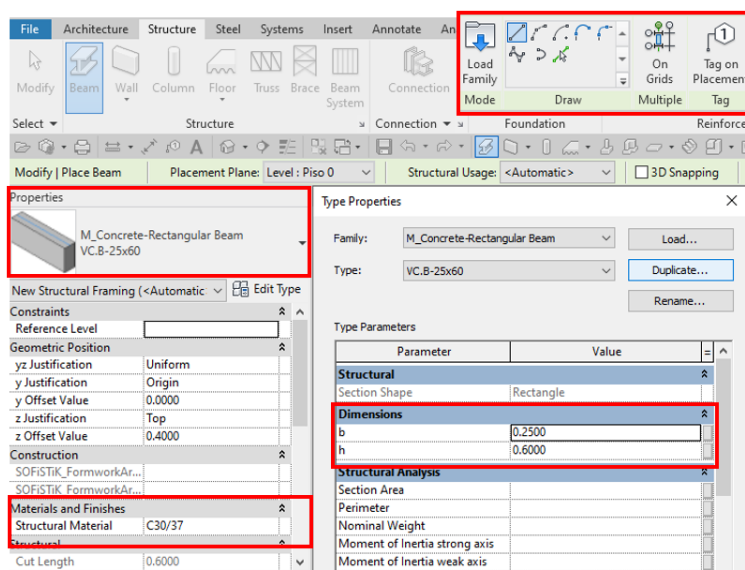


Figura 4.18 – Viga: família, material, secção e definições de modelação.

As vigas também são modeladas como se fossem linhas com espessura, mas sem a flexibilidade das paredes, a modelação das vigas é rígida como nos pilares. Como as vigas são modeladas por níveis, existem três posições possíveis para conectar com pilares, paredes e lajes: *top*, *center*, *bottom*. A primeira é para as vigas localizadas na cota superior da laje e desenvolvem-se para baixo das lajes, a segunda estão numa posição intermédia

em relação às lajes, e a terceira estão na cota inferior das lajes e desenvolvem-se acima destas, normalmente designadas de vigas invertidas.

Nas boas práticas de modelação no modelo analítico, alerta-se para as seguintes situações que envolvem vigas e pilares/paredes, as quais podem motivar problemas na transferência para os softwares de modelação, sendo necessário fazer o ajustamento adequado (Figura 4.19).

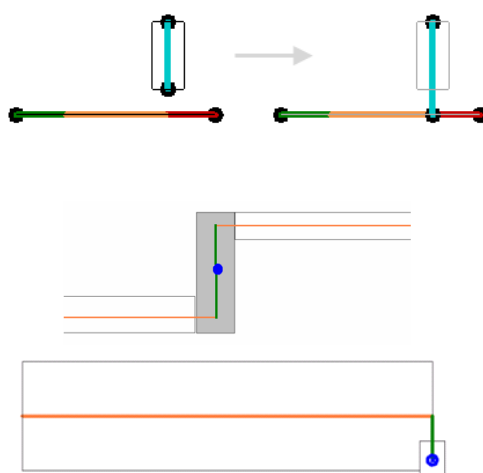


Figura 4.19 – Ajustamento analítico nas vigas com pilares/paredes, adaptado de (Autodesk, 2014).

As vigas são normalmente modeladas entre paredes e/ou pilares (Figura 4.20), podendo ser replicadas para os pisos superiores se as secções forem idênticas, mudando posteriormente a sua designação.

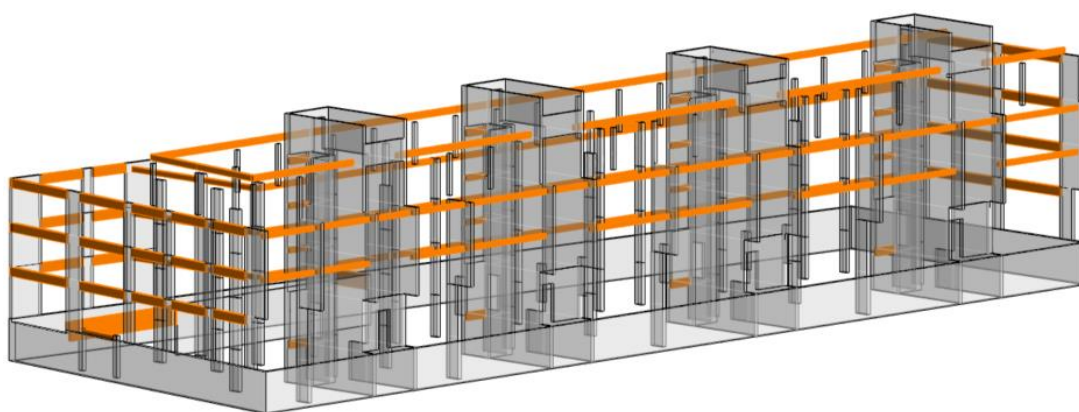


Figura 4.20 – Modelação das vigas.

#### 4.5.6 Lajes

Após a inserção das vigas, pilares e paredes, inicia-se a modelação das lajes, estas são modeladas no contorno do piso, definido no projeto de arquitetura, as linhas de contorno

devem ser fechadas e não pode haver sobreposições, caso contrário não é possível terminar a modelação.

No separador *Structure*, clica-se em *Floor* e escolhe a *structural*, a família de lajes estruturais também se distinguem das lajes de arquitetura devido à possibilidade de inserir armaduras. A definição dos parâmetros é idêntica à das paredes. No menu definem-se conjuntamente o tipo de material (C30/37), a espessura e a sua função (Figura 4.21).

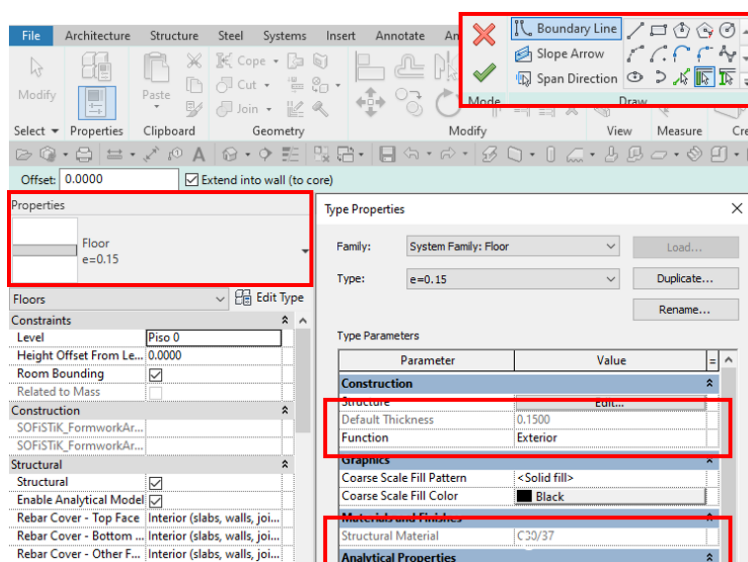


Figura 4.21 – Laje: família, material, espessura e definições de modelação.

Ao modelar as lajes, tal como nas paredes, deve-se ter em atenção o tipo de aberturas, que podem ser passagem de instalações, de elevadores e de escadas. As lajes são modeladas piso a piso (Figura 4.22) e só devem ser replicadas para os níveis superiores se forem iguais entre pisos.

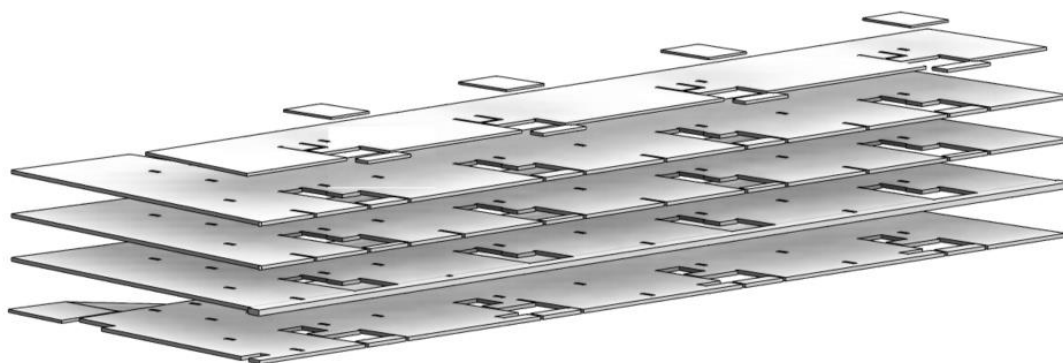


Figura 4.22 – Modelação das lajes.

#### 4.5.7 Escadas

As escadas não estão no separador *Structure*, mas sim no separador *Architecture*, porque são elementos que fazem parte da arquitetura. Não sendo elementos estruturais, não podem ser definidos no modelo analítico, mas é possível inserir armaduras na família das escadas, o menu da modelação das escadas tem diversos parâmetros a colocar (Figura 4.23).

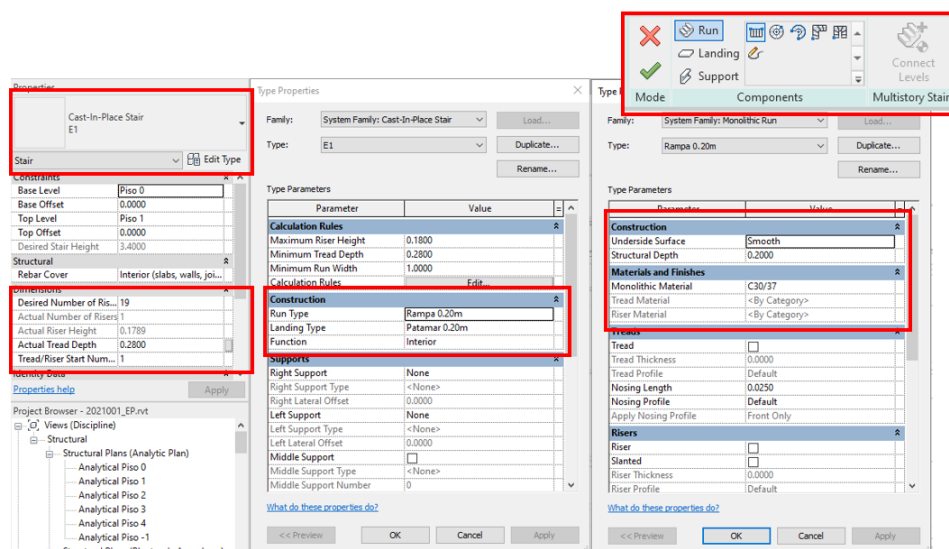


Figura 4.23 – Escadas: família, material, e definições de modelação.

Modelar as escadas requer formação de nível médio a elevado, ajustar as configurações da família *Cast-in-Place Stair* do tipo monolítico, requer um certo tempo de formação e diversos ensaios, é um processo iterativo até ter as escadas nas medidas certas, de acordo com o projeto de arquitetura.

Para descrever a definição dos parâmetros e a modelação das escadas, seria necessária uma grande descrição, e não é esse o tema do trabalho, fica somente o apontamento da dificuldade da sua modelação. Para o modelo analítico, as escadas podem-se realizar com a família lajes, utilizando-se o parâmetro *Slope arrow* nas rampas, definindo assim a inclinação.

#### 4.5.8 Fundações

As fundações são de três tipos, sapatas isoladas, sapatas contínuas e lajes de fundação, as quais podem ser modeladas como fundações de múltiplos pilares, de núcleos, ensoleiramento geral ou pavimentos térreos.

A sapatas isoladas (*Isolated*) como se mostra na Figura 4.24, acoplam-se na base dos pilares e trabalham em conjunto com estes, isto é, se o pilar mudar de cota altimétrica a sapata acompanha o seu movimento.

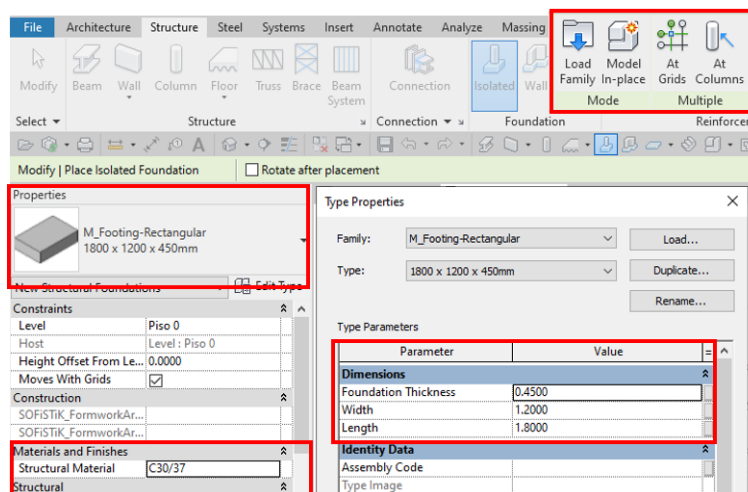


Figura 4.24 – Sapata isolada: famílias, material, dimensões e definições de modelação.

As sapatas contínuas (*Wall*) definem-se como na Figura 4.25, acoplam-se na base das paredes e trabalham em conjunto com estas, tal como nas sapatas isoladas dos pilares.

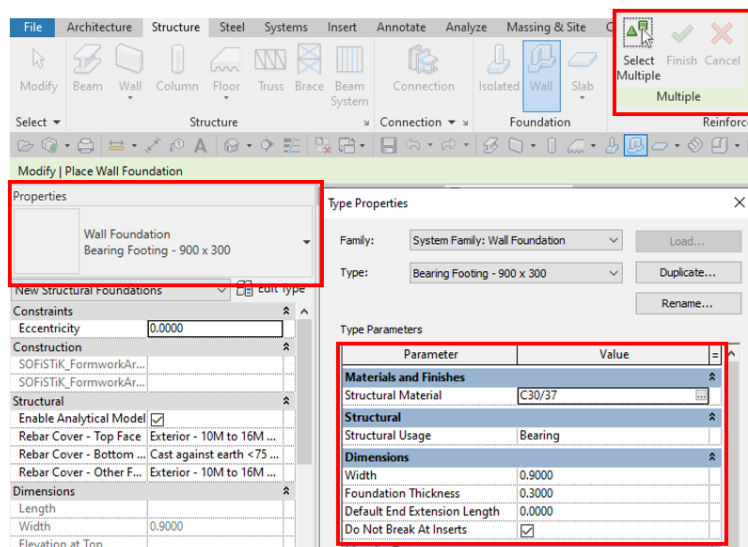


Figura 4.25 – Sapata contínua: famílias, material, dimensões e definições de modelação.

As lajes de fundação (*Slab Foundation*), são modeladas como as lajes dos pisos superiores, mas a sua função é exclusivamente para fundações, como é possível adicionar várias camadas, podem ser modeladas também como pavimentos térreos. As sapatas modeladas do tipo *Slab Foundation* (Figura 4.26), podem ter formas diversificadas, tendo assim um comportamento flexível ao serem modeladas.

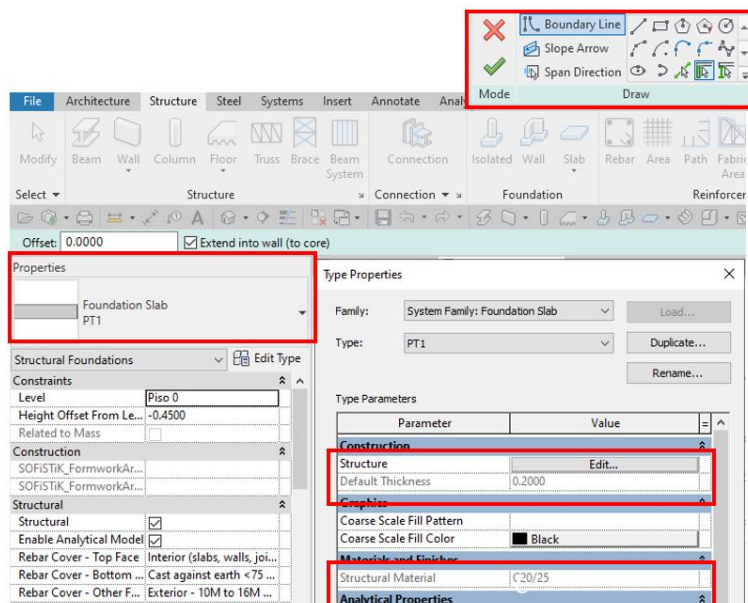


Figura 4.26 – Lajes de fundações: famílias, material, espessura e definições de modelação.

No modelo analítico as sapatas quando acopladas nos pilares e paredes, têm função de apoios estruturais, na integração com os *softwares* de análise estrutural, resultam em suportes estruturais.

#### 4.5.9 Formatos, textos e simbologia

Para a montagem das peças desenhadas, além dos elementos modelados, são necessários: o tipo da fonte de texto, os diversos tipos de formatos (folhas), legendas e notas, as designações dos elementos estruturais e toda a simbologia associada. No *template* devem estar inseridas as famílias, que servem de apoio às peças desenhadas. Eventualmente podem estar em falta algumas famílias, as quais podem ser adicionadas posteriormente com o desenvolvimento da metodologia e desta maneira melhorar o *template*, para dar continuidade ao processo de implementação.

#### 4.6 Estudo prévio - entrega do modelo

Concluído o pré-dimensionamento e a fase de estudo prévio, prepara-se a entrega do modelo 3D, de toda a documentação gráfica e não gráfica, para colocar no CDE, de acordo com os requisitos da ISO 19650. Nos pontos seguintes descreve-se alguns exemplos de possíveis fluxos de trabalho na entrega da documentação.

### 4.6.1 Metadados

A série ISO 19650 deixa claro que os autores mantêm um controlo exclusivo das suas informações ao longo do desenvolvimento do projeto. Recomenda-se que seja feito pelo autor usando a atribuição de metadados (Ford, 2020b).

Metadados são informações que se acrescentam aos dados, que têm por objetivo dar informação complementar sobre os dados iniciais, para tornar mais fácil a sua organização (Metadados @, 2020).

A ISO 19650-1 recomenda a seguinte atribuição de metadados para recetores de informação dentro de um CDE (Figura 4.27):

- Um código de revisão
- Um código de status.

A ISO 19650-2 exige que o CDE permita a atribuição desses códigos mais a atribuição de:

- Um código de classificação.

Container Name	Description	Status	Revision	Author	Submittal Date	Container Classification
7001-BBH-ZZ-ZZ-DR-A-00301	First Floor Plan	S3	P04	Joe Blogs	12/11/2017	PM_40_30 : Design information
7001-BBH-ZZ-ZZ-DR-A-00312	West Elevation	A3	C06	Joe Blogs	12/11/2017	PM_40_30 : Design information

↑ Container Name / ID Field     
 ↑↑↑↑↑ Additional Container Metadata Assignments

Figura 4.27 – Exemplo de metadados no CDE baseado na *cloud* (Ford, 2020b).

