

Análise da Implementação de Processos BIM Aplicados ao Projeto de Estruturas

Pedro Maria Ramos da Cunha Serra

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Prof.^a Dra. Alcinia Zita de Almeida Sampaio

Júri

Presidente: Prof. Dr. Luís Manuel Coelho Guerreiro

Orientador: Prof.^a Dra. Alcinia Zita de Almeida Sampaio

Vogal: Prof. Dr. Pedro Guilherme Sampaio Viola Parreira

Julho 2015

Agradecimentos

À minha orientadora, Professora Alcinia Zita de Almeida Sampaio, um agradecimento pela disponibilidade demonstrada, pelo interesse e motivação no tema, e o apoio que sempre manifestou ao longo destes meses.

À empresa COBA e toda a sua estrutura, pelo ambiente e pelas condições proporcionadas que foram essenciais ao desenvolvimento da presente dissertação, em particular ao Luís Ramalho, e aos Engenheiros Febin Naguidas e Gonçalo Mateus, pela disponibilização dos vários elementos de trabalho e pelo apoio que sempre demonstraram.

Um agradecimento especial ao Arquiteto Carlos Canelhas da empresa COBA, por ter sido o principal responsável pelo pleno desenvolvimento da presente dissertação, mas sobretudo pela confiança demonstrada e pelos ensinamentos que em cada contacto me fez passar.

Por fim, agradeço aos meus pais, pelas oportunidades que sempre criaram para mim, e pelo apoio e orientação que sempre me deram para seguir no meu caminho.

Resumo

Os recentes avanços tecnológicos na área da informática computacional permitem, atualmente, a manipulação de grandes quantidades de informação, através de sistemas operativos de fácil acesso. Esta característica contribuiu para o desenvolvimento do Building Information Modeling (BIM), um conceito que se tem vindo a disseminar, em larga escala, na indústria da Engenharia Civil.

Contudo, a adoção de práticas BIM, não se limita à aquisição de novas ferramentas de trabalho, sendo essencial introduzir as capacidades de processamento destes programas, nos métodos de trabalho das empresas do sector, que, por sua vez, se devem adaptar a esta nova realidade. Neste enquadramento, o presente trabalho aborda a adoção de metodologias BIM direcionadas ao projeto de estruturas. São analisadas algumas das regulamentações mais relevantes a nível internacional, de forma a estabelecer uma base de trabalho fundamentada, e é proposta uma metodologia BIM com base na informação adquirida. De seguida é realizada uma aplicação prática com o objetivo de validar a metodologia proposta, identificando-se vantagens e limitações à sua aplicação.

A abordagem utilizada permite, no final, reformular a metodologia proposta inicialmente, enquadrada com as conclusões da aplicação prática efetuada. É ainda possível, com a experiência adquirida, apresentar uma estrutura organizacional da metodologia, que potencie as capacidades BIM com recurso às ferramentas utilizadas durante a elaboração do presente trabalho.

Palavras-chave: Building Information Modeling, interoperabilidade, projeto, estruturas, desenhos, quantidades.

Abstract

The recent technological progresses in the fields of computers and informatics allowed the easy manipulation of large quantities of data, with the use of typical and wide spread platforms. This has made possible the development of Building Information Modeling (BIM), a concept that has been spreading throughout the Civil Engineering industry at a large scale.

However, the adoption of BIM practices cannot be limited to the acquisition of new work tools. It is essential to introduce these new capabilities into the workflows of the companies in the Civil Engineering sector and in turn adapt the companies to this new reality. Based on this framework, the present dissertation approaches the BIM methodologies, directed to the structural design stage of the project lifecycle. Therefore, some of the most relevant international regulations are analyzed in order to establish a proper work base, with which a BIM workflow is proposed. This workflow is then applied in a practical case in order to validate the proposed methodology and to identify advantages and limitations of its implementation.

This approach will allow reformulating the proposed workflow in line with the conclusions of the practical application. Due to the knowledge acquired through the work, it will be possible to present an organizational structure of the methodology which maximizes the benefits of BIM, built upon the tools applied to the present work.

Key-Words: Building Information Modeling, interoperability, project, structures, drawing, quantities.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Perspetiva histórica	1
1.2 Enquadramento	1
1.3 Objetivos e estrutura da dissertação	2
Capítulo 2 - Conceito BIM	3
2.1 Introdução	3
2.2 Conceito BIM	4
2.3 Modelação Paramétrica.....	5
2.4 Gestão da Informação	6
2.5 Conceito de big e little BIM.....	7
Capítulo 3 - Processo BIM, ferramentas e normalização.....	11
3.1 Processo BIM	11
3.2 Ferramentas tecnológicas	16
3.2.1 Aplicações computacionais.....	16
3.2.2 Interoperabilidade	17
3.3 Normalização.....	22
3.3.1 Regulamentação internacional.....	24
3.3.2 Caracterização das normas	29
Capítulo 4 - Aplicação prática: dimensionamento estrutural.....	37
4.1 Geração do modelo paramétrico	37
4.2 Interação entre o modelo paramétrico e o programa de cálculo estrutural.....	46
4.2.1 Transferência AECOsim Building Designer – SAP2000.....	47
4.2.2 Processamento do modelo analítico.....	55
4.2.3 Transferência SAP2000 – AECOsim Building Designer.....	62
4.2.4 Discussão.....	65
Capítulo 5 - Aplicação prática: produção e coordenação.....	67
5.1 Produção automática de desenhos	67
5.2 Quantificação do mapa de trabalhos.....	71
5.3 Quantificação dos elementos de cofragem	74

5.4	Análise de conflitos.....	76
5.5	Desenhos de pormenorização de armaduras	79
Capítulo 6 - Conclusões e trabalho futuro		81
6.1	Conclusões	81
6.2	Proposta de Implementação.....	81
6.3	Desenvolvimentos futuros	83
Referências Bibliográficas		86
Anexos.....		90
Anexo 1 - Listagem de softwares com certificação IFC.....		I
Anexo 1 – Secções disponíveis na biblioteca do ABD e respetiva parametrização		III
Anexo 2 – Tabela síntese dos formatos de transferência de informação entre o AECOSim Building Designer e o SAP2000		V
Anexo 3 – Resultados dos processos de transferência de informação via STAAD e IFC ..		VII
Anexo 4 – Fluxo de trabalho BIM validado		IX
Anexo 5 – Estrutura de ficheiros do processo BIM via AECOSim Building Designer		XI