### 4.6.2 Etapas de entrega

A ISO 19650 na versão britânica sugere a seguinte solução:

#### P.01.01

P - Informações preliminares não contratuais ou C - contratuais.

**01** - Revisão do conteúdo da informação que foi aprovado para partilhar com outras equipas.

**01** - Alterações introduzidas no trabalho no WIP (apenas uma equipa pode ver esta versão).

O processo de nomenclatura da revisão é esquematizado na (Figura 4.28). O conteúdo de informação no estado “*Work in Progress*” muda o último dígito enquanto permanecer na

equipa de projeto. Quando é aceite e atinge o estado “*Shared*”, o número é alterado para o número de revisão P.02.01. Se o conteúdo de informação for enviado de volta ao nível “*Work in Progress*”, os números de revisão serão alterados para P.02.02, P02.03, etc. Depois do conteúdo de informação ser verificado e aceite, atinge o nível “*Published*” e é renomeado para C.01 (Fugas, 2020).

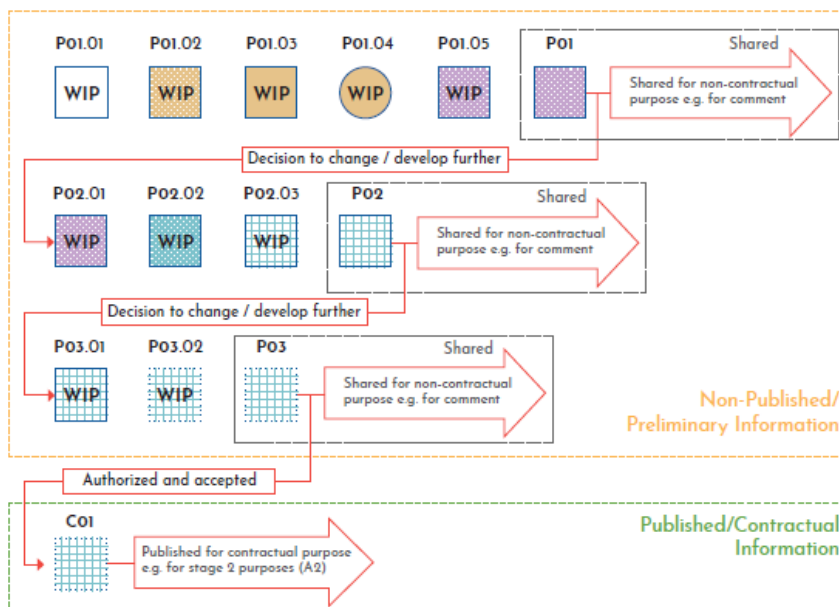


Figura 4.28 – Diferentes *status* dos metadados de revisão entre as diferentes etapas (Ford, 2020b).

### 4.6.3 Códigos do *status*

Cada código na Figura 4.28 tem uma descrição correspondente para informar todos os intervenientes. Existe também uma orientação de revisão para os autores designarem os códigos de *status*. Por exemplo, se um recetor de informações que está a ser revisto no (código de *status* S3) não deve ser utilizado para fins contratuais, como aquisição de materiais, acordos de custos de contrato ou construção de obras.

Nos códigos de *status* para o estado de informações partilhadas, os códigos S1, S2 e S3 são normalmente utilizados durante o desenvolvimento iterativo de informações. Estes são os códigos que provavelmente serão utilizados durante uma fase de trabalho.

Os códigos S4, S6 e S7 são normalmente utilizados durante a fase de entrega de trabalho ou quando numa troca formal de informações com a parte que indica (cliente) está a ser enviada (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 - Códigos de *status* para recetores de informação num CDE (Ford, 2020a).

Code	Description	Revision
<b>Work in progress (WIP)</b>		
S0	Initial status	Preliminary revision and version
<b>Shared (non-contractual)</b>		
S1	Suitable for coordination	Preliminary revision
S2	Suitable for information	Preliminary revision
S3	Suitable for review and comment	Preliminary revision
S4	Suitable for stage approval	Preliminary revision
S5	Withdrawn*	N/A
S6	Suitable for PIM authorization	Preliminary revision
S7	Suitable for AIM authorization	Preliminary revision
<b>Published (contractual)</b>		
A1, A <sub>n</sub> , etc.	Authorized and accepted	Contractual revision
B1, B <sub>n</sub> , etc.	Partial sign-off (with comments)	Preliminary revision
<b>Published (for AIM acceptance)</b>		
CR	As constructed record document	Contractual revision

\* Status code S5 is no longer used and has been withdrawn

O fluxo de trabalho de projeto de um empreendimento é um processo faseado e com bastantes entregas, só com uma organização estruturada de todos os intervenientes, é possível um projeto eficiente e com elevada qualidade.

A entrega só fica formalizada com a concordância da coordenação de projeto. Com o término da fase de estudo prévio, prepara-se a fase seguinte. O anteprojecto documento que estabelece as bases para o projeto de execução.

## 4.7 Transferência do modelo analítico

Quando a *Autodesk* adquiriu o Revit em 2002, era apenas uma ferramenta de design e documentação. Rapidamente a *Autodesk* reconheceu a importância de interligar o Revit a *softwares* de análise estrutural. Em 2005, a *Autodesk* lança a primeira versão do Revit *Structure*, separada da versão do Revit *Architecture*.

Em 2006 a empresa (*Computers and Structures, Inc.*- CSI) percebendo a relevância da interoperabilidade, lança o CSIxRevit, através de uma aplicação instalada no Revit *Structure*, a aplicação produz ficheiros com extensão “*exr*” para conectar com ETABS. O CSIxRevit atualmente é uma aplicação paga por subscrição, a versão CSIxRevit 2020, só é possível no Revit 2020, ou seja, as versões compatíveis entre si usam a mesma designação do ano.

Em 2006 a *Autodesk*, adquire a empresa *Structural Engineering Software Provider Robotat*, proprietária do *software ROBOT Millennium*. Até 2009 a interligação ao Revit

era realizada através de extensões externas da empresa *Robobat*. Somente em 2009 com a mudança de nome para *Robot Structural Analysis Professional*, passa a estar integrado no Revit a interligação direta ao RSA.

Neste trabalho aborda-se a transferência do modelo analítico por dois vias:

- A primeira através da ferramenta de interligação Revit/ (*Robot Structural Analysis Professional* - RSA) incorporada de raiz no Revit.
- A segunda através da instalação no Revit da extensão externa, CSIXRevit da empresa (*Computers and Structures, Inc.*- CSI), para interligar com os *softwares* Revit/ETABS e SAP2000.

O objetivo é verificar a interoperabilidade entre os *softwares* Revit e de análise estrutural, e a relevância deste procedimento na implementação da metodologia BIM, avaliando dos benefícios e limitações de ambas as ferramentas.

#### 4.7.1 Preparação do modelo analítico

A preparação do modelo analítico é válida, para a interoperabilidade com todos os *softwares* de análise estrutural, e não apenas com o RSA, ou o ETABS.

As recomendações da *Autodesk*, a seguir fornecidas facilitam a transferência de elementos entre o Revit e os *softwares* de análise estrutural ([Autodesk, 2014](#)).

##### 1. Modelação analítica:

Existem duas formas do utilizador de Revit preparar o modelo analítico:

- Ao produzir o modelo paramétrico, o *software* cria automaticamente o modelo analítico, mantendo-o consistente de acordo com o modelo paramétrico.
- Os ajustes no modelo analítico podem ser feitos manualmente, com a manipulação das posições dos nós analíticos.

As configurações de relação automática são regras predefinidas que o *software* usa para criar automaticamente uma simplificação analítica mais precisa do modelo paramétrico.

A modelação analítica é subjetiva e os engenheiros podem querer um modelo de análise estrutural definido de uma forma que respeite as suas expectativas e exigências individuais. Portanto, o utilizador pode ajustar manualmente o modelo analítico.

## 2. Relações físicas / analíticas automáticas:

A criação de nós duplicados nas interseções é um problema comum (Figura 4.29), que os engenheiros se depararam ao interligar o modelo analítico do Revit ao *software* de análise estrutural. Geralmente ocorre quando os elementos de interseção não estão devidamente ligados. A maneira de reduzir nós duplicados é de alinhar ou restringir elementos estruturais aos eixos, níveis e planos de referência no *software* Revit.

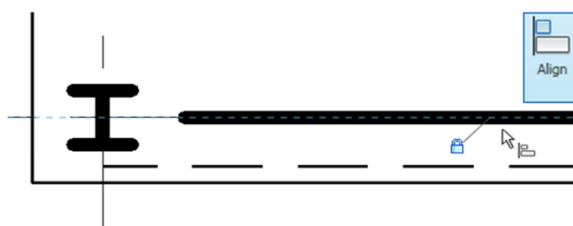


Figura 4.29 – Restrição de uma viga no eixo com a ferramenta *Align* (Autodesk, 2014).

## 3. Projeções do modelo analítico:

Por padrão, o Revit atribui parâmetros de detecção automática para as projeções horizontais e verticais (Figura 4.30). Ao usar a detecção automática, o *software* determina a melhor localização lógica para as linhas do modelo analítico. Na maioria dos casos, o *software* determina corretamente a melhor localização da linha analítica. Logo, a utilização da detecção automática padrão é recomendado. Este parâmetro só se deve modificar se for necessário.

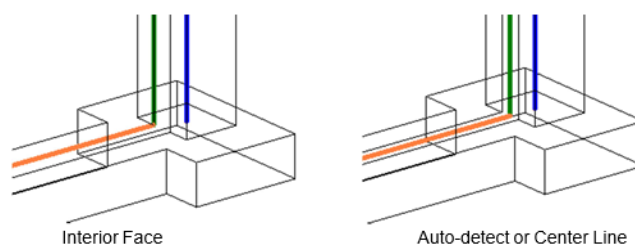


Figura 4.30 – O efeito do parâmetro automático no modelo analítico (Autodesk, 2014).

## 4. Elementos inclinados:

O alinhamento coplanar de um piso inclinado com os parâmetros de projeção definidos para detecção automática, alinha automaticamente a linha de analítica, ao plano analítico do piso, onde o piso está definido como topo da laje ou fundo da laje (Figura 4.31).

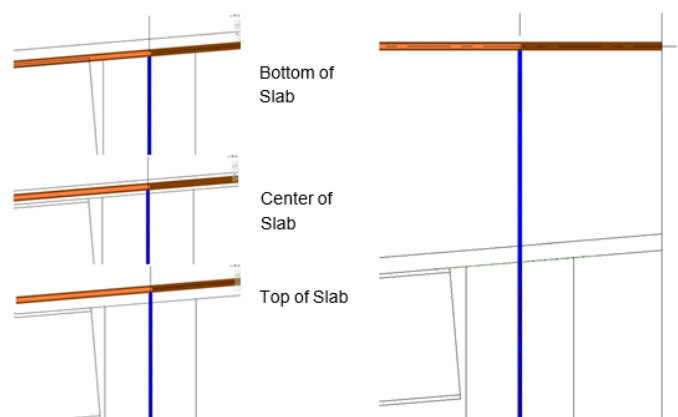


Figura 4.31 – Linhas analíticas da viga (laranja) e da laje (castanho) para várias projeções da laje (Autodesk, 2014).

##### 5. Alinhamento analítico:

O alinhamento analítico abrange duas opções para posicionar o modelo analítico: a autodetecção e projeção.

- O alinhamento analítico é determinado pelas propriedades de instância do elemento estrutural.
- O ajuste automático é realizado num elemento estrutural em relação a um elemento estrutural vizinho.

O Revit pode ajustar automaticamente o modelo analítico para vigas, treliças, pilares, paredes, lajes de pisos e lajes de fundação, de modo a alinhar esses elementos com mais precisão. Este comportamento é baseado nos parâmetros de instância dos elementos e configurações de tolerância.

##### 6. Ajuste manual do modelo analítico:

O *software* Revit inclui um modo de edição analítica especial que permite a manipulação direta do modelo analítico, proporcionando um maior controle. No modo de edição, o utilizador pode modificar diretamente os elementos do modelo analítico de vigas, treliças, pilares, lajes e paredes.

Quando o modo de edição é ativado, os elementos do nó aparecem nas extremidades de todos os feixes analíticos, suportes e pilares. As lajes dos pisos, lajes de fundação e paredes têm nós analíticos de canto.

Quando o elemento analítico linear é selecionado, os *widgets* são exibidos nas extremidades do elemento, com o sistema de coordenadas local. Pode-se alternar entre o

sistema de coordenadas global e locais, simplesmente pressionando a barra de espaço (Figura 4.32).

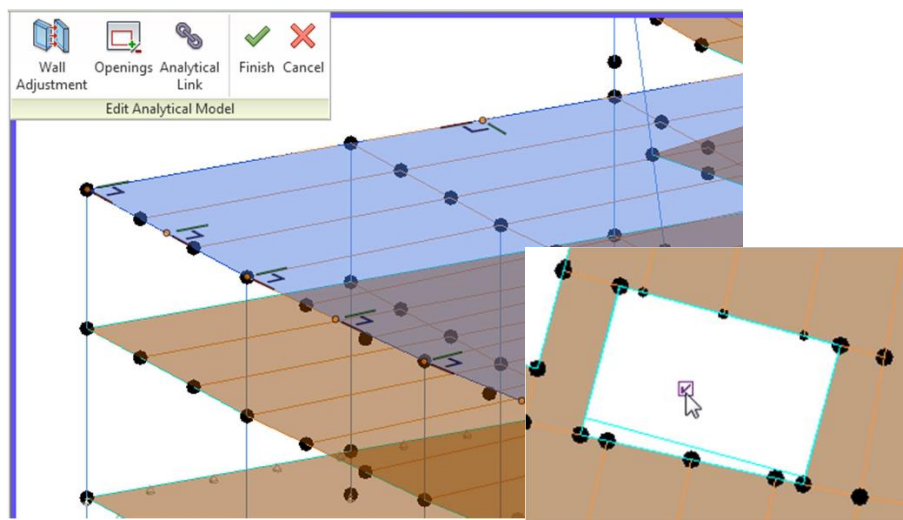


Figura 4.32 – Modo de edição analítica que permite a manipulação direta do modelo analítico (Autodesk, 2014).

Quando as lajes no modelo analítico são selecionadas, o utilizador vê os controlos colocados nos cantos e arestas, o que permite a manipulação direta do modelo analítico. Pode-se seleccionar as arestas individuais usando a tecla *Tab* enquanto passa o rato sobre a aresta.

Ao seleccionar o próprio nó analítico, resulta na exibição de um *widget* no nó. Mover o nó moverá as extremidades de todos os elementos que o unem. Para remover um único elemento do nó analítico, primeiro selecciona-se o elemento e, em seguida, utiliza-se os *widgets* que aparecem na extremidade para mover apenas a extremidade do elemento. O mesmo comportamento funciona para multiselecção. O link analítico é um elemento que conecta dois nós analíticos separados. Os links analíticos podem ser utilizados em situações como conectar pilares ou vigas deslocadas ou modelar diafragmas de piso rígido. A criação manual de links analíticos ajuda a simplificar e acelerar a análise estrutural do modelo.

Antes de enviar um modelo Revit, é importante verificar os suportes dos membros e realizar as verificações de consistência analítica/paramétrica do modelo. Estas verificações também ajudam a evitar a criação de nós duplicados e a geração de outros erros ou avisos ao vincular nos *softwares* de análise estrutural.

Após verificar o modelo com o comando *Analytical consistency checks*, recebe-se um aviso de eventuais erros ou falhas, analisa-se a zona do aviso e procede-se ao ajuste, no exemplo da (Figura 4.33) desloca-se o canto da laje para o nó da viga.

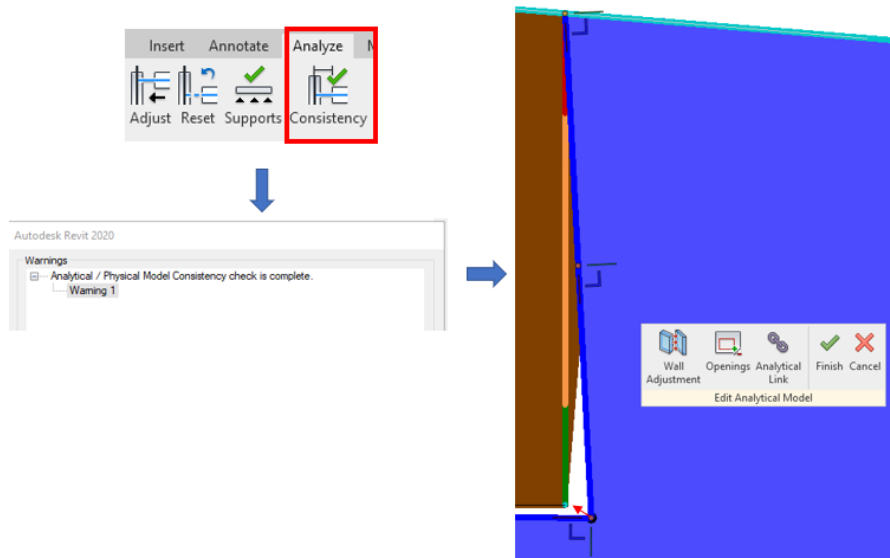


Figura 4.33 – Análise da consistência do modelo e ajuste dos avisos.

Terminada a verificação e a consistência do modelo analítico, procede-se à transferência, para os softwares de análise estrutural, tal como se mostra na Figura 4.34, o aspeto final do modelo analítico.

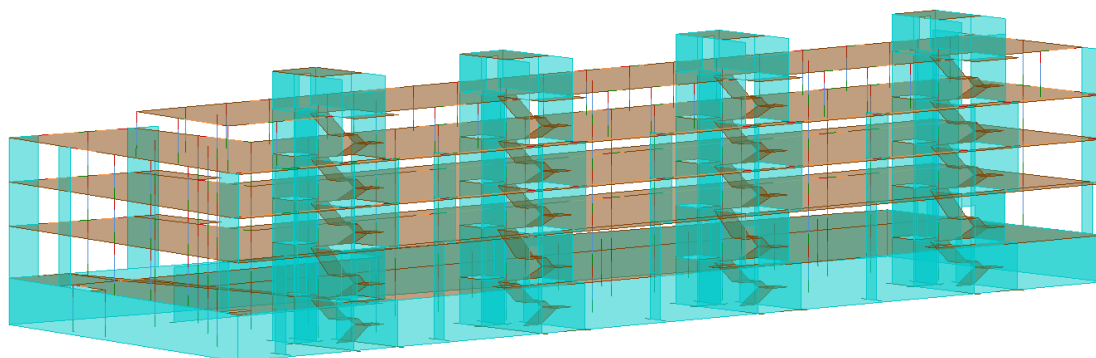


Figura 4.34 – Finalização do modelo analítico.

A integração entre o Revit e *softwares* de análise estrutural, facilita a coordenação da informação de projeto. As boas práticas recomendadas, e as diversas ferramentas de ajuste, para preparar o modelo analítico, oferecem a possibilidade de interoperabilidade adequada com os *softwares* de análise estrutural amplamente utilizadas.

#### 4.7.2 Link Revit-RSA

A transferência do modelo analítico do Revit para o RSA, é feita no separador *Analyze*, em seguida clica-se em *Robot Structural Analysis* e escolhe-se *Robot Structural Analysis Link*, após o procedimento abre uma caixa de diálogo com várias opções e escolhe-se *Send*

*Model e Diretc integration*, também é possível criar um ficheiro com a extensão “*sm.xx*” e importar a partir do RSA (Figura 4.35).

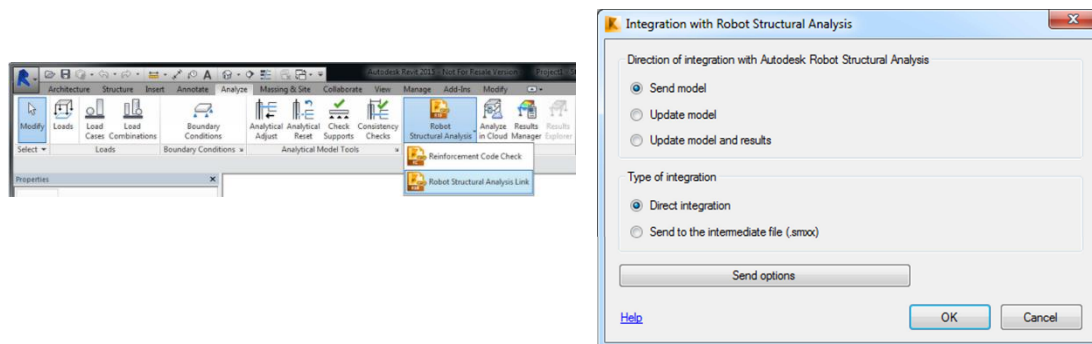


Figura 4.35 – Menu do Link Revit-RSA.

Das várias tentativas, a que se revelou mais adequada, consistiu em preparar previamente as configurações no RSA de acordo com as configurações dos Eurocódigos. Com as configurações adequadas no Revit executa-se o *Send Model*, assim assegura-se que os materiais e os parâmetros estão definidos de acordo com o enquadramento europeu e obtém-se o modelo (Figura 4.36).

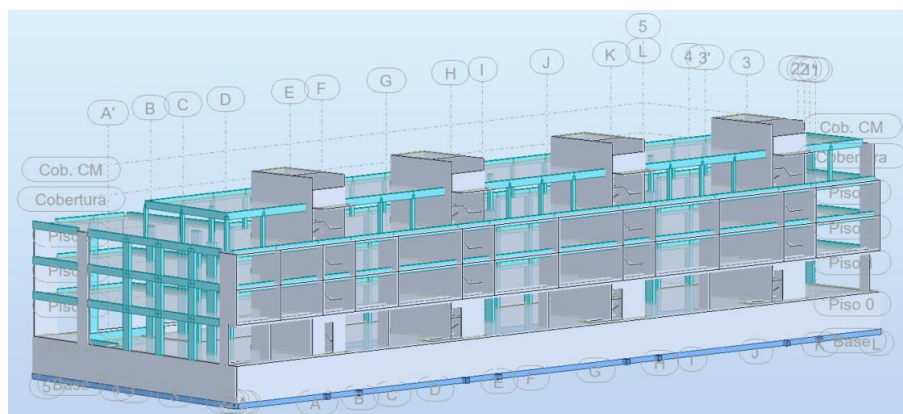


Figura 4.36 – Modelo no RSA após a transferência.

Os passos seguintes, consistem na realização da análise estrutural, colocando as cargas e combinações, adequando a malha nos elementos Shell e correr os cálculos (Figura 4.37).

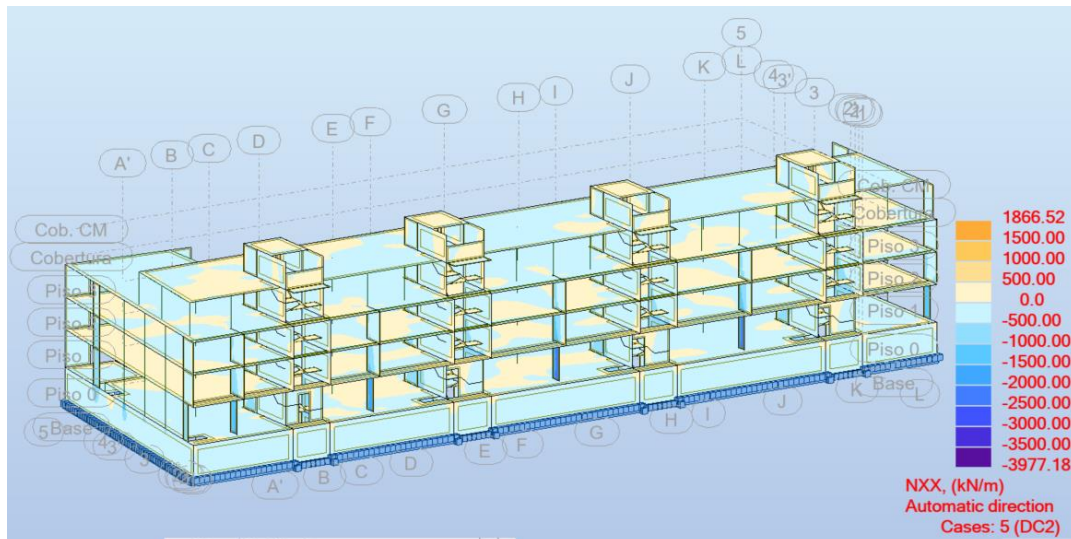


Figura 4.37 – Diagrama de tensões do esforço normal no RSA.

### 4.7.3 Link Revit-ETABS

A transferência do modelo analítico do Revit para o ETABS, é realizada de forma distinta da anterior, clica-se no separador *Add-In*, em seguida escolhe-se *External Tools* e seleciona-se *Export to Create New ETABS Model...*, após o procedimento abre uma caixa de diálogo, onde nos mostra a seleção dos elementos estruturais no Revit que vão ser enviados para o ETABS, em seguida clica-se em OK (Figura 4.38). Após a seleção dos elementos, a API faz um ficheiro com a extensão “*exr*” e coloca-se na pasta apropriada.

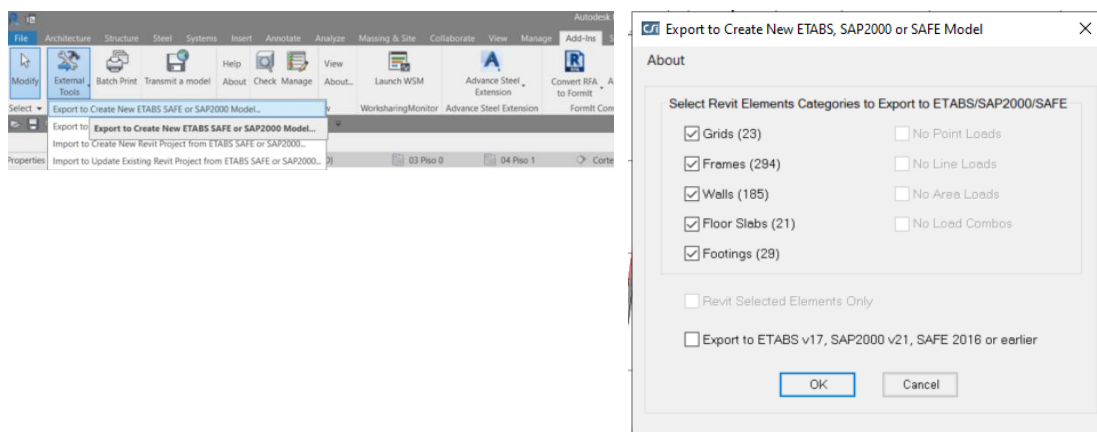


Figura 4.38 – Menu do Link Revit-ETABS.

Nas várias tentativas de transferência, a que ocorreu melhor, foi quando o ETABS é previamente configurado com as normas dos Eurocódigos. Este procedimento não é direto como no RSA, então no ETABS deve-se escolher *new model*, no separador *File* selecionar *import* e em seguida *Revit “Structure.exr File...”* (Figura 4.39).

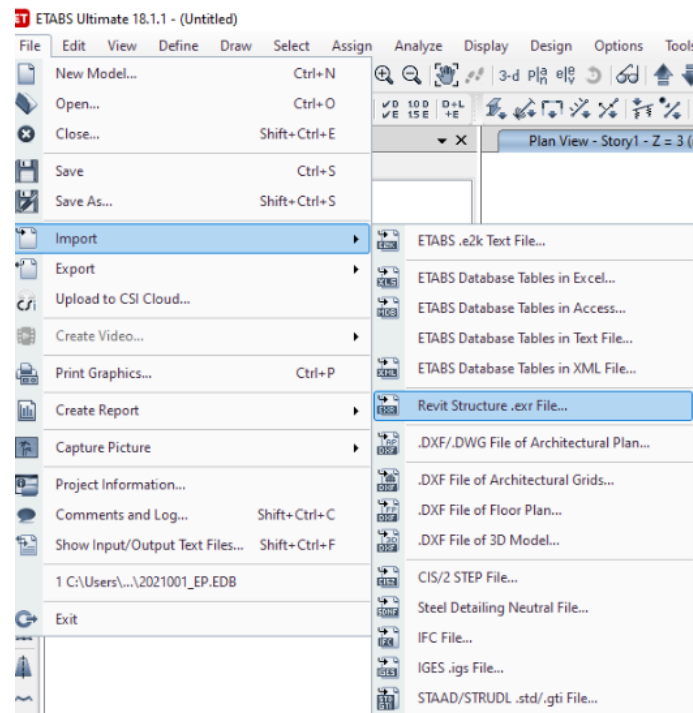


Figura 4.39 – Menu de importação no ETABS.

Obtendo-se o modelo no ETABS conforme se mostra na Figura 4.40.

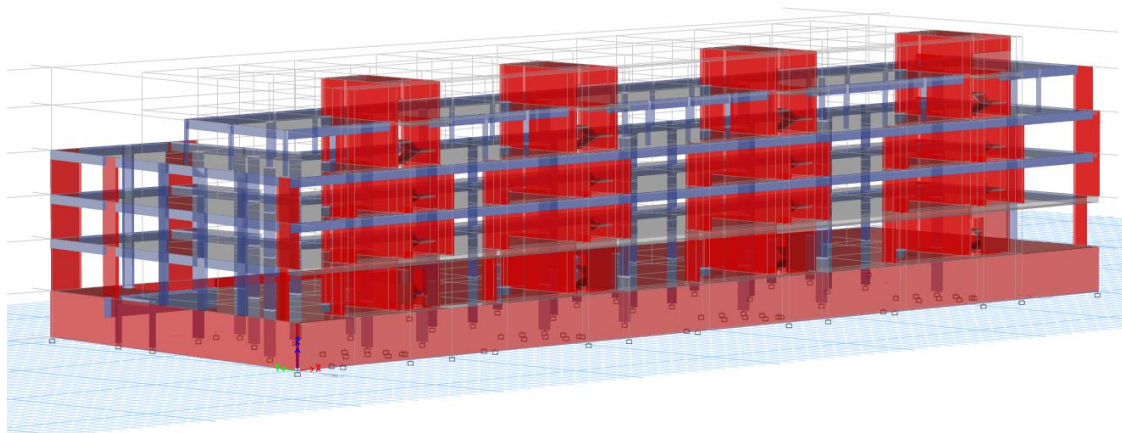


Figura 4.40 – Modelo no ETABS após a transferência.

Tal como no RSA, os passos seguintes, consistem na realização da análise estrutural, com a colocação das cargas e combinações, adequar a malha nos elementos Shell e correr os cálculos (Figura 4.41).

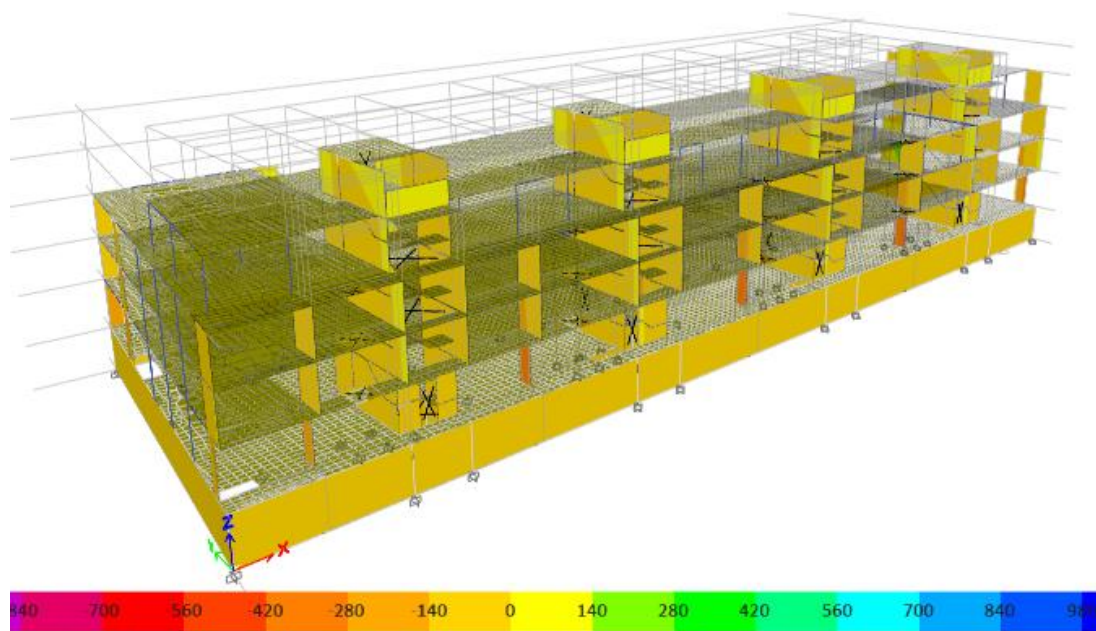


Figura 4.41 – Diagrama de tensões do esforço normal no ETABS.

#### 4.7.4 Análise das transferências

Ambas as transferências correram como esperado, no caso do RSA a transferência é realizada diretamente, sem a necessidade de abrir o *software* de análise estrutural, após a transferência aparece a caixa de avisos, que alerta para situações a ter em atenção. No ETABS a transferência exige outro procedimento, em primeiro lugar executa-se a aplicação no Revit, que fornece um ficheiro com a extensão “*exr*” e posteriormente no *software* ETABS, com as configurações adequadas, procede-se à sua importação, após a transferência também surge uma caixa de aviso, onde alerta as diversas situações a ter em atenção.

Na fase de transição de 2D/CAD para o BIM conceber em conjunto o modelo paramétrico e analítico, pode ser um processo um pouco complexo. Os procedimentos anteriores têm bidirecionalidade, ou seja, depois de terminada a análise estrutural e com as alterações realizadas, pode-se exportar os ficheiros para o Revit.

Apesar de ser um processo com viabilidade, as organizações têm processos próprios e não sendo uma peça essencial para a implementação do BIM, a organização nesta fase de transição pode continuar com os seus processos de análise estrutural, para não promover ainda mais a perda de produtividade, numa fase mais estabilizada é uma alternativa a ter em conta.

## 4.8 Anteprojeto - entrega do modelo

Como foi referido anteriormente as fases de programa base, estudo prévio e anteprojeto envolvem mais esforço na metodologia BIM, mitigando o enorme esforço que envolve o projeto de execução.

A fase do anteprojeto destina-se a esclarecer a solução proposta, inicia-se a apresentação do projeto com maior grau de pormenor nas futuras soluções, preparando as bases para o projeto de execução.

Nesta fase o projeto de estruturas além da interoperabilidade com o projeto de arquitetura, inicia a colaboração e a interoperabilidade com os diversos projetos de especialidades, estabelecendo assim maior eficiência e produtividade no projeto.

No presente trabalho elabora-se a título de exemplo a preparação das peças desenhadas e mapas de quantidades para a fase de anteprojeto. Não sendo o âmbito deste trabalho a análise estrutural do edifício em questão, mas sim a implementação da metodologia BIM, as peças desenhadas de armaduras apresentadas são apenas representativas, não tendo sido verificadas para efeito de projeto de estruturas.

### 4.8.1 Pormenorização

Para a apresentação da fase de anteprojeto, além das peças desenhadas, de plantas e cortes à escala 1:100, designados por “desenhos gerais”, inicia-se a pormenorização do projeto de estruturas. O BEP deve definir o nível de pormenorização dos elementos estruturais, bem como quais as peças desenhadas a entregar nesta fase, caso não esteja definido é o engenheiro diretor do projeto de estruturas que deve propor à coordenação as peças desenhadas a entregar.

A gestão da pormenorização no *software* Revit, requer uma estruturação muito organizada, a coordenação interna da organização deve estabelecer os requisitos a adotar no ficheiro de acordo com o BEP. Nesta fase é importante definir qual o número de colaboradores que vão intervir no projeto de estruturas, qual o nível pretendido que o ficheiro deve ter, se o acesso é só de um utilizador ou vários utilizadores em simultâneo. O Revit disponibiliza na área de colaboração (*Collaborate*), o trabalho de equipa em simultâneo, em projetos de grande dimensão, auxiliando a gestão e produtividade do projeto.

Nesta fase a colaboração com todos intervenientes de projeto é muito importante, além da arquitetura, inicia-se a colaboração com as diversas disciplinas para a compatibilização do projeto.

#### 4.8.1.1 Métodos de inserção de armaduras

Ao desenvolver a análise estrutural, inicia-se a pormenorização dos elementos estruturais, sendo concretizada em peças desenhadas, no caso corrente sendo um edifício de betão armado, é realizada maioritariamente com pormenorização de armaduras ordinárias.

A gestão da pormenorização no Revit requer uma elevada organização do ficheiro, num projeto de média dimensão o número de pormenores a gerir pode chegar facilmente às centenas. Por isso é importante ter o *project browser* do Revit organizado de forma a encontrar facilmente os pormenores.