Índice figuras

Figura 1 – O conceito BIM segundo diferentes autores	3
Figura 2 – Gráfico das curvas de MacLeamy (retirado de [60])	4
Figura 3 – O modelo BIM e algumas das suas componentes (adaptado de [18])	6
Figura 4 – Gráfico representativo dos fluxos de informação no ciclo de vida de um projeto (retirado de [59])	7
Figura 5 – Os quatro estágios BIM (adaptado de [66])	8
Figura 6 – Curva J do valor acrescentado do BIM (retirado de [25])	8
Figura 7 – Fluxo de trabalho tradicional num projeto de estruturas	12
Figura 8 – Fluxo de trabalho BIM possível para o projeto de estruturas	13
Figura 9 – Estrutura de informação associada ao padrão IFC (adaptado de [1])	20
Figura 10 – Volumes da norma COBIM (adaptado de [44])	24
Figura 11 – Conjunto de documentos da regulamentação produzida pela AIA (adaptado de [23])	25
Figura 12 – Estratégia BIM no Reino Unido (retirado de [42])	26
Figura 13 – Regulamentação BIM no Reino Unido (adaptado de [42])	27
Figura 14 – O mesmo objeto modelado em diferentes LODs (adaptado de [57])	30
Figura 15 – Diferentes níveis de informação em modelos com igual detalhe geométrico (adaptado de [34])	31
Figura 16 – Matriz dos LODs identificados na regulamentação BIM	33
Figura 17 – Algumas definições da <i>Seed File</i> do ABD	38
Figura 18 – Utilização de <i>inputs</i> CAD como <i>references</i> no ambiente de modelação	38
Figura 19 – Representação em perspetiva do modelo BIM	39
Figura 20 – Vista longitudinal do modelo BIM	39
Figura 21 – Vista de topo do modelo BIM	40
Figura 22 – Representação em alçado de diferentes abordagens à modelação para a extração de quantidades	41
Figura 23 – Modelo físico e respetivo modelo analítico (adaptado de [27])	42
Figura 24 – Representação em planta de problemas de geométrica entre o modelo físico e modelo analítico (retirado de [27])	42
Figura 25 – Secção tipo das vigas localizadas nos bordos da cobertura do edifício B	43
Figura 26 – Representação física e analítica de uma viga e respetivas definições analíticas	44
Figura 27 – Vistas em alçado e em perspetiva do encontro entre uma viga e dois pilares	44
Figura 28 – Alguns dos problemas de compatibilização entre representações analíticas identificados no modelo	45
Figura 29 – Representação em perspetiva do modelo analítico produzido no ABD	45
Figura 30 – Menu SAP2000 de associação das <i>layers</i> CAD ao objeto analítico	47
Figura 31 – Processo de exportação de um ficheiro SDNF a partir do ABD	48
Figura 32 – Principais definições do processo de transferência recorrendo ao formato IGES, e resultado final no SAP2000	50
Figura 33 – Menu de exportação para o STAAD e definições do processo	51

Figura 34 – Representação em perspectiva do modelo analítico obtido no SAP2000 através do formato STD	51
Figura 35 – Menu de exportação IFC do ABD e relação entre os objetos paramétricos e as entidades IFC.....	52
Figura 36 – Representação em perspectiva do modelo analítico obtido no SAP2000, através do formato STD	53
Figura 37 – Propriedades dos elementos do tipo <i>Frame</i> que resultam do processo de importação do formato IFC para o SAP2000.....	54
Figura 38 – Representação em perspectiva do modelo simplificado em SAP2000	55
Figura 39 – Visualização 3D e vista longitudinal do modelo SAP2000 após o processamento dos pontos com a ferramenta <i>merge joints</i>	56
Figura 40 – Extração da tabela para aplicação da ferramenta <i>interactive database editing</i>	56
Figura 41 – Esquema representativo da aplicação do algoritmo de análise cluster utilizado	57
Figura 42 – Gráfico da representação plana da aplicação do algoritmo	58
Figura 43 – Gráfico da representação plana da análise cluster sequencial	60
Figura 44 – Múltiplas visualizações do resultado da aplicação da análise cluster	60
Figura 45 – Múltiplas visualizações do modelo SAP2000 completo.....	61
Figura 46 – Menu SAP2000 de associação dos objetos analíticos às <i>layers</i> CAD e vista em perspectiva do modelo analítico importado para ABD no formato DWG	62
Figura 47 – Vista em perspectiva do modelo analítico importado para ABD no formato IGES	63
Figura 48 – Vista em perspectiva do modelo analítico importado para o ABD no formato IFC	63
Figura 49 – Vista em perspectiv, no ABD, da sobreposição do modelo BIM original com o modelo analítico importado no formato IFC	64
Figura 50 – Sobreposição dos elementos BIM originais com os elementos obtidos dos SAP2000 importados no formato IFC	64
Figura 51 – Menu de definição <i>Family & Parts</i> do <i>Dataset explorer</i> , caminho e possíveis definições das <i>Parts</i>	67
Figura 52 – Sequência dos menus de definição de uma <i>dynamic view</i>	68
Figura 53 – Definições mais relevantes das <i>Parts</i> editadas para a obtenção automática de desenhos	69
Figura 54 – Corte transversal genérico do edifício B	69
Figura 55 – Definições de representação da vista e múltiplas representações do mesmo corte.....	70
Figura 56 – <i>Datagrouppcatalog editor</i> e a informação não geométrica associada a uma viga.....	72
Figura 57 – <i>Datagroup explorer</i> e a informação relativamente às vigas modeladas.....	72
Figura 58 – Representação em perspectiva de um encontro entre três vigas e dois pilares	74
Figura 59 – Menu <i>clash detection</i> e representação da aplicação da ferramenta ao caso de estudo..	77
Figura 60 – Visualização em perspectiva de alguns dos conflitos identificados com a ferramenta <i>clash detection</i>	78

Índice tabelas

Tabela 1 – Síntese de alguns dos documentos regulamentares desenvolvidos ao nível da normalização BIM (adaptado de [55])	23
Tabela 2 – Regras de coordenação espacial do modelo: informação retirada das normas e definições adotadas no trabalho.....	29
Tabela 3 – Correspondência entre o CAD e o SAP2000 para a construção do modelo analítico (adaptado de [53] e [54])	47
Tabela 4 – Relação entre os elementos produzidos no Microstation e exportados para IGES, e entre os elementos IGES e os objetos importados para o SAP2000 (adaptado de [2] e [50]).....	49
Tabela 5 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em Z.....	58
Tabela 6 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em X	59
Tabela 7 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em Y	59
Tabela 8 . Pivot Table para a extração de volumes dos elementos do tipo parede	73
Tabela 9 – Pivot Table para a extração de volumes dos elementos do tipo viga.....	73
Tabela 10 – Tabela síntese das quantidades de materiais extraídas automaticamente do modelo ...	73
Tabela 11 – Síntese da área de cofragem dos elementos modelados.....	75

Capítulo 1 - Introdução

1.1 Perspetiva histórica

Numa perspetiva de evolução histórica, o sector da Engenharia Civil tem sido responsável por um profundo impacto na sociedade. Esta indústria tem vindo a progredir no sentido de dar resposta às necessidades da sociedade, numa relação recíproca em que os avanços da tecnologia e do conhecimento científico contribuem para a produção de soluções construtivas cada vez mais sofisticadas.