Tal como na metodologia em 2D/CAD é necessário definir a localização dos pormenores nas plantas ou nos cortes gerais, para adequar os elementos à nova escala, deste modo proceder-se à inserção das armaduras. No 2D/CAD é um processo que deve ser realizado com especial atenção, porque qualquer alteração no projeto, deve ser revista cuidadosamente, pelo facto do AutoCAD não realizar as alterações automaticamente. No Revit ou noutra *software* BIM, a pormenorização é mais fácil de gerir, porque os *softwares* BIM automatizam as alterações, mas deve-se ter sempre um certo grau de alerta, porque muitas vezes estes processos têm falhas.

O Revit ao longo dos anos tem adicionando cada vez mais funcionalidades para a inserção de armaduras, mas nem sempre é possível realizar com a devida produtividade, a inserção de armaduras ordinárias no Revit.

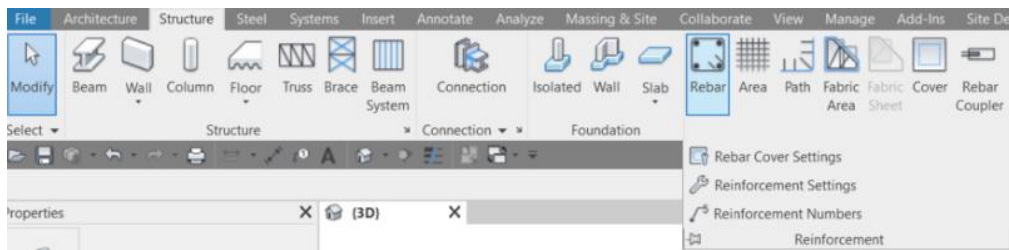
Para elevar a produtividade, existe no mercado vários aplicativos que auxiliam na realização dessa tarefa, entre os quais destaco dois desses produtos, um gratuito e outro pago através de uma subscrição. O *Naviate Rebar Extension (Naviate Rex)* da empresa *Symetri* do grupo *Addnode*, no qual foi utilizado neste trabalho e o *Reinforcement Detailing* da empresa *SOFiSTiK*.

O Revit tem assim dois métodos para a inserir armaduras:

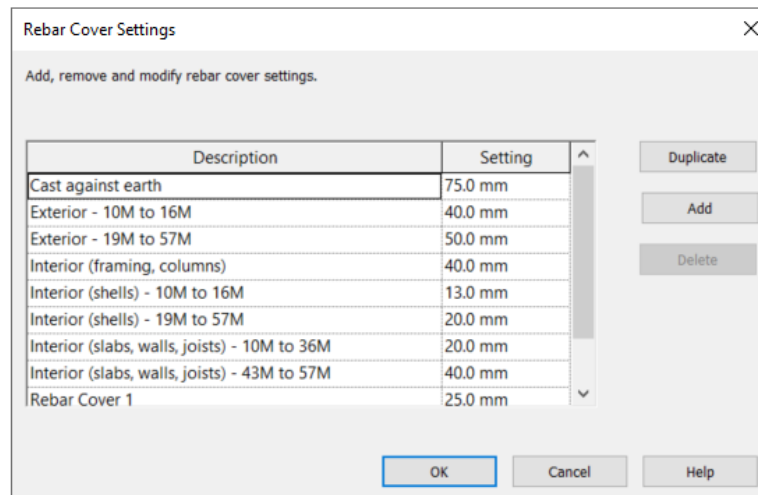
- Modelação das armaduras diretamente nos elementos de estruturas, através do *Rebar* do Revit, sendo esta forma de modelação mais pessoal e flexível para o utilizador.
- Modelação das armaduras nos elementos de estruturas com recurso a extensões, este tipo de modelação requer formação e alguma prática.

Para ambos os métodos o Revit dispõe ainda do auxílio do *Dynamo*, um *software* de programação visual, que pode facilitar, quando houver procedimentos repetitivos.

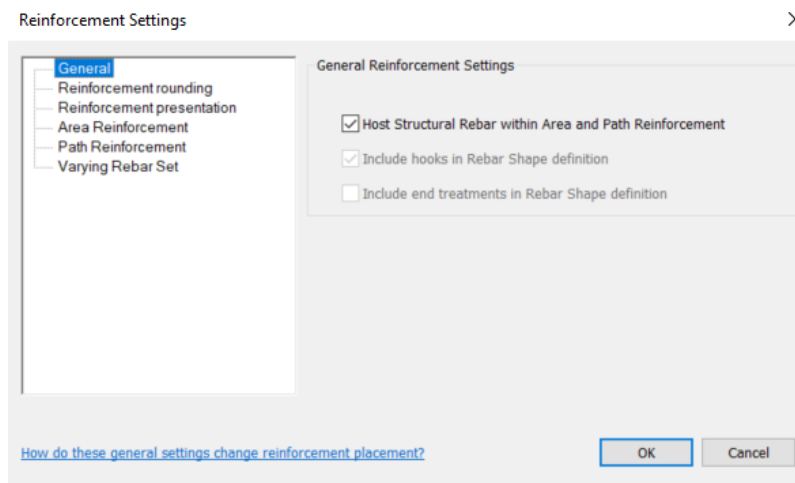
Para inserir as armaduras deve definir devidamente a configuração dos parâmetros a utilizar, de acordo com normas adequadas (Figura 4.42).



a)



b)



c)

Figura 4.42 – a) Caixa de diálogo do *Rebar* b) Configuração do recobrimento c) Configuração de armaduras.

Com as configurações concretizadas, os próximos passos são definir a localização dos diversos pormenores, e é válido para todos elementos a colocar nas peças desenhadas, mostra-se de seguida alguns exemplos.

#### 4.8.1.2 Fundações

Primeiro escolhe-se o elemento para inserir a armadura, em seguida coloca-se na escala pretendida, ajusta-se as cotas e outros elementos necessários à esquematização do pormenor e aplica-se o software *Naviate Rex*.

Nas sapatas isoladas, depois de escolhido o elemento, e a definição dos diversos parâmetros no menu, insere-se as armaduras (Figura 4.43).

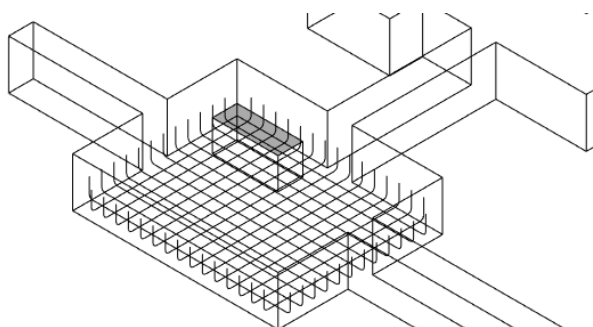
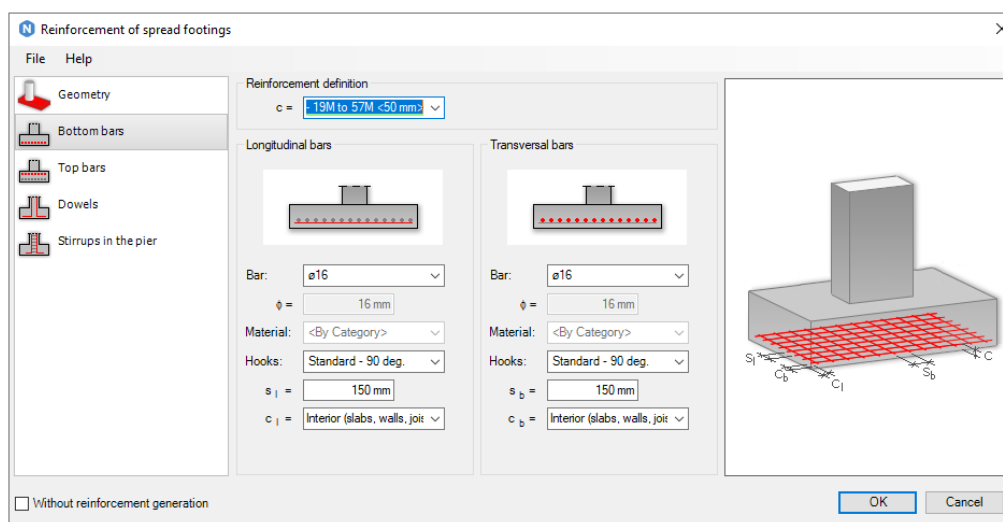


Figura 4.43 – Inserção de armaduras em sapata isoladas.

Também é possível copiar os parâmetros de uma sapata realizada noutro projeto, para tal basta inserir no projeto, modificar as dimensões e as armaduras conforme a necessidade, as fundações em geral são bastante fáceis de modificar, mesmo em sapatas contínuas.

#### 4.8.1.3 Pilares

A pormenorização nos pilares realiza-se da seguinte forma, seleciona-se o pilar e em seguida escolhe-se as várias opções no menu, conforme se o pilar arranca de uma sapata, se está nos pisos intermédios ou se está no último piso, o *software* dá estas opções, só é preciso dar a devida atenção ao escolher uma das situações anteriores (Figura 4.44).

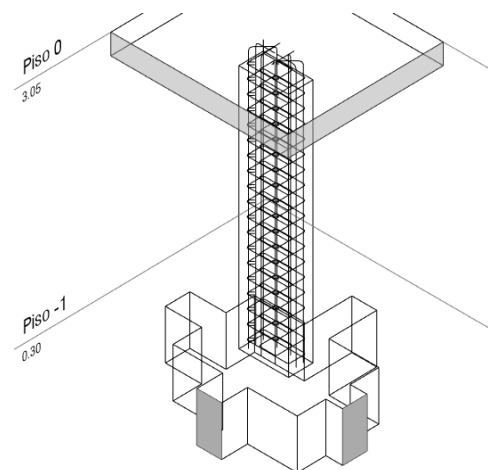
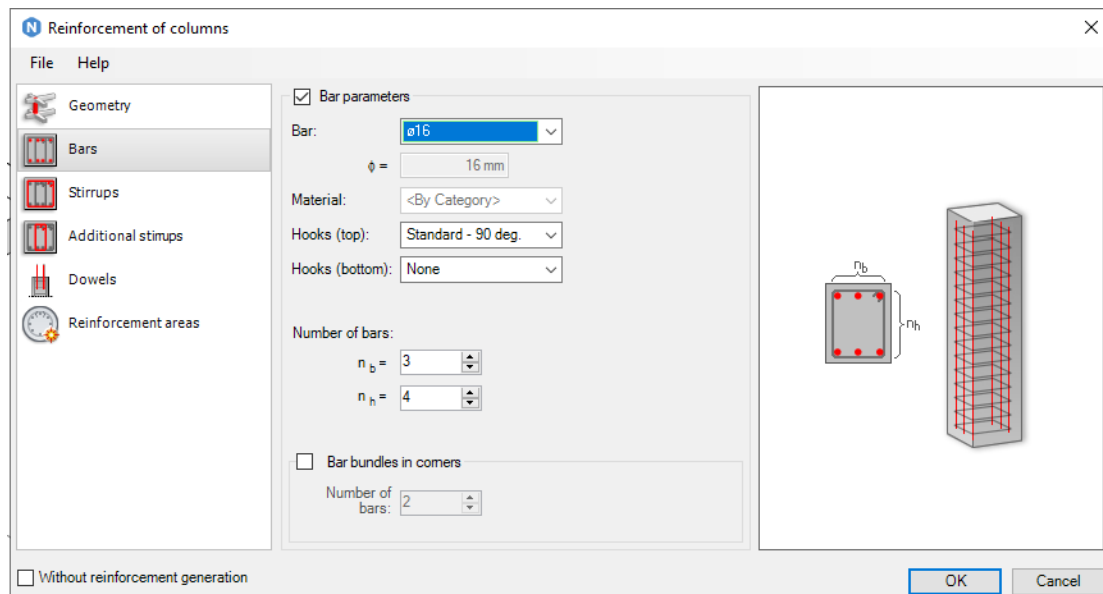


Figura 4.44 – Inserção de armaduras em pilares.

Nos pilares também é possível copiar as armaduras, sem a necessidade de modelar todos os pilares, eventualmente pode-se posteriormente modificar as armaduras.

#### 4.8.1.4 Vigas

A pormenorização das vigas realiza-se conforme os elementos anteriores, seleciona-se a viga e define-se no menu os vários parâmetros, e insere-se as armaduras (Figura 4.45).

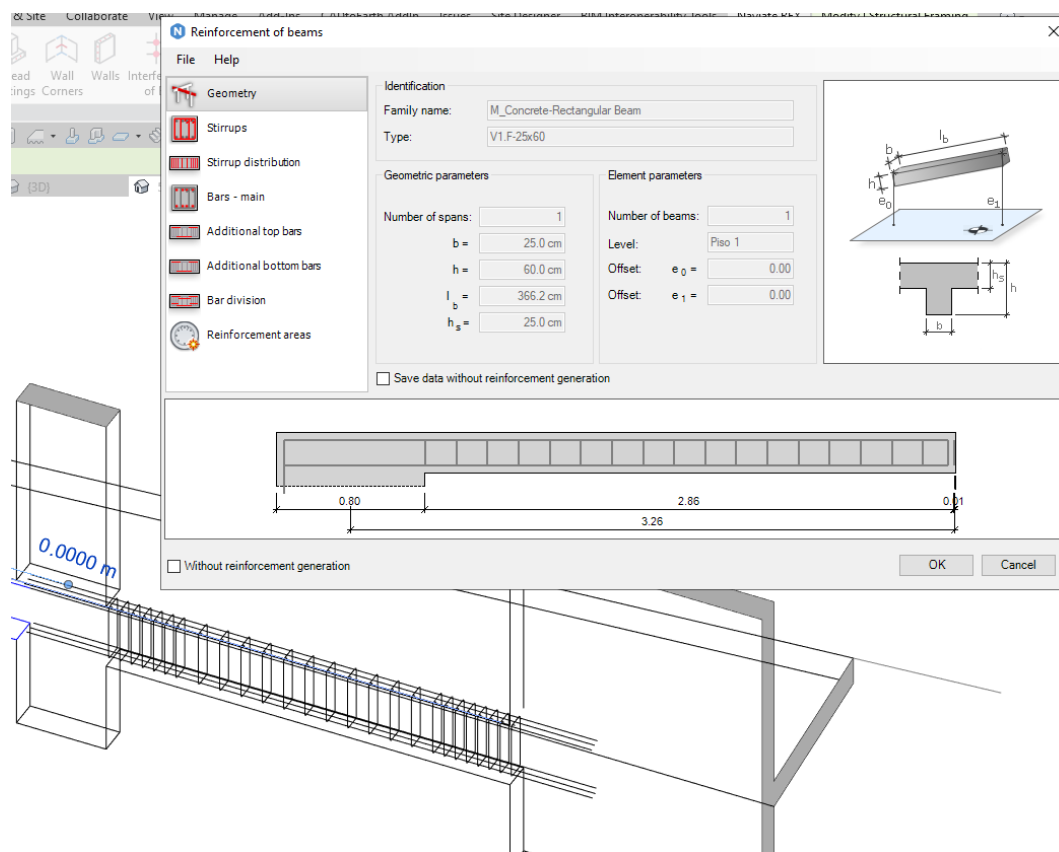


Figura 4.45 – Inserção de armaduras em vigas.

Para os restantes elementos estruturais, como paredes e lajes procede-se da mesma forma, com os devidos ajustes, porque a aplicação tem limitações de inserção de armaduras nos elementos anteriormente referidos. Recorre-se assim ao primeiro método, de ajustar diretamente as falhas da aplicação ou através da aplicação *dynamo*, que pode ser uma alternativa interessante, para a inserção de armaduras.

Com as armaduras inseridas nos elementos, deve-se colocar em cada pormenor, a identificação das armaduras, é um trabalho que requer alguma paciência e atenção.

#### 4.8.2 Mapas de quantidades

Com a modelação e a inserção das armaduras concluídas, passa-se à fase de obtenção dos mapas de quantidades. O Revit tem a capacidade de obter as quantidades de materiais através de tabelas que são previamente configuradas e podem ser posteriormente exportadas em vários formatos.

Para adaptar o modelo do Revit, deve-se ter um conjunto de requisitos para permitir a extração de dados com maior exatidão, de acordo com as regras de medição na construção. A modelação do Revit, adota aspetos automáticos de sobreposição de elementos, uniões e cortes provenientes de intersecções, de forma predefinida e não

passível de alteração no início da mesma. Pode-se efetuar a adaptação às regras e critérios de medição na construção, durante o processo de modelação ou posteriormente (Antunes, 2018).

As tabelas de quantidades estão definidas no *template*, ou seja, o procedimento de criação da tabela é feito à *priori*. Assim quando se termina a modelação, basta extrair os dados para as tabelas, eventualmente pode haver ajustes num ou noutra parâmetro, que deve ser adicionado mais tarde no *template*.

Descreve-se somente o procedimento da criação das tabelas de quantidades para as sapatas (Figura 4.46), este procedimento aplica-se do mesmo modo aos restantes elementos estruturais, mudando o tipo de tabela e os ajustes, para cada tipo de elemento em questão.

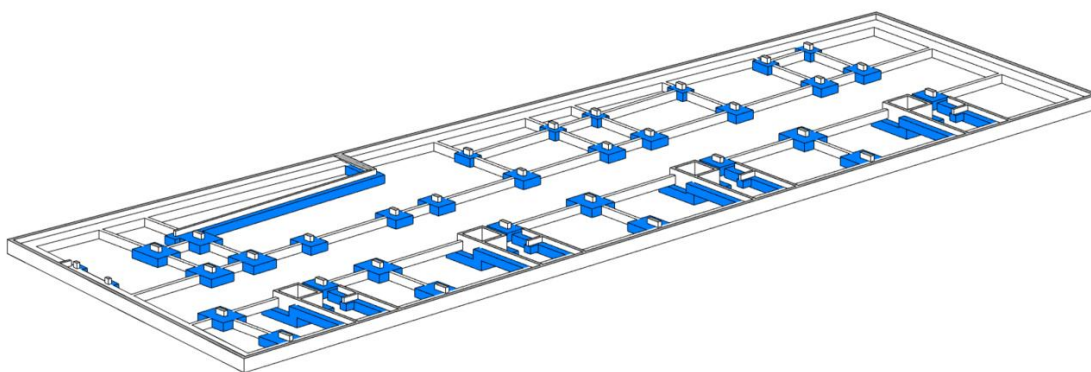


Figura 4.46 – Seleção das sapatas para a criação das tabelas de quantidades.

Para a definição da tabela de sapatas são necessários determinados parâmetros, que se adiciona nas propriedades das tabelas conforme os dados que pretende extrair (Figura 4.47).

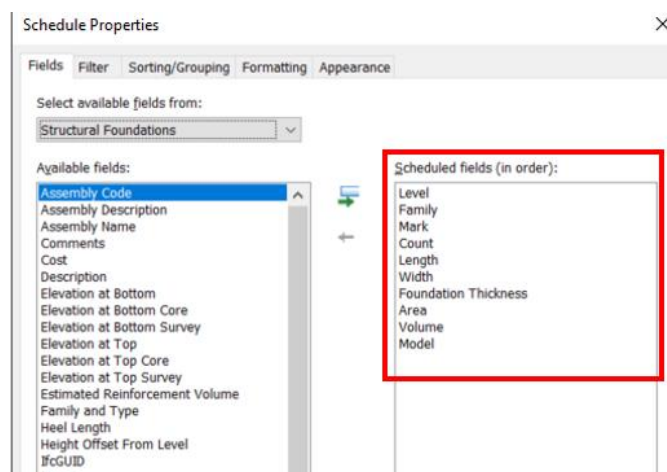


Figura 4.47 – Parâmetros para a criação da tabela dos elementos sapatas.

Para distinguir as sapatas do edifício, das sapatas de paredes de contenção, utiliza-se um filtro, que está no separador *Filter*, e escolhe um termo que deve estar contido na família de sapatas do edifício e que é distinto do que está na outra família, assim o Revit seleciona apenas a palavra do filtro, e não contabiliza as sapatas de paredes de contenção. Neste caso todas as sapatas do edifício devem conter “Sapata Ed”, a fim de serem contabilizadas (Figura 4.48).

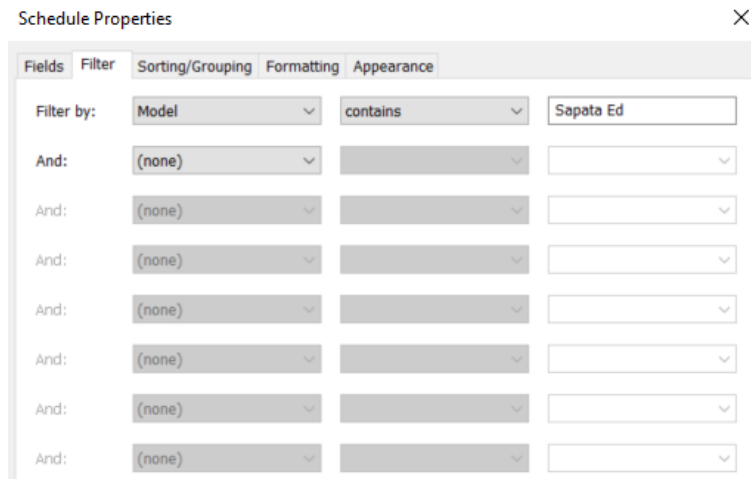


Figura 4.48 – Filtro para selecionar as sapatas do edifício.

No separador seguinte *Sorting/Grouping*, define-se a tabela como deve estar ordenada e agrupada, selecionando para o efeito os parâmetros pretendidos e os que devem mostrar os valores para serem contabilizar (Figura 4.49).

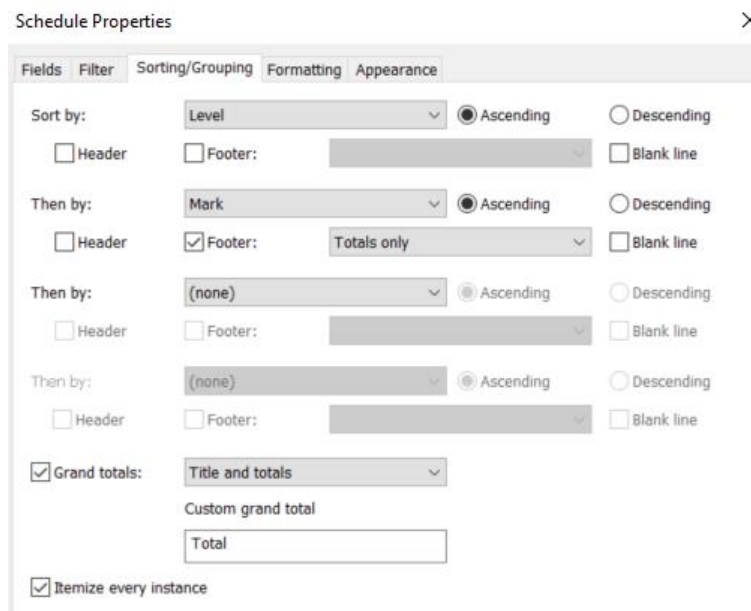


Figura 4.49 – Ordenação e agrupamento dos parâmetros na tabela.

Desta forma consegue-se selecionar apenas as tabelas dos elementos que se pretende obter, neste caso o volume das sapatas do edifício é de 131,612m<sup>3</sup> (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Volume de betão em sapatas.

<3.2.1 Sapatas - Volume de betão>						
A	B	C	D	E	F	G
Pisos	Designação	Nº	Comp.	Larg.	Alt./Esp.	Volume (m3)
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	2.390
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.000
23.390						
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	1.800
7.200						
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	1.800
16.200						
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	0.900
5.400						
Piso -1	S5	1	1.00	1.00	0.50	0.213
Piso -1	S5	1	1.00	1.00	0.50	0.213
0.425						
	SN1	1	6.75	1.30	0.60	3.783
	SN1	1	5.75	1.30	0.60	3.003
	SN1	1	2.40	1.30	0.60	1.092
Piso -1	SN1	1	3.45	3.28	0.60	6.779
Piso -1	SN1	1	0.78	1.30	0.10	0.101
14.758						
	SN2	1	6.75	1.30	0.60	3.783
	SN2	1	5.75	1.30	0.60	3.003
	SN2	1	2.40	1.30	0.60	1.092
Piso -1	SN2	1	3.45	3.28	0.60	6.779
Piso -1	SN2	1	0.78	1.30	0.10	0.101
14.758						
	SN3	1	6.75	1.30	0.60	3.783
	SN3	1	5.75	1.30	0.60	3.003
	SN3	1	2.40	1.30	0.60	1.092
Piso -1	SN3	1	3.45	3.28	0.60	6.779
Piso -1	SN3	1	0.78	1.30	0.10	0.101
14.758						
	SN4	1	6.75	1.30	0.60	3.667
	SN4	1	5.75	1.30	0.60	3.003
	SN4	1	2.40	1.30	0.60	1.092
Piso -1	SN4	1	0.78	1.30	0.10	0.101
Piso -1	SN4	1	3.45	3.28	0.60	6.779
14.642						
	SP1	1	18.47	1.00	0.60	11.080
11.080						
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	2.250
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	2.250
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	2.250
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	2.250
9.000						
Total						131.612

O Revit não proporciona a possibilidade de criação de tabelas de cofragens e, como tal, deve-se associar ao Revit uma extensão que possibilite essa medição. Uma das extensões que pode proporcionar a medição da cofragem, denomina-se *Sofistik BIM Tools*, a qual dispõe de vários parâmetros relacionados com a medição. A aplicação permite obter do modelo BIM as áreas de cofragem lateral, e inferior, sendo estes dependentes de parâmetros definidos à priori pelo utilizador e, portanto, passíveis de adaptação (Antunes, 2018).

Os parâmetros de medição são, aberturas em paredes, lajes e vigas e o ângulo mínimo limite a partir do qual se deve considerar o uso de cofragem. A janela de interação é visualizada quando requerida a medição de área de cofragem através da ferramenta *Formwork Areas* localizada no separador *BIMTOOLS*.

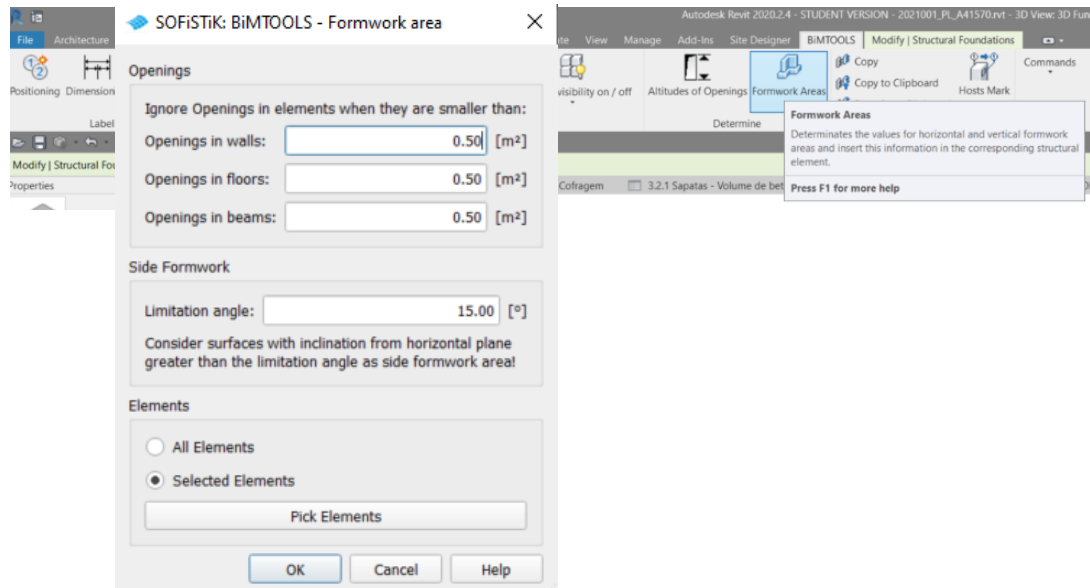


Figura 4.50 – Ordenação e agrupamento dos parâmetros na tabela.

Desta forma consegue-se criar as tabelas de cofragens nas sapatas, o total é de 240,462m<sup>2</sup> (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Cofragens em sapatas.

<3.3.1 Sapatas - Cofragem>						
A	B	C	D	E	F	G
Pisos	Designação	Nº	Comp.	Larg.	Alt./Esp.	Area (m²)
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	3.590
Piso -1	S1	1	2.50	2.00	0.60	5.400
						8 41.390
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S2	1	2.00	1.50	0.60	4.200
						4 16.800
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
Piso -1	S3	1	2.00	1.50	0.60	4.200
						9 37.800
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
Piso -1	S4	1	1.50	1.00	0.60	3.000
						6 18.000
Piso -1	S5	1	1.00	1.00	0.50	0.925
Piso -1	S5	1	1.00	1.00	0.50	0.925
						2 1.851
	SN1	1	6.75	1.30	0.60	6.600
	SN1	1	5.75	1.30	0.60	4.620
	SN1	1	2.40	1.30	0.60	2.460
Piso -1	SN1	1	3.45	3.28	0.60	8.070
Piso -1	SN1	1	0.78	1.30	0.10	0.415
						5 22.165
	SN2	1	6.75	1.30	0.60	6.600
	SN2	1	5.75	1.30	0.60	4.620
	SN2	1	2.40	1.30	0.60	2.460
Piso -1	SN2	1	3.45	3.28	0.60	8.070
Piso -1	SN2	1	0.78	1.30	0.10	0.415
						5 22.165
	SN3	1	6.75	1.30	0.60	6.600
	SN3	1	5.75	1.30	0.60	4.620
	SN3	1	2.40	1.30	0.60	2.460
Piso -1	SN3	1	3.45	3.28	0.60	8.070
Piso -1	SN3	1	0.78	1.30	0.10	0.415
						5 22.165
	SN4	1	6.75	1.30	0.60	6.600
	SN4	1	5.75	1.30	0.60	4.620
	SN4	1	2.40	1.30	0.60	2.460
Piso -1	SN4	1	0.78	1.30	0.10	0.415
Piso -1	SN4	1	3.45	3.28	0.60	8.070
						5 22.165
	SP1	1	18.47	1.00	0.60	22.161
						1 22.161
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	3.450
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	3.450
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	3.450
	SP2	1	2.55	2.00	0.60	3.450
						4 13.800
Total			54			240.462



Com o projeto-piloto, obteve-se um modelo paramétrico 3D, através da interoperabilidade como o projeto de arquitetura e a integração com os softwares de estruturas, bem como a produção das peças desenhadas das plantas e cortes à escala 1:100, e algumas peças desenhadas de pormenorização, mas não totalmente acabadas.

Fica evidente que a escolha do primeiro projeto é muito relevante, optar por um projeto de média ou de grande dimensão, pode não ser a melhor decisão. As organizações que estão a planear a integração da metodologia BIM, devem escolher no início projetos de pequena dimensão e aos poucos avançar para projetos de média dimensão, e com a implementação da metodologia bem estabelecida desenvolverem projetos de grande dimensão.

Em síntese, pode-se dizer que avaliação da metodologia aborda duas fases:

- **A escolha do *software* de modelação:** O Revit é uma escolha adequada para modelação de estruturas de betão. Como toda a mudança requer uma formação bem estruturada. O Revit tem uma curva de aprendizagem muito acentuada no início, mas que vai estabilizando ao longo tempo. A formação deve ter vários níveis de desenvolvimento, não é suficiente um único nível de formação, a organização deve ponderar a formação aos colaboradores, por vários níveis de formação, tais como o básico, o médio e o avançado.
- **Os fluxos de trabalho:** importa esclarecer que este ponto, está dependente da normalização que for implementada em Portugal, mas se a opção for pelos procedimentos da ISO 19650, é uma mudança de paradigma, onde as organizações devem de adaptar-se rapidamente. Neste trabalho foram abordados alguns pontos que podem ser relevantes, quanto a essa mudança. É importante um planeamento estratégico, para implementar a metodologia BIM, porque é um processo complexo e faseado. O presente trabalho mostra que a implementação se deve fazer por fases.

Fica assim demonstrado, que a existência de um planeamento estratégico torna possível uma implementação gradual da metodologia BIM, sendo que esta requer formação e a colaboração de todos os intervenientes da metodologia.

## 5 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

O foco do presente trabalho consistiu no desenvolvimento de um projeto de estruturas de um edifício, interligado ao projeto de arquitetura, através de um modelo paramétrico 3D realizado no software de modelação Revit, que demonstra as principais potencialidades BIM, na utilização deste recurso ao longo de um estudo de caso.

### 5.1 Conclusões

As conclusões mais relevantes deste trabalho, envolvem a implementação da metodologia BIM no desenvolvimento de projetos de estruturas, com recurso à utilização de ferramentas BIM na modelação estrutural e ao planeamento estratégico da metodologia BIM.

Implementar a metodologia BIM, requer uma boa compreensão sobre a temática BIM, um conhecimento dos fundamentos mais relevantes, das ferramentas mais adequadas e dos seus benefícios. Para ter uma base sustentada dos objetivos, associados ao investimento, e a uma tomada de decisão coesa, de modo a implementar a metodologia BIM.

A decisão da implementação da metodologia BIM está dependente de determinados fatores para adotar esta mudança de paradigma. Neles se destacam os mais relevantes: o conhecimento da metodologia, o investimento necessário e o intervalo de tempo para a implementar. A solução está no planeamento bem estruturado, na formação das pessoas, no envolvimento de todos intervenientes do sector da AEC e da disseminação da normalização.

Foi neste contexto que se enquadrou o presente trabalho, que visou demonstrar a exequibilidade da metodologia BIM, demonstrando que a utilização das ferramentas BIM trazem vantagens, mesmo quando direcionadas para o projeto de estruturas.

O estudo de caso analisado, corresponde a um projeto de um edifício de comércio e habitação, cujo projeto de arquitetura, modelado em Revit, foi desenvolvido com a colaboração do gabinete de arquitetura CAS Arquitectos, para o qual foi preconizada uma solução estrutural de betão armado, também modelada em Revit. A modelação do projeto-piloto revelou que a escolha inicial é muito importante para implementar a metodologia. As organizações devem inicialmente optar por projetos de pequena dimensão e faseadamente desenvolver projetos de média e grande dimensão.

Em relação ao primeiro objetivo foi cumprido, a escolha pelo Revit revelou-se adequada para projetos de estruturas de betão, no entanto, existem algumas limitações de modelação, mas que se ajustam com outras soluções disponibilizadas pelo *software*.

A interoperabilidade com o projeto de arquitetura, foi de fácil integração devido à compatibilidade entre os *softwares*, já que ambos pertencem à mesma organização.

O objetivo de obter o modelo paramétrico em conjunto com o modelo analítico revelou-se um processo complexo, mas com o desenvolvimento do modelo, a adaptação foi melhorando. A integração do modelo BIM com os modelos estruturais ainda tem algumas limitações, mas é um procedimento com viabilidade.

A obtenção das peças desenhadas não se conseguiu alcançar o pretendido; todavia, foi possível obter as peças desenhadas das plantas e dos cortes à escala 1:100, e algumas peças desenhadas à escala 1:20. Após a inserção da pormenorização de armaduras foi possível obter as tabelas de quantidades verificando-se que a metodologia é exequível, mas ainda requer uma formação adequada para essa tarefa. A inserção e a pormenorização de armaduras, apesar de facilitada com o *Naviate Rebar Extension*, ainda apresenta algumas dificuldades de modelar adequadamente no modelo Revit.

Conclui-se, desta forma, que apesar de existirem algumas dificuldades, a implementação da metodologia BIM no desenvolvimento de projetos de estruturas é possível, pelo que as organizações podem apostar na formação dos seus colaboradores e fazer os investimentos necessários através de um planeamento bem estruturado, devendo a sua utilização em gabinetes de engenharia ser incrementado e incentivada.

## 5.2 Perspetivas futuras

O presente trabalho foi desenvolvido durante a transição da normalização BS 1192 para a ISO 19650, no Reino Unido. Em Portugal ainda se aguarda por normalização específica aplicável, todavia constata-se que as ferramentas computacionais não se encontram perfeitamente adaptadas às normas existentes, pelo que as áreas a serem exploradas no futuro, devem envolver um esforço de ligação entre as normas e os softwares, nomeadamente ao nível dos seguintes aspetos:

- Na interligação de *softwares* de diferentes formatos;
- Na coordenação de projetos das várias disciplinas, no âmbito da ISO 19650.