No 4º milénio a.C., o abandono da existência nómada pelos humanos criou a necessidade de construir abrigos. Posteriormente, a invenção da roda levou à construção dos primeiros caminhos, catapultando a evolução da Humanidade. A civilização egípcia, para além do legado de monumentos como as pirâmides de Gizé, alcançou um conhecimento tecnológico avançado nos domínios do urbanismo e da hidráulica. Seguiram-se as civilizações grega e romana, cujas culturas são atualmente evidentes pelas inúmeras construções que sobreviveram e que envolvem invenções como o arco romano e a utilização do betão na construção de pontes e monumentos. Após alguns séculos de estagnação, retrocesso e reinvenção da sociedade durante os períodos medieval e do renascimento, a revolução industrial ocorrida entre os séculos XVIII e XIX veio impulsionar fortemente a Engenharia Civil. Em 1824 é inventado o cimento Portland e em 1849 regista-se a primeira utilização do betão armado [16]. Em 1950 é iniciada a era da tecnologia, com o desenvolvimento das telecomunicações, do computador, e da internet. A informática passa a estar à disposição da Engenharia Civil e surgem os sistemas computacionais de traçado (*Computer Aided Design, CAD*).

Atualmente, a atenção da Engenharia Civil é orientada para o *Building Information Modeling* (BIM), um novo conceito que se apoia nos avanços científicos recentes, relativos à capacidade dos sistemas informáticos de armazenar, gerir e manipular grandes quantidades de informação, e que se estabelece como o grande avanço na indústria da construção da nossa era.

1.2 Enquadramento

Na presente conjuntura económica mundial, urge a necessidade de otimizar processos, reduzir custos e desperdícios e aumentar a produtividade. Neste sentido, na indústria da construção é possível identificar algumas limitações que resultam num acréscimo de prazos de execução e de custos da obra. Segundo Vasconcelos [21] as suas principais causas são:

- A ineficaz capacidade de interação entre os intervenientes no processo de construção;
- A deficiente preparação, submissão e aprovação de desenhos;
- A elevada burocracia associada;
- A escassez de detalhes de projetos e a sua desorganização;
- A limitativa legislação atual
- As sucessivas alterações de projeto e as dificuldades de atualização, em termos de tempo e organização, dos desenhos;

- A existência de erros ou falta de informação nas especificações;
- As diversas contradições e incompatibilidades entre documentos;
- A inconsistência entre os documentos produzidos e a obra executada;
- Os eventuais erros de planeamento e de controlo;
- Os recorrentes erros humanos;

Os problemas identificados, não são ultrapassados apenas pela introdução de novos métodos construtivos. A essência das dificuldades verificadas não está associada à obra enquanto atividade de execução, mas sim ao desenvolvimento e ao método de apresentação do projeto e do planeamento da sua construção. É necessário “investir na melhoria da qualidade dos projetos e na gestão dos empreendimentos” [21]. Nesse sentido, a solução deve apoiar-se em metodologias de trabalho que valorizem a coordenação entre os intervenientes e a partilha de informação com recurso a ferramentas informáticas adequadas. É este o conceito de *Building Information Modeling* (BIM).

1.3 Objetivos e estrutura da dissertação

O conhecimento dos benefícios, do modo de atuação e, de quais as ferramentas necessárias para um eficaz desenvolvimento e acompanhamento de projeto, com base na metodologia BIM, requer estudo, pesquisa e divulgação. A sua implementação abrange diversos setores da indústria da construção. A presente dissertação é dirigida ao projeto de estruturas. O principal objetivo do trabalho a desenvolver passa por analisar os atuais processos de trabalho nos gabinetes de projeto de forma a delinear diretivas que possam contribuir para uma correta e eficaz implementação BIM neste setor.

Nesse sentido, o presente estudo envolve a aprendizagem acerca de ferramentas de base BIM, numa ótica de aplicação no projeto de estruturas, a identificação de eventuais limitações ao seu pleno desenvolvimento e a demonstração da sua aplicabilidade num projeto concreto. Para o efeito, o presente trabalho encontra-se organizado da seguinte forma:

- No capítulo 2 é apresentado o conceito de Building Information Modeling e as vantagens da sua aplicação, em termos de qualidade no projeto e na produtividade.
- No capítulo 3 é proposta uma metodologia de trabalho BIM, apoiada nos conceitos expostos no capítulo anterior. Esta metodologia é apoiada por uma análise dos instrumentos e normas atualmente existentes, e que enquadram o BIM.
- Nos capítulos 4 e 5, com base no estudo realizado relativamente ao estado da arte, são aplicados, num projeto concreto, os fluxos de trabalho desenvolvidos.
- Finalmente, no capítulo 6, são apontadas considerações relativas à aplicabilidade prática do processo proposto e são identificados os principais aspetos de valor acrescentando face aos métodos tradicionais de trabalho num gabinete de estruturas.

Capítulo 2 - Conceito BIM

2.1 Introdução

Apesar da designação *Building Information Modeling* ser formalmente atribuída, em 1992, a van Nederveen e Tolman, o conceito BIM surge pela primeira vez em 1975, num artigo de Eastman [6], sob a forma de *Building Description System*. Nesta publicação o autor introduz ideias como a modelação paramétrica, a utilização de um modelo 3D para extração de desenhos e de quantidades de materiais, a resolução automática de conflitos entre especialidades, etc. Contudo, e apesar de não ser um conceito recente, não se pode afirmar que a definição de BIM seja consensual entre os vários intervenientes da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) [46].

Em 2007 Rosenberg [14], num documento onde descreve algumas das preocupações legais relacionadas com a partilha de dados e o direito de propriedade da informação, descreve BIM como “um conjunto de informação coordenada, para a qual os vários intervenientes da construção contribuem”. Em 2011, numa publicação relativa à evolução das tecnologias CAD, Michael S. Bergin [3] apresenta BIM como “o *software* que revolucionou os métodos tradicionais de representação e de colaboração na arquitetura”. E ainda, na edição mais recente do livro “BIM Handbook” de Eastman et al. [7], documento de referência na implementação de metodologias de trabalho focadas em BIM, este conceito é definido como “uma nova abordagem de trabalho ao projeto, à construção e à gestão de infraestruturas na indústria AEC”. Estes conceitos são apresentados resumidamente na Figura 1.

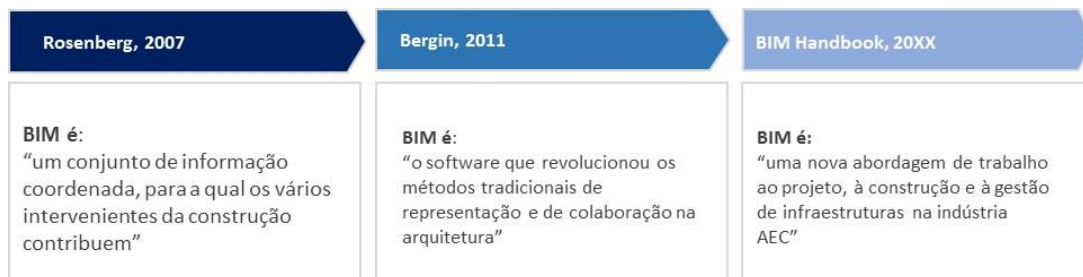


Figura 1 – O conceito BIM segundo diferentes autores

Esta multiplicidade de definições encontradas para o BIM é o reflexo da própria complexidade do termo: envolve um modelo digital de representação da construção (informação); requer uma forte componente tecnológica de suporte à gestão dessa mesma informação (*software*); e as oportunidades que a informação e o *software* combinados criam para melhorar as metodologias de trabalho atuais, nomeadamente, ao nível da colaboração na equipa e na facilidade de sobrepor diferentes disciplinas no mesmo modelo (processo).