O presente trabalho procura desenvolver uma reflexão, sobre a inexistência de normalização quando se pretende trabalhar em BIM, salienta-se a necessidade de desenvolvimento de fluxos de trabalho adicionais e difusão de regras de modelação,

nomeadamente com as restantes disciplinas de projeto. É essencial aprofundar a interoperabilidade entre diversas ferramentas computacionais envolvidas nos diferentes tipos de análise, provenientes de diversas organizações.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDI, & MDIC. (2017). A Implantação de Processos BIM. Em *Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC* (Vol. 6). Obtido de [https://mutual.com.br/wp-content/uploads/2018/01/guia-bim06\\_20171123\\_WEB.pdf](https://mutual.com.br/wp-content/uploads/2018/01/guia-bim06_20171123_WEB.pdf)
- Adams, J. (2018). CPD: A Guide to Level 2 BIM. Obtido de Royal Charter - BIM Portal website: <https://www.bimplus.co.uk/explainers/continuing-professional-development-guide-level-2/>
- AECMagazine. (2019). What comes after Revit? Autodesk aims to reinvent collaborative BIM . Obtido de AECMagazine website: <https://www.aecmag.com/technology-mainmenu-35/1821-beyond-revit-autodesk-seeks-to-reinvent-collaborative-bim>
- Ahmad, M. A., Demian, P., & Price, A. (2012). BIM implementation plans: A comparative analysis. *ARCOM 28th Annual Conference, 1*, 33–42. Obtido de [https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference\\_contribution/Building\\_information\\_modelling\\_implementation\\_plans\\_a\\_comparative\\_analysis/9426008](https://repository.lboro.ac.uk/articles/conference_contribution/Building_information_modelling_implementation_plans_a_comparative_analysis/9426008)
- AIA. (2007). Integrated Project Delivery: A Guide. Em *The American Institute of Architects* (Vol. 1). Obtido de <https://www.aia.org/resources/64146-integrated-project-delivery-a-guide>
- Aish, R. (1986). Building modelling the key to integrated construction CAD. *The Fifth International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings*, 54–67. Obtido de [https://www.researchgate.net/publication/320347623\\_Building\\_modelling\\_the\\_key\\_to\\_integrated\\_construction\\_CAD](https://www.researchgate.net/publication/320347623_Building_modelling_the_key_to_integrated_construction_CAD)
- Antunes, B. (2018). Medição de quantidades de trabalho em ambientes tradicional e BIM (Instituto Superior Técnico). Instituto Superior Técnico. Obtido de <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/565303595501986>
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2011). BIM adoption and implementation for architectural practices. *Emerald Group Publishing Limited, 29*, 7–25. <https://doi.org/10.1108/02630801111118377>
- AsBEA. (2013). Guia AsBEA Boas práticas em BIM. Em *Associação Brasileira dos escritórios de Arquitetura* (Vol. 1). Obtido de [www.asbea.org.br/manuais](http://www.asbea.org.br/manuais)
- Autodesk. (2004). *White Paper Return on Investment with Autodesk Revit Investment or Cost*. Obtido de <http://usa.autodesk.com/revit/white-papers/>

- Autodesk. (2014). Integrating Autodesk Revit, Revit Structure, and Robot Structural Analysis Professional. Em *Autodesk*. Obtido de <http://usa.autodesk.com/revit/white-papers/>
- Autodesk. (2017). INTRODUÇÃO AO USO DO BIM EM ENGENHARIA CIVIL. Em *Autodesk*. Obtido de <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/bim/autodesk-ebook-bim-getting-started-guide-infra-pt-br.pdf>
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11, 241–252. <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%29LM.1943-5630.0000127>
- Blanks, L., Eling, Z., & Hanks, K. (2014). BIM Guideline. Em *The Minnesota Department of Administration* (Vol. 1). Obtido de [https://mn.gov/admin/assets/RECS-CS-BIM-Guideline\\_tcm36-208266.pdf](https://mn.gov/admin/assets/RECS-CS-BIM-Guideline_tcm36-208266.pdf)
- buildingSMART.org. (2019). Industry Foundation Classes (IFC) - An Introduction. Obtido de [buildingSMART.org website: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc](https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc)
- buildingSMART.org. (2020). What is openBIM®? - openBIM Definition. Obtido 18 de Julho de 2020, de [buildingSMART.org website: https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/](https://www.buildingsmart.org/about/openbim/openbim-definition/)
- Committee BRISBIM. (2019). AUSTRALIA AND NEW ZEALAND GUIDE TO ISO 19650. Em *BRISBIM*. Obtido de [https://brisbim.com/wp-content/uploads/2019/10/ANZ-Guide\\_ISO19650\\_Industry-Preview.pdf](https://brisbim.com/wp-content/uploads/2019/10/ANZ-Guide_ISO19650_Industry-Preview.pdf)
- Costa, R. (2018). Desenho Técnico para Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Em *PUBLINDUSTRIA* (Vol. 1). Obtido de [https://www.researchgate.net/publication/325538308\\_Desenho\\_Tecnico\\_para\\_Arquitetura\\_Engenharia\\_e\\_Construcao\\_AEC](https://www.researchgate.net/publication/325538308_Desenho_Tecnico_para_Arquitetura_Engenharia_e_Construcao_AEC)
- CT197. (2016). Enquadramento Normativo. Obtido 18 de Julho de 2020, de ONS / IST Comissão Técnica 197 website: <http://www.ct197.pt/index.php/enquadramento-normativo>
- Dispenza, K. (2010). The Daily Life of Building Information Modeling (BIM). Obtido de [buildipedia website: http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim#](http://buildipedia.com/aec-pros/design-news/the-daily-life-of-building-information-modeling-bim#)
- Engelbart, D. C. (1962). *AUGMENTING HUMAN INTELLECT: A Conceptual Framework*. Obtido de

[https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/extra4/sloan/mousesite/EngelbartPapers/B5\\_F18\\_ConceptFrameworkInd.html](https://web.stanford.edu/dept/SUL/library/extra4/sloan/mousesite/EngelbartPapers/B5_F18_ConceptFrameworkInd.html)

- Experts, B. I. M. (2019). Livro de Estilos e Plano de Execução BIM. Obtido de Zigurat Global Institute of Technology website: <https://www.e-zigurat.com/blog/pt-br/livro-de-estilos-plano-de-execucao-bim/>
- Ford, J. (2020a). Guidance Part C - Facilitating the common data environment (workflow and technical solutions). Em *UK BIM Framework*. Obtido de <https://www.ukbimframework.org/standards-guidance/>
- Ford, J. (2020b). Guidance Part F - About information delivery planning. Em *UK BIM Framework*. Obtido de <https://www.ukbimframework.org/standards-guidance/>
- Freire, J., & Alarcón, L. F. (2002). Achieving lean design process: Improvement methodology. *Journal of Construction Engineering and Management*, 128, 248–256. <https://doi.org/10.1061/%28ASCE%290733-9364%282002%29128:3%28248%29>
- Fugas, K. (2020). CDE by ISO 19650 – a process or a solution? Obtido de BIM Corner website: <https://bimcorner.com/cde-within-iso-19650-a-process-or-a-solution/>
- Garcia, J. (2016). *Folhas da disciplina Estruturas de Betão*. Universidade Lusófona.
- Gaspar, J., & Ruschel, R. (2017). A evolução do significado atribuído ao acrônimo BIM: Uma perspectiva no tempo. *XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital*, 3, 423–430. <https://doi.org/10.5151/sigradi2017-067>
- Gonçalves Jr, F. (2018). BIM: Tudo o que você precisa saber sobre esta metodologia. Obtido 18 de Julho de 2020, de AltoQI website: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/>
- Grani, H. (2016). BIM Interoperability - is the industry sailing under false colors? Obtido 19 de Julho de 2020, de Areo blog website: <https://blog.areo.io/bim-interoperability/>
- ISO 19650-1. (2018). Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles. *International Organization for Standardization*, 1(1), 34. Obtido de <https://www.iso.org/standard/68078.html>
- ISO 19650-2. (2018). Information management using building information modelling — Part 1: Delivery phase of the assets. *International Organization for Standardization*, 2(1), 26. Obtido de <https://www.iso.org/standard/68080.html>
- ISO 21597-1. (2020). Information container for linked document delivery — Exchange specification — Part 1: Container. *International Organization for Standardization*, 1(1), 41. Obtido de <https://www.iso.org/standard/74389.html>

- ISO 21597-2. (2020). Information container for linked document delivery — Exchange specification — Part 2: Link types. *International Organization for Standardization*, 1(1), 21. Obtido de <https://www.iso.org/standard/74390.html>
- ISO 29481-1. (2016). Building information models — Information delivery manual — Part 1: Methodology and format. *International Organization for Standardization*, 1(2), 29. Obtido de <https://www.iso.org/standard/60553.html>
- ISO 29481-2. (2012). Building information models — Information delivery manual — Part 2: Interaction framework. *International Organization for Standardization*, 2(1), 74. Obtido de <https://www.iso.org/standard/55691.html>
- Júlio, E. S. (2020). Guia FNRE: Fundo Nacional de Reabilitação do Edificado. Em *FUNDIESTAMO* (Vol. 1). Obtido de <https://fundiestamo.com/guia-fundo-nacional-de-reabilitacao-do-edificado/>
- Knittle, B. (2014). Understanding the Flavors of Revit. Obtido de Synergis Building Solutions Engineer website: <https://www.synergis.com/2014/04/01/introduction-to-multi-discipline-collaboration-in-revit/>
- Lai, H., & Deng, X. (2018). INTEROPERABILITY ANALYSIS OF IFC-BASED DATA EXCHANGE BETWEEN HETEROGENEOUS BIM SOFTWARE. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(7), 537–555. <https://doi.org/10.3846/jcem.2018.6132>
- LaValley, M. (2016). How to Transition from CAD to BIM. Obtido de Architizer website: <https://architizer.com/blog/practice/details/young-architect-guide-bim/>
- Lee, D. G., Park, J. Y., & Song, S. H. (2018). BIM-Based Construction Information Management Framework for Site Information Management. *Advances in Civil Engineering*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5249548>
- Lesniak, Z. K., Grodzki, Z., & Winiarski, M. S. (1975). Optimisation of industrialised building systems. *Building Science*, 10, 169–175. [https://doi.org/10.1016/0007-3628\(75\)90015-8](https://doi.org/10.1016/0007-3628(75)90015-8)
- Liu, Z., Li, Y., & Zhang, H. (2010). IFC-based integration tool for supporting information exchange from architectural model to structural model. *Journal of Central South University of Technology*, 17, 1344–1350. <https://doi.org/10.1007/s11771-010-0640-z>
- Liu, Z., Zhang, F., & Zhang, J. (2016). The Building Information Modeling and its Use for Data Transformation in the Structural Design Stage. *Journal of Applied Science and Engineering*, 19, 273–284. <https://doi.org/10.6180/jase.2016.19.3.05>

- Machado, W. (2020). Aprenda a importância do Relatório A3 para a encontrar e solucionar problemas de forma eficaz. Obtido 18 de Dezembro de 2020, de Voitto - Escola de Gestão website: <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/relatorio-a3>
- Martins, F. R. G. (2017). *Desenvolvimento de um Template de Business Case e aplicação no ciclo de vida de um projeto de uma empresa municipal* (Universidade do Minho). Universidade do Minho. Obtido de <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/56926>
- McPartland, R. (2017). BIM dimensions - 3D, 4D, 5D, 6D BIM explained. Obtido de NBS Enterprises Ltd. website: <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-dimensions-3d-4d-5d-6d-bim-explained>
- Metadados ®. (2020). O que são Metadados? Obtido de Metadados website: <https://www.metadados.pt/oquesaometadados/>
- Mondrup, T., Karlshøj, J., & Vestergaard, F. (2012). Communicate and collaborate by using building information modeling. *ECIB W078 2012 Conference*, 1–9. Obtido de <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55217816>
- Morrical, K. (2015). Design a Program for Everyone in Your Office. Obtido de Autodesk's Redshift website: <https://redshift.autodesk.com/bim-training-tips-for-everyone/>
- Muñoz, S. (2019). INTRODUCCIÓN A LA SERIE EN-ISO 19650 Partes 1 y 2. Em *buildingSMART Spain*. Obtido de <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650-1/>
- NIBS. (2007). National Building Information Modeling Standard. Em *National Institute of Building Sciences* (Vol. 1). Obtido de [http://https://buildinginformationmanagement.files.wordpress.com/2011/06/2Fnbimsv1\\_p1.pdf&usg=AOvVaw2v1hgkzIIVPo8pVYkXLU7J](http://https://buildinginformationmanagement.files.wordpress.com/2011/06/2Fnbimsv1_p1.pdf&usg=AOvVaw2v1hgkzIIVPo8pVYkXLU7J)
- Nunes, G. H., & Leão, M. (2018). Estudo comparativo de ferramentas de projetos entre o CAD tradicional e a modelagem BIM | Comparative study of design tools - the traditional CAD and BIM modeling. *Revista de Engenharia Civil*, 55, 47–61. Obtido de <http://www.civil.uminho.pt/revista/artigos/n55/Pag.47-61.pdf>
- Papadopoulos, N., Sotelino, E., Martha, L., Nascimento, D., & Faria, P. (2017). Avaliação da integração entre uma plataforma BIM e uma ferramenta de análise estrutural. *Sistemas & Gestão - Revista eletrônica*, 12, 108–116. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2017.v12n1.1203>
- Paula, O. M. de. (2017). Método A3: solução ágil e simples. Obtido 18 de Dezembro de 2020, de Excelência em Pauta website: <https://excelenciaempauta.com.br/metodo->

a3-solucao-simples/

- Pereira, M. (2016). Implementação do BIM nas Organizações: Práticas e Sugestões para a Implementação (Universidade do Minho). Universidade do Minho. Obtido de [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/48366/1/Marta Daniela dos Santos Pereira.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/48366/1/Marta%20Daniela%20dos%20Santos%20Pereira.pdf)
- Ray, J. (2020). BIM Beyond Design Guidebook. Em *National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine*. Washington, DC. <https://doi.org/10.17226/25840>
- Ribeiro, D. (2012). Avaliação da aplicabilidade do IPD em Portugal (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Obtido de [https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/images/Tese\\_DavidRibeiro.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~gequaltec/w/images/Tese_DavidRibeiro.pdf)
- Rivera, F. M.-L., Vielma, J. C., Herrera, R. F., & Carvallo, J. (2019). Methodology for Building Information Modeling (BIM) Implementation in Structural Engineering Companies (SECs). *Advances in Civil Engineering*, 2019, 16. <https://doi.org/10.1155/2019/8452461>
- Rustler, W. (2017). Building Information Modeling and Structural Analysis Software: Scenarios and Success Factors for Data Exchange | Dlubal Software. Obtido 19 de Julho de 2020, de Dlubal website: <https://www.dlubal.com/en/support-and-learning/support/knowledge-base/001432>
- Smith, D. K., & Tardiff, M. (2009). BIM: A Strategic Implementation Guide for Architects, Engineers, Constructors, and Real Estate Asset Managers. Em *Wiley, John Wiley & Sons, Inc.* <https://doi.org/10.1002/9780470432846>
- Smith, P. (2014). BIM implementation - global strategies. *Procedia Engineering*, 85, 482–492. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.10.575>
- Teixeira Trigo, L. (2020). Portefólio. Obtido de Teixeira Trigo website: <https://teixeiratrigo.com/home/portefolio/>
- Tobin, J. (2008). atomicBIM - Splitting Data to Unleash BIM's power. *AECbytes*, 1–9. Obtido de <https://www.johntobin.online/s/atomicBIM-2017.pdf>
- United BIM. (2019). BIM Level of Development | LOD 100, 200, 300, 350, 400, 500. Obtido de United BIM website: <https://www.united-bim.com/bim-level-of-development-lod-100-200-300-350-400-500/>
- van Nederveen, G. A., & Tolman, F. P. (1992). Modelling multiple views on buildings. *Automation in Construction*, 1, 215–224. <https://doi.org/10.1016/0926-5805%2892%2990014-B>

Voxel1, S. (2020). What is a BIM Road Map and why is it so critical? Obtido 18 de Dezembro de 2020, de Commercial Design India website: <https://www.commercialdesignindia.com/6101-reopening-the-worlds-workplaces>

WP-1202, C. (2004). Collaboration, Integrated Information and the Project Lifecycle in Building Design, Construction and Operation. Em *The Construction Users Roundtable*. Obtido de <https://kcuc.org/wp-content/uploads/2013/11/Collaboration-Integrated-Information-and-the-Project-Lifecycle.pdf>



## ANEXOS

### Anexo 1

O modelo do *template do Business case* (Martins, 2017):

**Quadro 0.1** – *Template Business Case* - Folha de Rosto

<b>Campo</b>	<b>Responsabilidade</b>	<b>Descrição</b>
<NOME DO PROJETO>	Autor	Designação resumida do projeto
<GESTOR DO PROJETO>	Autor	Responsável pela criação da ideia e posterior gestão do projeto
<DEPARTAMENTO>	Autor	Departamento do responsável pela criação da ideia e posterior gestão do projeto
<b>Nº Projeto</b>	Gestor de Portefólios	Indicação da referência interna do projeto realizada pelo Gestor de Portefólios
<b>Tipo Projeto:</b>	Autor	Definição do tipo de projeto
<b>Data de início:</b>	Autor	Data de criação da ideia

Quadro 0.2 – *Template Business Case* - Folha de *Business Case*

<b>1. Introdução</b>	Identificação e descrição da dificuldade ou oportunidade identificada, dando ênfase à definição e Visão BIM, mudança cultural, novos processos, inovação e eficiência.
<b>2. Âmbito / Propósito / Finalidade</b>	As questões que devem ser respondidas neste campo são: Qual o âmbito e propósito para o projeto em questão? Qual a sua finalidade?
2.1 Objetivos e Resultados Esperados	A solução deve ter objetivos claros e identificados de modo a ser possível avaliar uma solução perante estes requisitos.
2.2 Definições / Acrónimos e Abreviações	Deve ser aqui elaborada uma listagem de definições, acrónimos e abreviações.
<b>3. Descrição da Solução</b>	Descrição da solução que visa resolver os problemas identificados ou retirar valor de uma oportunidade identificada.
3.1 Benefícios esperados	Os benefícios identificados após a implementação da solução e que devem estar de acordo com os objetivos e requisitos inicialmente identificados.
3.2 Barreiras	As consequências representam aspectos positivos e negativos que resultam da solução para além dos inicialmente identificados como necessários.
3.3 Riscos	Riscos identificados que devem ser alvo de um plano de gestão mais detalhados para os evitar ou reduzir o seu impacto.
<b>4. Tempo</b>	Tempo estimado para a conclusão do projeto e deve ser apresentado um roteiro, definindo as atividades.
<b>5. Custos</b>	Estimativa de custos previstos para o projeto, podendo ser financeiros, recursos humanos ou outros.
5.1 Avaliação de Investimento	Relação entre o investimento com os ganhos previstos.
<b>6. Programa</b>	Identificação do programa no qual este projeto se insere.
<b>7. Consultoria / Apoio Externo</b>	O projeto obriga a contratação de serviço externo ou consultoria? Se sim, qual.
<b>8. Deliberação</b>	Deliberação realizada pela administração que após análise dos documentos deve decidir: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Fazer algo;</li> <li>– Fazer o mínimo;</li> <li>– Não fazer nada.</li> </ul>
<b>9. Assinatura</b>	Assinatura digital da administração.

## Anexo 2

Faseamento com base no relatório A3:

### Fase 1 - Diagnóstico e análise

#### 1. Considerações iniciais

- Qual é a finalidade e a necessidade do negócio?
- Quais são os fatores específicos que devem ser melhorados?
- Qual é a estratégia e o contexto operacional, histórico ou organizacional da situação?

#### 2. Situação atual

- Qual o problema dos processos atuais de CAD?
- Qual o problema da infraestrutura informática existente?
- Comparação dos processos atuais com os processos a implementar.
- Quais os dados que indicam que existe um problema?

#### 3. Análise

- Que pontos específicos nos processos de trabalho indicam o porquê da existência de necessidades e desvios no desempenho?
- Quais as condições ou ocorrências que impedem de atingir os objetivos?
- Quais as suas causas?

### Fase 2 - Planejamento

#### 4. Objetivos

- Quais as melhorias específicas no desempenho que se pode alcançar?
- Avaliação do *software* para melhorar o desempenho.
- Plano de formação da equipa.
- BIP.
- Matriz de responsabilidades.
- Manual interno de modelação BIM.

#### 5. Recomendações para um Plano de ação

- Quais são as opções para enfrentar os desvios e melhorar o desempenho na situação atual?
- Qual é a relação custo-benefício?

### Fase 3 - Implementação

#### 6. Implementação do Planejamento

- Diretivas para trabalhar com o BEP.
- Fluxos de trabalho atualizados.

### Fase 4 - Avaliação;

#### 7. Avaliação e indicadores.

- Avaliação dos *softwares*.
- Avaliação do *hardware*.
- Avaliação da etapa de maturidade do BIM.
- Indicação dos níveis LOD para adequar ao BEP.



## **Anexo 3**



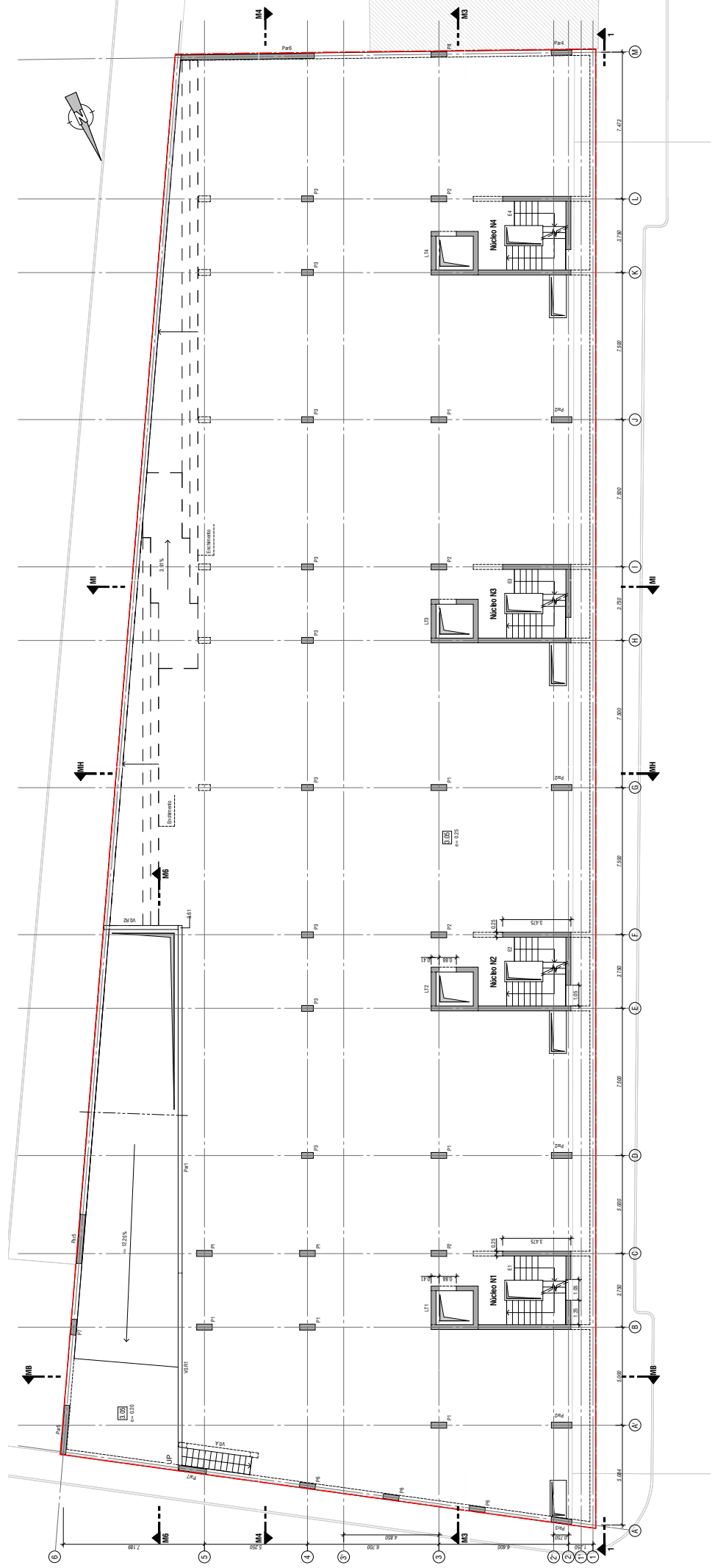



**NOTAS:**

- 1- A geometria dos elementos estruturais, deverá ser confrontada com a existente no projeto de Arquitetura e no local. Eventuais discrepâncias deverão ser comunicadas ao projetista.
- 2- O posicionamento e as dimensões das aberturas, deverão ser confirmadas no projeto de Arquitetura e nos projetos de instalações técnicas. As alterações a serem executadas em elementos estruturais, não previstas neste projeto, carecem de aprovação do projetista.

**Planta do Piso 0**

1 : 100



Revisão	Descrição	Data
 ISEL Instituto Superior de Engenharia de Lisboa		
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Título: <b>Planta do Piso 0</b>		
Escala:	1 : 100	
Projeto:	16/05/2021	
Revisão:		

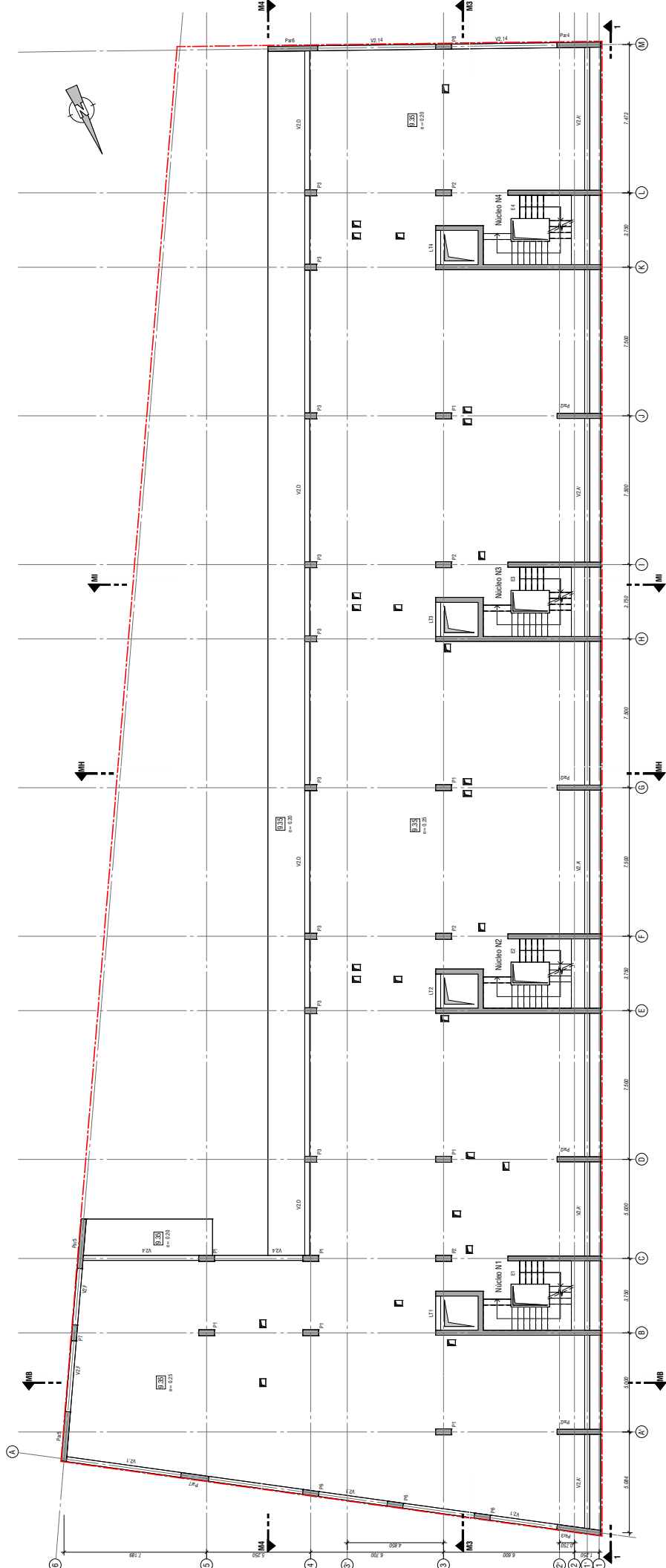



**NOTAS:**

- 1- A geometria dos elementos estruturais, deverá ser confrontada com a existente, no projeto de Arquitetura e no local. Eventuais discrepâncias deverão ser comunicadas ao projetista.
- 2- O posicionamento e as dimensões das aberturas, deverão ser confirmadas no projeto de Arquitetura e nos projetos de instalações técnicas. As ligações a executar em elementos estruturais, não previstas neste projeto, carecem de aprovação do projetista.

**Planta do Piso 2**

1 : 100

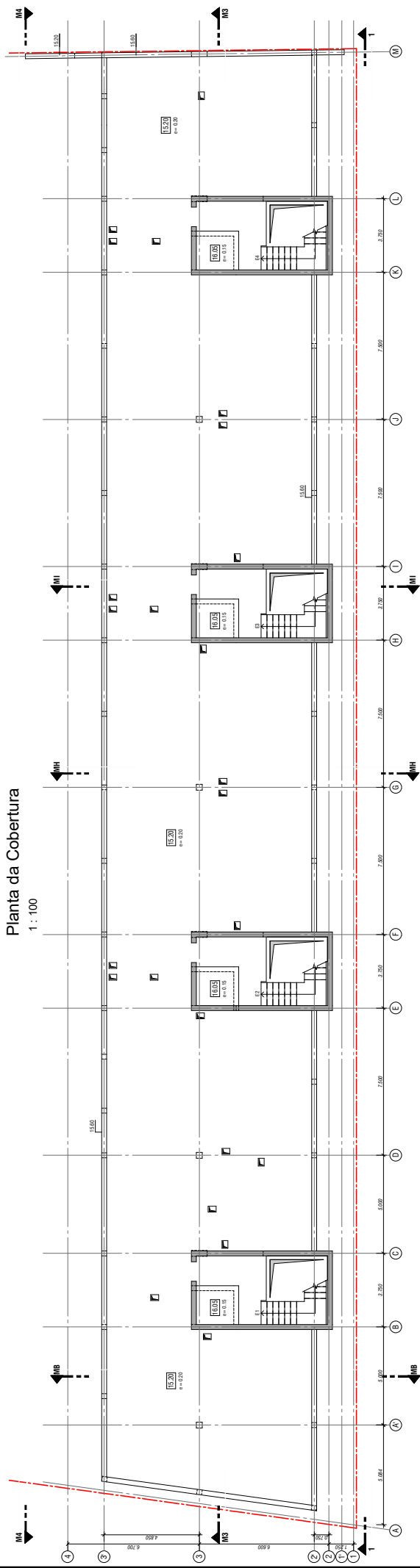


Revisão	Descrição	Data
 ISEL Instituto Superior de Engenharia de Lisboa		Data do desenho
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Título: <b>Planta do Piso 2</b>		
Escala:	1 : 100	
Projeto:	2021.0001	
	16/05/2021	



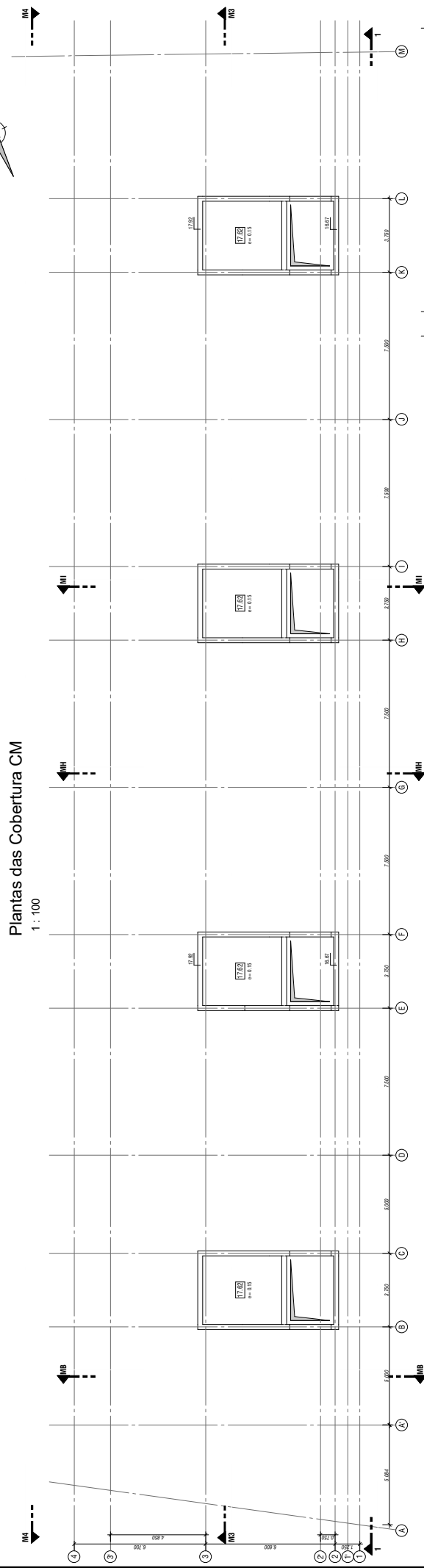
Planta da Cobertura

1 : 100




Plantas das Cobertura CM

1 : 100

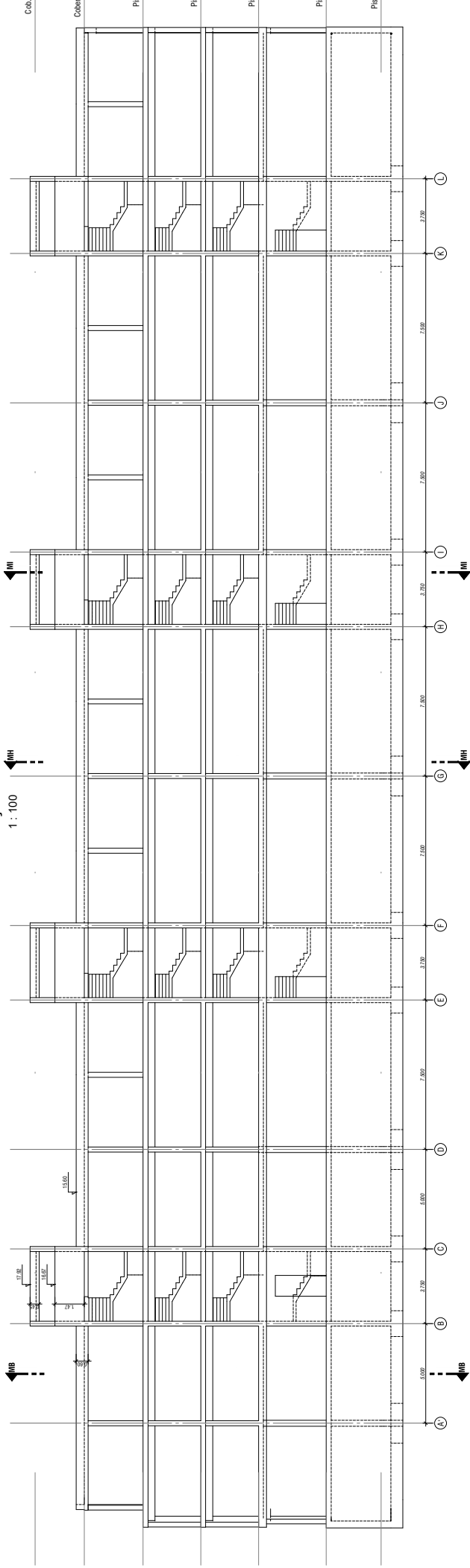


NOTAS:

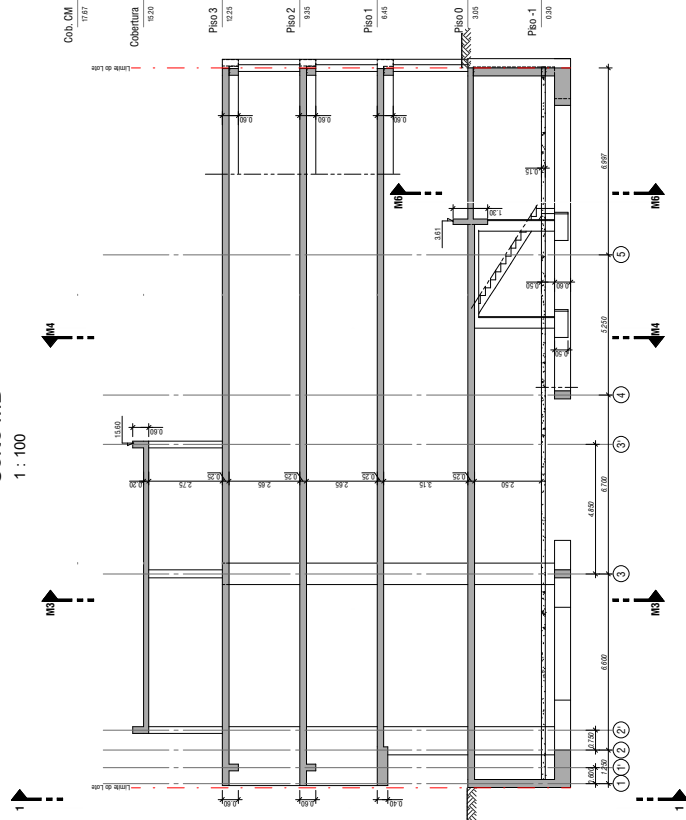
- 1- A geometria dos elementos estruturais, deverá ser confrontada, com a existente no projeto de Arquitetura e no local. Eventuais discrepâncias deverão ser comunicadas ao projetista.
- 2- O posicionamento e as dimensões das aberturas, deverão ser confirmadas no projeto de Arquitetura e no local. O projeto de estruturas deverá ser elaborado após a execução dos elementos estruturais, não previstos neste projeto, mediante aprovação do projetista.