Como o presente estudo foca a atual metodologia de trabalho num gabinete de projeto de estruturas, é abordado o BIM na sua vertente de processo. Reforça-se assim a definição do BIM como uma **metodologia de trabalho, na indústria AEC, que promove a coordenação entre os intervenientes durante todo o ciclo de vida do projeto, tendo por base a partilha de informação digital.**

2.2 Conceito BIM

De acordo com o estudo de Vasconcelos [21], os problemas verificados no processo de construção residem na fraca coordenação entre os elementos da equipa, resultando em erros e incoerências de projeto, os quais são detetados apenas em fases avançadas do trabalho. A sua resolução é dispendiosa e retira qualidade à obra.

De facto, tradicionalmente, e numa fase de estudo prévio, são testadas soluções alternativas para satisfazer os requisitos do dono de obra e acomodar limitações construtivas existentes. Verifica-se, no entanto, que apenas uma pequena parte dos intervenientes está envolvida nesta fase, existindo por isso, informação que não é contabilizada no processo. O gráfico representado na **Error! Reference source not found.**, designado por curva de MacLeamy, pretende ilustrar o valor da informação e o impacte que a tomada de decisão tem no desenvolvimento do projeto.

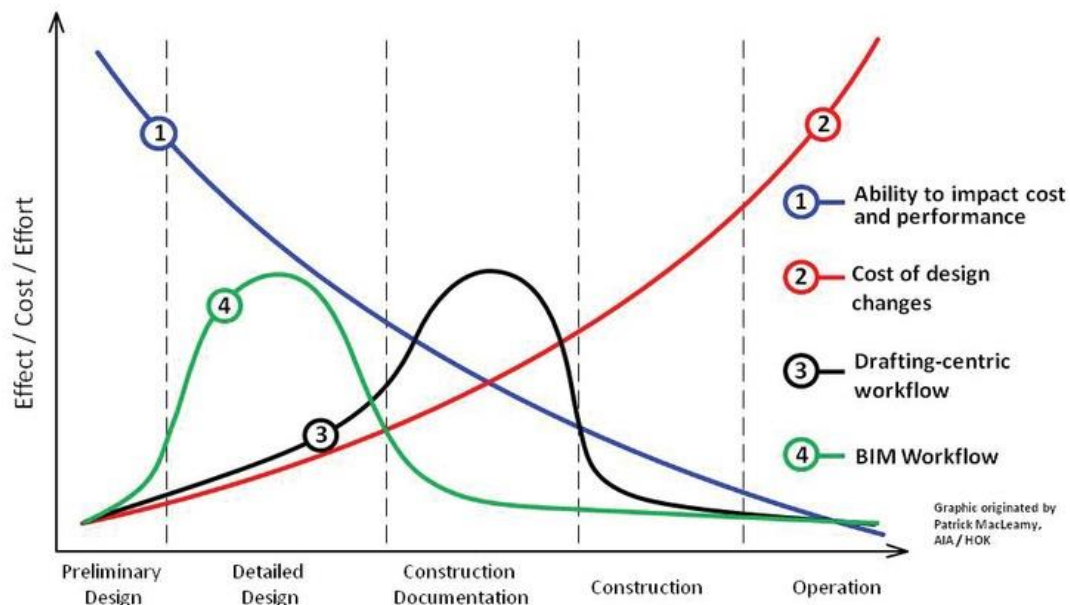


Figura 2 – Gráfico das curvas de MacLeamy (retirado de [60])

- Relativamente ao valor da informação, a curva nº1 indica que este é tanto maior, quanto mais cedo for considerada no ciclo de vida do empreendimento. Esta situação traduz o aumento de qualidade da decisão tomada numa fase inicial, devido ao aumento do nível de informação que a apoia, permitindo a convergência para uma solução final de projeto mais otimizada.
- A curva 2 do gráfico apresenta um desenvolvimento inverso ao da curva 1, e pretende representar o custo da informação. A inserção de um novo dado no processo, depois de tomada a decisão inicial do desenvolvimento do empreendimento, pode introduzir alterações ao projeto. Estas alterações têm um custo tanto maior quanto mais tarde forem incorporadas no desenvolvimento do trabalho.
- A curva 4 do gráfico esclarece que, o BIM, enquanto processo, acrescenta valor ao projeto, pois promove o trabalho colaborativo entre os intervenientes da construção numa fase inicial. Assim, enquanto numa metodologia clássica, curva 3, a maior carga de trabalho se concentra

na fase do projeto de execução, em que os vários intervenientes contribuem no sentido da pormenorização da solução escolhida, numa metodologia BIM o esforço está concentrado numa fase anterior, permitindo alcançar uma solução globalmente mais vantajosa.

A integração da informação em fases antecipadas do projeto é condição necessária, mas não suficiente para garantir um aumento de valor do empreendimento. Na realidade, a quantidade e a variedade de informação produzida durante o ciclo de vida de um empreendimento, torna a sua gestão, sem as ferramentas adequadas, num processo extremamente complexo. Neste sentido, os recentes desenvolvimentos tecnológicos, nomeadamente, o aumento da capacidade de processamento de informação pelos computadores, a criação de sistemas de partilha de informação em rede, e o desenvolvimento da modelação paramétrica, são os catalisadores para o BIM.

2.3 Modelação Paramétrica

A modelação paramétrica distingue-se da tradicional modelação CAD por substituir a representação de primitivas gráficas como linhas ou superfícies, por objetos caracterizados por relações paramétricas. Numa modelação paramétrica, o utilizador seleciona um tipo de objeto e concretiza um caso: indica os valores dos parâmetros geométricos, adiciona ao objeto a informação relativa a características físicas dos materiais e estabelece as regras que determinam o seu comportamento no modelo. Por exemplo, na representação 2D de um elemento de betão armado, através de um sistema de desenho CAD, apenas é delineado um conjunto de segmentos retos sem qualquer tipo de associação entre si, ou numa representação 3D, através de uma primitiva de modelação de carácter apenas geométrico. Numa modelação paramétrica, o utilizador deve definir o tipo de elemento que pretende representar, seguindo-se a indicação de quais as dimensões da secção da peça de betão, as espessuras, o tipo de material (cimento e aço) e as suas características mecânicas e físicas. De seguida é indicada a sua localização no modelo.

As ferramentas de base BIM assentam precisamente na modelação paramétrica. Apesar do processo de modelação, inicialmente, poder ser algo complexo e moroso, os ganhos de produtividade são conseguidos quando é necessário definir soluções alternativas, sobrepor diferentes componentes de projeto, ou introduzir alterações aos elementos planeados. Os elementos sendo paramétricos, podem ser redefinidos pelo utilizador, não só ao nível da secção e do material de composição, mas também ao nível do seu relacionamento entre objetos, permitindo a atualização automática do modelo, quando imposta alguma alteração ao projeto. Num processo CAD, estas modificações impõem uma série de atualizações em sequência, executadas de um modo manual de todos os documentos afetados pela alteração. A morosidade do processo de modelação é um problema que pode ser ultrapassado, tal como já o foi na introdução de sistemas CAD na Arquitetura/Engenharia, através da formação no manuseamento de ferramentas BIM. A modelação paramétrica inclui ainda regras relativas ao comportamento físico do objeto, fundamentais por exemplo, numa análise de eficiência energética, ou regras sobre o seu relacionamento com outros elementos, utilizados na obtenção de desenhos na forma de plantas, alçados, cortes, etc.

Sendo do conhecimento, por parte dos diversos membros de uma equipa de trabalho, de quais as reais possibilidades que a modelação paramétrica abrange, faz sentido que todo o processo de trabalho BIM, funcione em torno de um modelo único tridimensional que comporte toda a informação relativa ao empreendimento. Durante as diferentes fases de desenvolvimento do projeto, o modelo é sucessivamente acrescentado e reutilizado. O modelo BIM constitui ainda a base de consulta e manipulação da informação na posterior gestão do edifício. Na Figura 3 está ilustrado o modelo BIM, resultado da conjugação dos modelos criados para as várias especialidades.

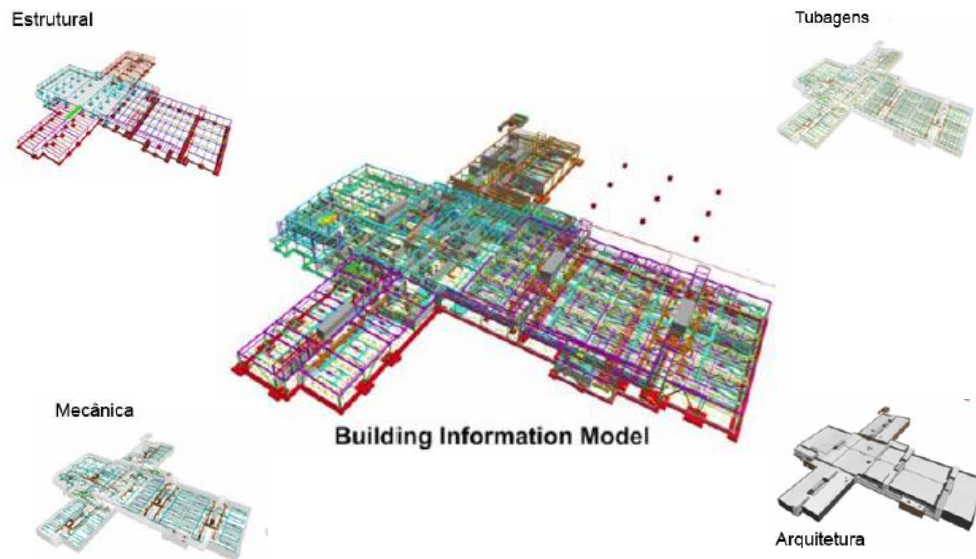


Figura 3 – O modelo BIM e algumas das suas componentes (adaptado de [18])

As vantagens da modelação paramétrica não se limitam à representação dos atributos físicos e das restantes características do empreendimento. Um dos seus maiores benefícios está na gestão centralizada de toda a informação referente ao projeto.

2.4 Gestão da Informação

O gráfico da Figura 4 apresenta os fluxos de informação gerados durante um projeto de Engenharia Civil, concretizado através de duas abordagens diferentes: a preto está representada uma metodologia tradicional de trabalho, enquanto a azul é apresentada uma metodologia baseada na gestão de um repositório centralizado de informação, correspondente a um ambiente BIM.

Observando-se o andamento da linha que representa a abordagem tradicional, verifica-se que, durante cada etapa do ciclo de vida do empreendimento, é produzida informação que contribui para o desenvolvimento do projeto. No entanto, a transição entre etapas consecutivas tem como consequência a perda de informação produzida nos ciclos anteriores. Este facto tem como consequência a alocação de recursos e dispêndio de tempo na reprodução da informação perdida que não acrescenta valor ao projeto. Este trabalho limita-se a recuperar o que foi perdido no decurso dos métodos de trabalho clássicos, aumentando a possibilidade de introdução de erros humanos.

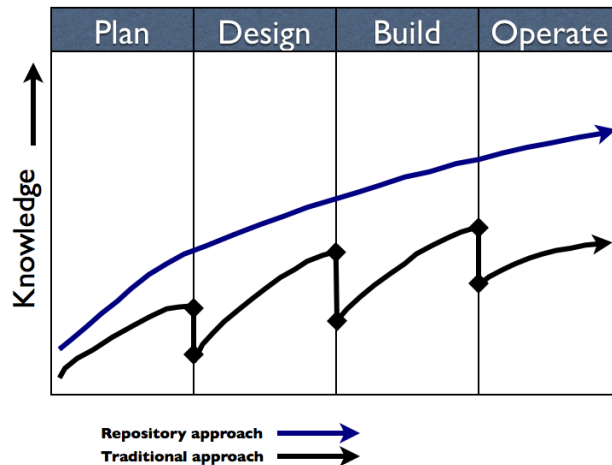


Figura 4 – Gráfico representativo dos fluxos de informação no ciclo de vida de um projeto (retirado de [59])

A abordagem com base na gestão centralizada apresenta um desenvolvimento dos fluxos de informação, substancialmente diferente, na medida em que a transição entre as diferentes fases de trabalho é marcada pela manutenção total da informação contida no repositório. A conservação da informação irá consequentemente libertar os recursos que, na abordagem tradicional, estariam alocados à reprodução do conhecimento, contribuindo para um produto final de qualidade superior.

As perdas de informação verificadas nos processos tradicionais, estão muitas vezes relacionadas com a fraca qualidade dos canais de transferência usualmente utilizados. A informação existe, mas num formato que não é o mais adequado, para que possa ser processado, de um modo eficiente, pelos intervenientes a jusante. Uma das grandes vantagens apontadas à abordagem centralizada, é a disponibilidade da informação, num formato entendível e acessível a todos. Devido à quantidade e variedade de informação produzida, esta condição tem de ser apoiada numa forte componente informática e numa padronização de um conjunto de regras, entendidas e seguidas, por todos os intervenientes. No entanto, uma adoção gradual de metodologias BIM permite acomodar algumas das limitações da gestão de um conjunto de dados tão díspar.