Revisão	Descrição	Data
		Dom de obra António Casario - nº 441570
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Título: <b>Plantas da Cobertura e Coberturas da CM</b>		
Escala: 1 : 100	Projeto: 2021.0001	Revisto: 16/05/2021
1.07		-

Alçado M1  
1 : 100

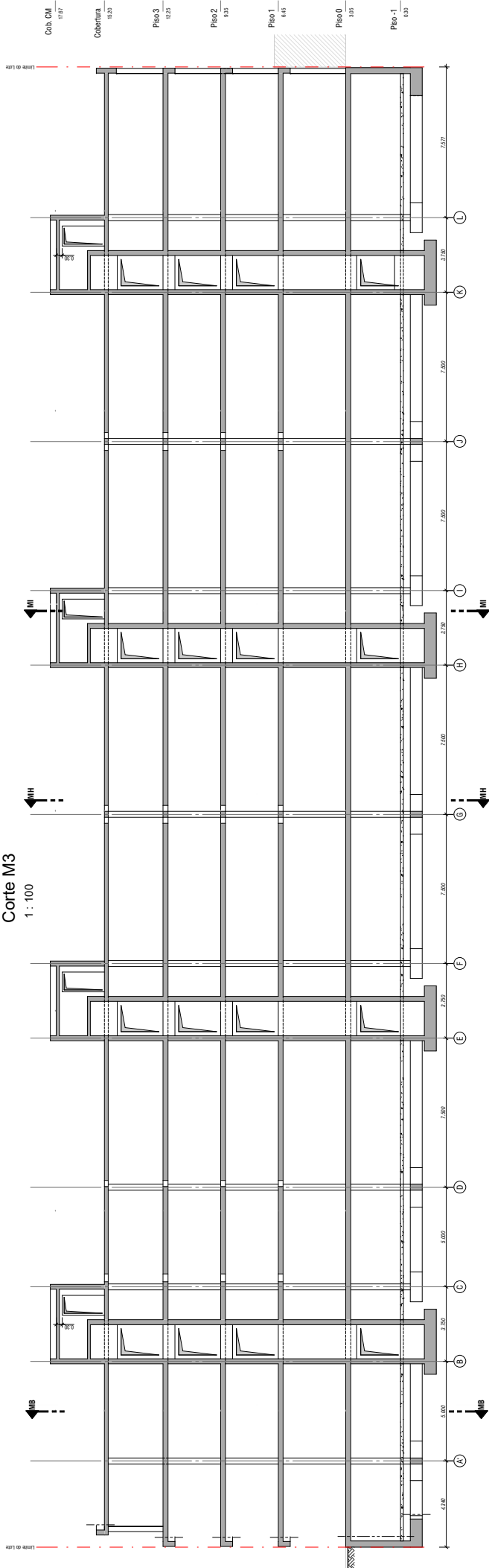


Corte MB  
1 : 100

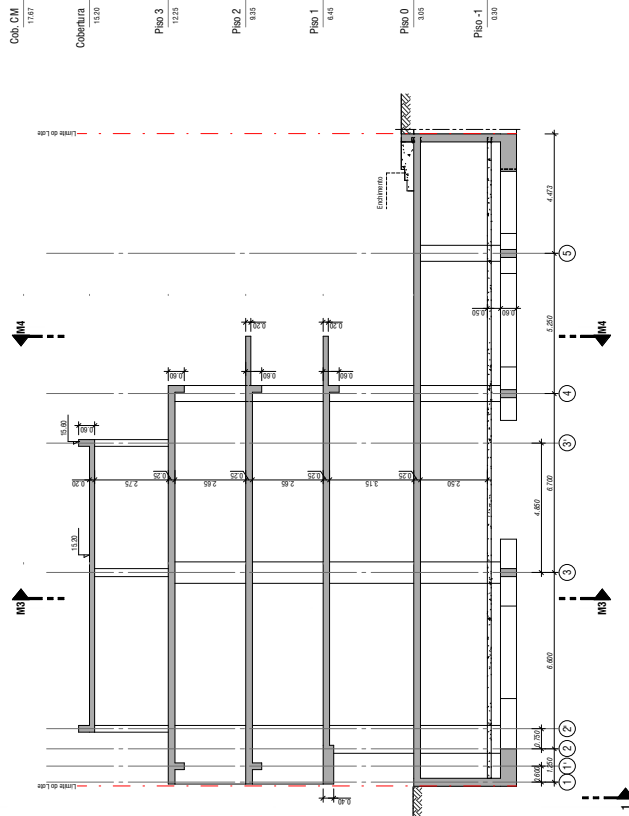



Revisão	Desenho	Data
 ISEL Instituto Brasileiro de Engenharia e Arquitetura		
Título do projeto:		Data do obra
Edifício em Vila Franca de Xira		16/05/2021
Descrição:		Projeto de Fundações e Estruturas - ANTEPROJETO
Título:		Alçado M1 e Corte MB
Escala:		1 : 100
Projeto:		16/05/2021
Revisão:		
Data:		
Página:		

Corte M3  
1 : 100



Corte MH  
1 : 100



Revisão	Desenho	Data
 ISEL Instituto Superior de Engenharia de Lisboa Rua do Parque - nº 441570		
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Autores: <b>Cortes M3 e MH</b>		
Escala:	1 : 100	Projeto:
Projeto:	2021.0001	Data:
		16/05/2021
		1.09



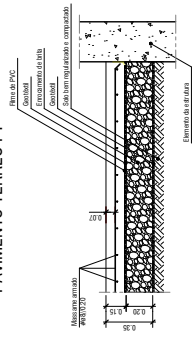
NOTAS:  
 0- Confirmar a geometria em obra e no Projeto de Arquitetura antes de executar os trabalhos.

- 1- Materiais:  
 - Betão de aço com MP EN208-1;  
 - Cimento Portland CEM I 42,5 N (CP); C11,0; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - C30/37; XC3(PI); C1 0,40; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - C30/37; XC3(PI); C1 0,40; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - Placas: C30/37; XC3(PI); C1 0,40; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - Vigas: C30/37; XC3(PI); C1 0,40; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - Lajes: C30/37; XC3(PI); C1 0,40; S3; D<sub>10</sub>; 25 mm;  
 - Todas as peças de aço com o REBATO A500MS SD;  
 - Todos os elementos: A500MS SD

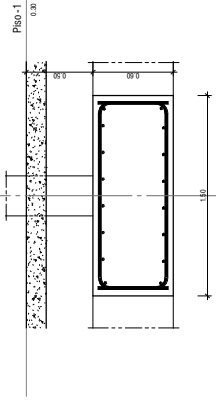
- 2- Recobrimento nominal das armaduras:  
 - Fundações: 50 mm;  
 - Placas: 35 mm;  
 - Vigas e núcleos: 35 mm;  
 - Lajes: 30 mm

- 3- Na base das fundações será colocada uma camada de betão de limpaça com 0,10m de espessura;
- 4- O afastamento das cintas, a 0,70m dos elementos estruturais horizontais, passa de 0,20m para 0,10m;
- 5- O afastamento das cintas, a 0,70m dos elementos estruturais verticais, passa para metade do indicado;
- 6- Fendas de contractar nas fundações em sempre de 100MPa.

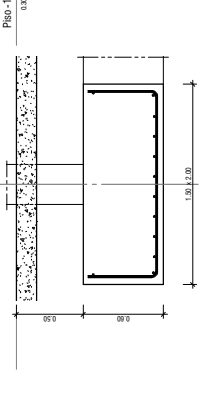
PAVIMENTO TERREO PT



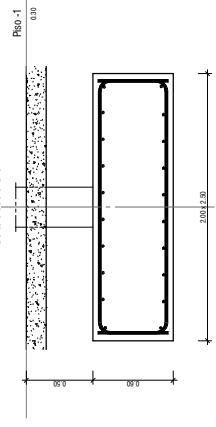
SAPATA S3



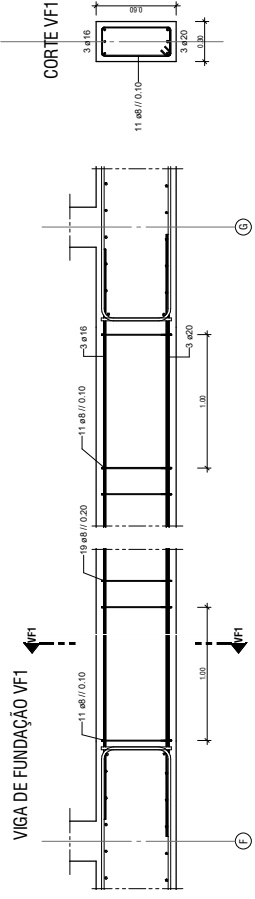
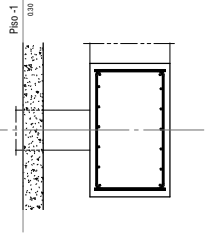
SAPATA S2



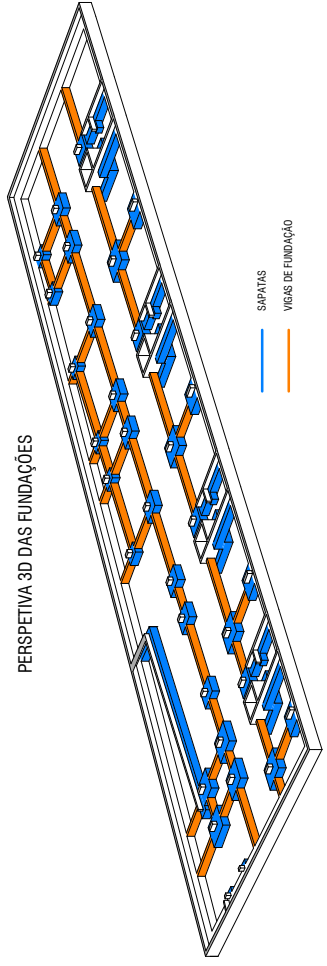
SAPATA S1




SAPATA S4



PERSPECTIVA 3D DAS FUNDAÇÕES



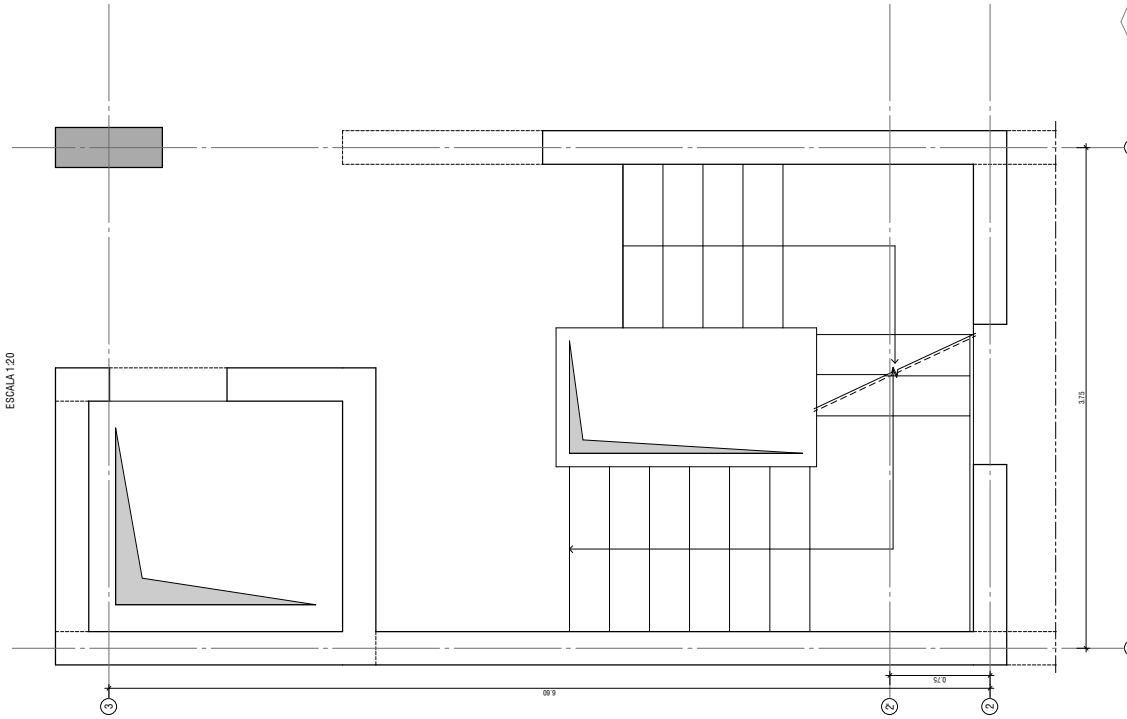
Revisão	Descrição	Data
 Dom de Xira António Castro - nº 441570		
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Título: <b>SAPATAS, VIGAS DE FUNDAÇÃO E PT</b>		
Escala:	Projeto:	Revisão:
As. Indicação	2021.0001	03/03/2020
		<b>2.01</b>



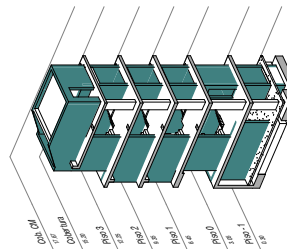
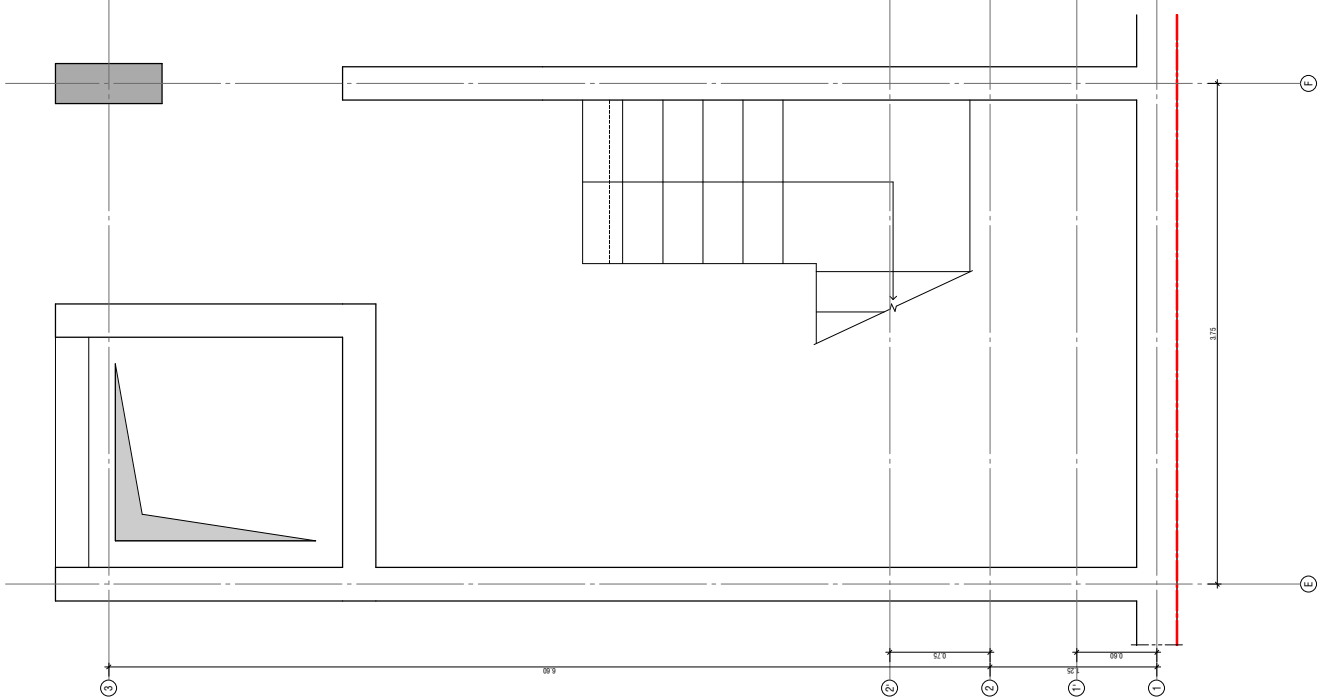
**NOTAS:**

- 0- Confirmar a geometria em obra e no Projeto de Arquitetura antes de executar os trabalhos.
- 1- Materiais:
  - Bateria de aço com MP EN240-1;
  - Cimento Portland CP II S, VOP, CI 1.0, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Betão de limpeza;
  - C30/37, XC3PR, CI 0.40, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Fundações;
  - C30/37, XC3PR, CI 0.40, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Paredes e núcleos;
  - C30/37, XC3PR, CI 0.40, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Vigas;
  - C30/37, XC3PR, CI 0.40, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Lajes;
  - C30/37, XC3PR, CI 0.40, S3, D<sub>max</sub> 25 mm;
  - Armaduras de acordo com o REBAP 01-3949-G de 30 Junho;
  - Todos os elementos; A500MS SD
- 2- Recobrimento nominal das armaduras:
  - Fundações: 50 mm
  - Paredes: 35 mm
  - Vigas: 35 mm
  - Mesas e núcleos: 35 mm
  - Lajes: 30 mm
- 3- Na base das fundações será colocada uma camada de betão de limpeza com 0,10m de espessura;
- 4- O afastamento das centras, a 0,70m dos elementos estruturais horizontais, passa de 0,20m para 0,10m;
- 5- O afastamento das centras, a 0,70m dos elementos estruturais verticais, passa para metade do indicado;
- 6- Fendas de contracta nas fundações em sempre de 100MPa.

**NÚCLEO N2**  
**PISOS 0 A 2**  
ESCALA 1:20



**NÚCLEO N2**  
**PISO - 1**  
ESCALA 1:20



Revisão	Descrição	Data
 ISEL António Castro - nº 441570		
Título do projeto: <b>Edifício em Vila Franca de Xira</b>		
Descrição: <b>PROJETO DE FUNDAÇÕES E ESTRUTURAS - ANTEPROJETO</b>		
Título: <b>NÚCLEO N2</b>		
Escalas:	Projeto:	Revisão:
A.S. Indiferente	2021.0001	03/03/21.0
		<b>4.01</b>