2.5 Conceito de *big* e *little* BIM

A utilização de um repositório de dados centralizado durante o ciclo de vida de um empreendimento implica que todos os intervenientes trabalhem simultaneamente em ambiente BIM. No entanto, no processo de transição, de metodologias clássica para a metodologia BIM, é natural encontrar situações onde cada interveniente trabalha de acordo com os seus princípios. A adesão a uma filosofia BIM implica investimento e a alocação de recursos, sendo, por isso, conveniente iniciar o processo de transição de uma forma gradual e planeada. Neste contexto é usual distinguir entre “quatro estágios BIM que oscilam entre o *big* BIM e o *little* BIM, e o BIM individual e o BIM social” [10]. Estes estágios estão representados na Figura 5.

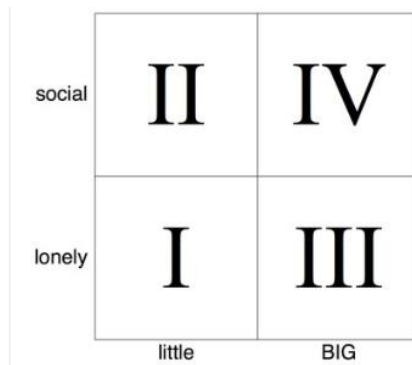


Figura 5 – Os quatro estágios BIM (adaptado de [66])

A diferença entre o BIM social e o individual verifica-se ao nível do grau de partilha de informação durante o projeto. Enquanto o BIM social assenta num ambiente BIM total, com trocas de informação constantes, padronizadas e controladas, entre todos os intervenientes, o BIM individual, está relacionado com os processos que se desenvolvem ao nível interno de uma empresa, em que existem trocas de informação entre diferentes equipas afetas ao projeto.

O *big* BIM e o *little* BIM diferem na quantidade de informação produzida e partilhada, seja a nível interno ou social. Assim, se o modelo BIM é utilizado exclusivamente numa perspetiva geométrica, para a produção de documentação gráfica, então está-se na presença do *little* BIM. Quando a utilização do modelo BIM é explorado com base nas capacidades de gestão de metadados e de informação ao nível do modelo 4D (planeamento e construção) e 5D (gestão), então está-se na presença do *Big* BIM [67].

As definições apresentadas não são consensuais, existindo autores que consideram que apenas o “*social big* BIM” é na realidade BIM. No entanto, o processo de transição de uma empresa de uma metodologia clássica de trabalho, deve ser gradual, e deve evoluir sobre cada um destes conceitos que, apesar de não serem o BIM na sua conceção original, não deixam de representar ganhos de produtividade e qualidade para os projetos. Este é aliás um dos maiores entraves a uma adequada implementação de um ambiente BIM numa empresa. O gráfico da Figura 6, designado por curva J, evidencia o valor que as metodologias BIM permitem acrescentar a um projeto de Engenharia Civil.

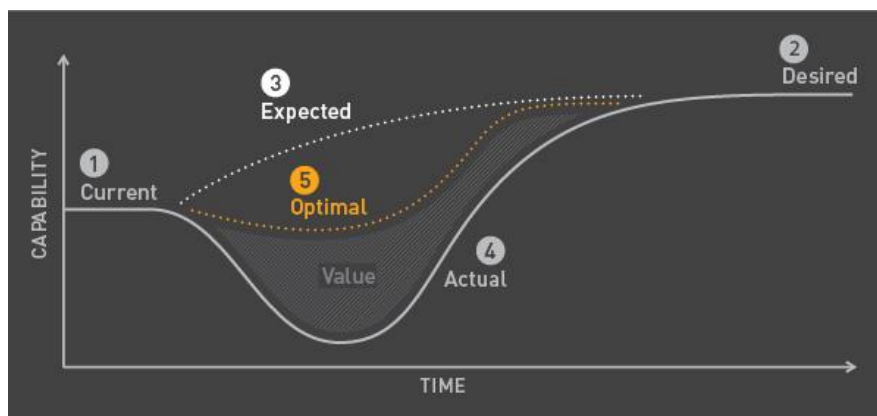


Figura 6 – Curva J do valor acrescentado do BIM (retirado de [25])

A curva 3 do referido gráfico mostra as expectativas irrealistas, que muitas vezes são criadas em torno do BIM, e que não são correspondidas de imediato. Na realidade, a implementação de uma abordagem BIM, tem por objetivo alcançar o patamar em evidência na curva 2, resultando em ganhos consideráveis para o utilizador. Contudo, o processo de adaptação típico, ilustrado na curva 4, obriga à alocação de recursos, e a um processo de adaptação dos intervenientes, que tem como consequência uma redução momentânea na produtividade e capacidade da empresa. Esta situação resulta muitas vezes numa dissociação entre as expectativas geradas e o valor produzido inicialmente, facto que pode ser determinante para uma correta implementação do BIM na indústria AEC.

Na fase de transição de implementação do BIM numa empresa é necessário definir, de um modo claro, qual o estágio BIM que se pretende alcançar, e quais os passos intermédios que se pretendem realizar. Neste contexto o presente estudo propõe o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho que se enquadre num *lonely big* BIM, preparada para que, no futuro, se possa inserir num ambiente colaborativo BIM total (nível IV). Espera-se com esta abordagem, contribuir para que a implementação de processos BIM no sector AEC se aproxime da curva ótima (curva 5) do gráfico da Figura 6.

Capítulo 3 - Processo BIM, ferramentas e normalização

3.1 Processo BIM

A presente secção apresenta um exercício de aplicação dos conceitos descritos no capítulo anterior, no que se refere às metodologias de trabalho de um gabinete de projeto. Para o efeito foram desenvolvidos dois fluxogramas, expostos nas figuras 7 e 8. Estes fluxogramas representam respetivamente: uma metodologia tradicional de trabalho genérica, de dimensionamento estrutural e de obtenção dos elementos necessários à sua execução; e uma metodologia alternativa, com a mesma finalidade, mas desenvolvida em ambiente BIM.

Os dois fluxogramas estão organizados na forma de uma matriz em que cada coluna representa uma etapa (ou um processo) a ser desenvolvido no gabinete de estruturas, e cada linha diz respeito a um tipo de informação (*inputs*, tarefas ou *outputs*) de cada uma destas etapas. Desta forma os organigramas apresentam, por ordem cronológica do trabalho a realizar, as fases de: conceção estrutural; de dimensionamento; de pormenorização; e de planeamento. A última coluna corresponde a uma etapa exterior ao gabinete e pretende representar o estágio seguinte, que corresponde, habitualmente, à execução da obra. Cada linha representa um tipo de informação específica: no primeiro nível consta a informação inicial que serve de base ao desenvolvimento dos trabalhos; a zona intermédia refere-se às ações e tarefas que compõem os processos de desenvolvimento do projeto; a última secção contém os *outputs* que são gerados durante cada fase, relativos à produção de documentação para a obra.

Uma característica comum a ambos os fluxogramas é o facto de os processos serem, naturalmente, os mesmos e seguirem a mesma ordem em ambas as metodologias. A principal diferença entre os fluxos está nos *outputs* gerados. Ou seja, a forma de trabalhar, ou os macroprocessos, não se alteram. É nos fluxos de pormenor que uma metodologia BIM (de nível III) tem mais influência, alterando substancialmente a forma como os documentos são produzidos, sejam eles o modelo de elementos finitos, os desenhos ou as listas de quantidades de trabalho.

A etapa de conceção estrutural apresenta-se como uma fase prévia ao desenvolvimento do trabalho de dimensionamento propriamente dito, em que são reunidos os elementos necessários à definição da solução estrutural a adotar. É necessário, nesta fase, reunir os elementos de trabalho essenciais como sejam, os requisitos do dono de obra para a estrutura (funcionais, espaciais, estéticos, etc...), informação relativamente à envolvente do edifício (topografia de implementação, informação geotécnica, etc...), entre outros. Assim sendo compreende-se a diferença verificada na forma como os *inputs* estão representados em cada fluxograma: apesar de a informação ser a mesma, é expectável que, num ambiente BIM de nível IV, estes *inputs* sejam fornecidos num formato eletrónico, trabalhável pelas várias equipas afetas ao projeto. Desta forma não só se reduz a necessidade de replicação de informação por diferentes intervenientes, como os resultados obtidos pelo projetista podem ser fácil e automaticamente comparados com as necessidades do dono de obra ou de outros intervenientes. Esta noção é muito importante, pois coloca em evidência que, os primeiros contributos para o repositório de informação gerado, devem partir do dono de obra.

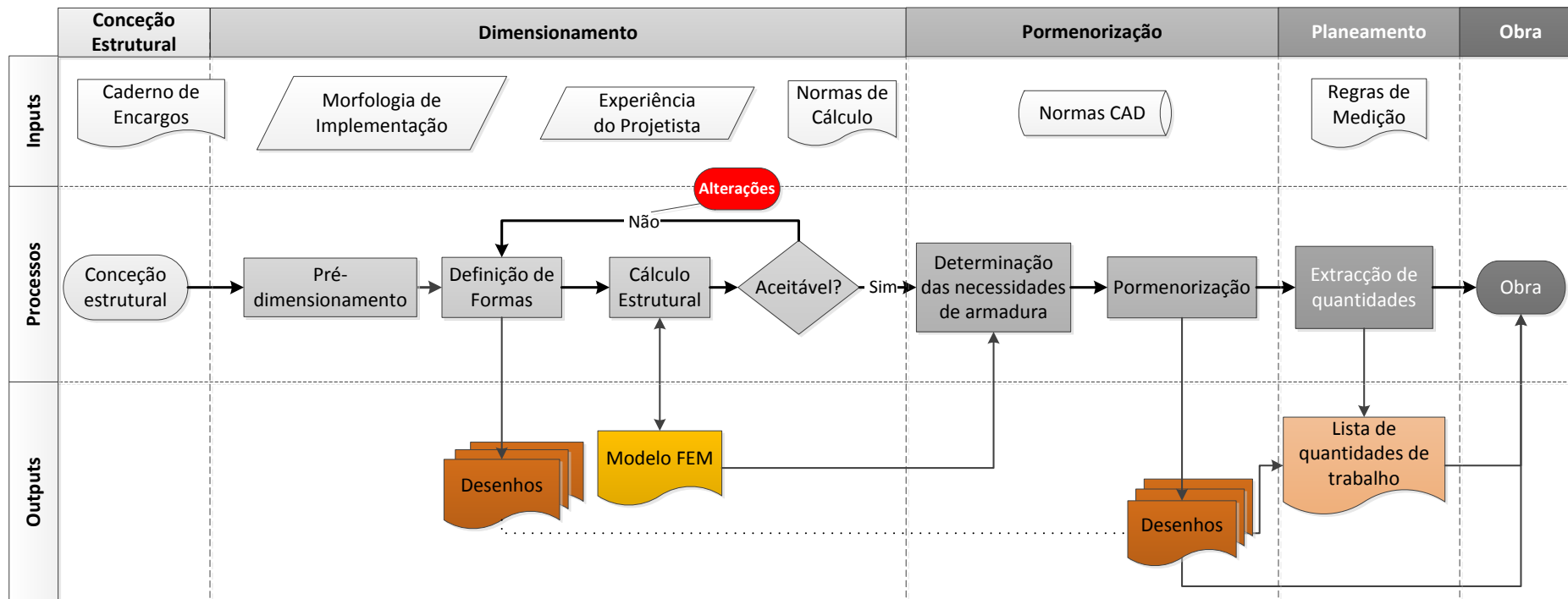


Figura 7 – Fluxo de trabalho tradicional num projeto de estruturas

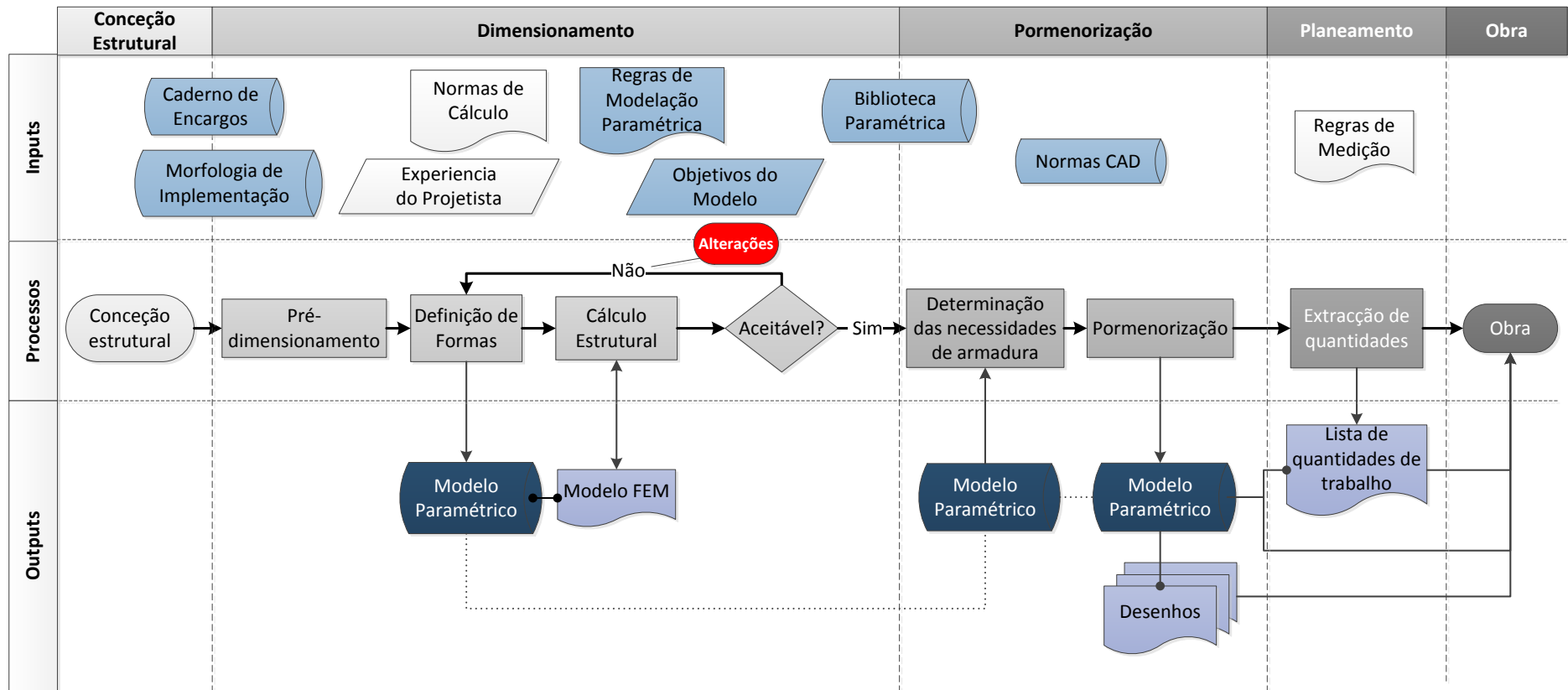


Figura 8 – Fluxo de trabalho BIM possível para o projeto de estruturas

O processo associado ao cálculo estrutural inicia-se, invariavelmente, com um pré-dimensionamento realizado pelo projetista que, conforme a sua experiência, se pode aproximar mais ou menos da solução estrutural final. Numa abordagem clássica o processo seguinte passa pela elaboração de um modelo de elementos finitos (FEM) que permita o cálculo detalhado da estrutura. Simultaneamente, ou pelo menos após existir uma garantia forte relativamente às formas definidas para a estrutura, começam a ser produzidos os desenhos de pormenorização. O modelo FEM é utilizado num processo iterativo, em que a solução preconizada é calculada e alterada sucessivamente, até ser obtida uma solução aceitável (corresponde a uma resposta positiva no ponto de decisão do fluxograma). Qualquer alteração posterior tem de ser contabilizada neste processo, correspondendo, no fluxo apresentado, a retomar o caminho representativo de uma resposta negativa no ponto de tomada de decisão. Todas estas alterações têm obviamente de vir refletidas nos desenhos produzidos que, por serem independentes do modelo FEM, têm de ser atualizados manualmente com um elevado esforço e dispêndio de recursos, e com dificuldades acrescidas de organização e de garantia de conformidade entre elementos.

Um processo de trabalho em ambiente BIM apoia-se em tecnologia que pode aumentar a produtividade destas etapas. Em ambiente BIM, após a fase de pré-dimensionamento, inicia-se a construção do modelo paramétrico da solução estrutural preconizada. Este será a base para a obtenção do modelo FEM, sendo que os dois devem partilhar uma ligação bidirecional, ou seja, qualquer alteração introduzida num dos modelos é automaticamente reproduzida no outro. Desta forma é possível manter o atual processo cíclico de cálculo estrutural, em que o engenheiro produz as alterações necessária no modelo FEM, que se refletem automaticamente no modelo paramétrico. Por sua vez, o modelo paramétrico é utilizado para a extração dos desenhos, partilhando com estes uma ligação unidirecional. Esta ligação traduz-se numa atualização automática das representações 2D quando são introduzidas alterações ao modelo paramétrico. A estrutura de processos apresentada permite ultrapassar problemas vários de organização e de garantia de conformidade.

Com base na solução obtida na fase anterior, é necessário estabelecer os pormenores estruturais, referentes às armaduras dos elementos de betão. Numa situação clássica estas quantidades são determinadas através dos resultados do cálculo realizado no programa de elementos finitos, do qual é extraída a informação relativamente ao nível de tensão que atua em cada elemento. Com essa informação é determinado o tipo e a quantidade da armadura e definido o seu posicionamento, características que têm de vir refletidas nos desenhos de pormenorização. Estes desenhos são realizados com recurso a ferramentas CAD, obrigando a que, qualquer alteração que venha a ser imposta tenha de ser manualmente traduzida em todos os desenhos produzidos. Neste sentido, a metodologia BIM representa, uma vez mais, uma melhoria significativa face ao fluxo tradicional. Assentando no uso do modelo paramétrico, como a base de dados central do processo, ele deve ter capacidade de armazenar a informação da análise FEM, que é utilizada na determinação das quantidades de armadura necessárias. Estas por sua vez, são inseridas como objetos paramétricos no modelo, e os desenhos são atualizados automaticamente.

Relativamente à extração das quantidades de materiais, a abordagem clássica exposta assenta os seus fluxos de trabalho, numa contabilização manual dos volumes e das dimensões dos elementos, a partir dos desenhos produzidos. Esta metodologia é morosa, representa uma alocação de recursos significativa, e é algo limitada na quantificação de materiais quando são introduzidas alterações no projeto. Em ambiente BIM, porque o modelo é paramétrico e, portanto, contém todos os elementos classificados por tipos ou famílias, é possível contabilizá-los e extrair qualquer tipo de quantidade, de forma automática. Esta possibilidade facilita ainda a atualização da listagem quando é necessário refletir alterações, pois o modelo sobre o qual é efetuada a extração deve corresponder à situação mais atualizada.

A ligação entre o trabalho produzido pelos fluxos apresentados, e a fase de construção do empreendimento é materializada pela entrega da documentação que resulta da fase de projeto. Da presente exposição verifica-se que, para além da melhoria da qualidade dos produtos finais, usualmente referidos como *deliverables*, que são já prática corrente, uma metodologia BIM deve ser orientada para a entrega do modelo paramétrico ao empreiteiro. Seguindo o raciocínio descrito no capítulo anterior (relativamente à integridade da informação), este modelo deve acompanhar todo o ciclo de vida da estrutura, permitindo aumentar a produtividade de todos os elementos afetos ao projeto, em todas as suas etapas.

Como é possível verificar, a metodologia BIM idealizada apresenta aumentos de produtividade muito elevados, permitindo simultaneamente aumentar a qualidade dos *deliverables* e do projeto global. Contudo, esta abordagem está fortemente dependente das capacidades tecnológicas dos vários *softwares* utilizados no gabinete de projeto. Neste sentido, para além da capacidade de produção e de manuseamento de elementos paramétricos pelos programas utilizados, existem três pontos essenciais para uma correta aplicação do fluxo BIM proposto:

- A ligação bidirecional entre o modelo paramétrico e o modelo de elementos finitos utilizado para o cálculo estrutural;
- A ligação unidirecional entre o modelo paramétrico e os desenhos produzidos;
- A ligação unidirecional entre o modelo paramétrico e as listas de quantidades de trabalho a extrair da estrutura.

A presente dissertação propõe testar a aplicabilidade do fluxo de trabalho BIM de nível III apresentado, através de uma aplicação prática, um caso de estudo, tendo como base o conceito de BIM no contexto de trabalho colaborativo entre equipas (nível IV). Justifica-se assim, antes da aplicação prática desta metodologia, a necessidade de aprofundar o conhecimento relativamente às ferramentas tecnológicas de base BIM atualmente disponíveis, juntamente com as normas e a regulamentação existentes que possam contribuir para o trabalho a desenvolver.

3.2 Ferramentas tecnológicas

Um processo BIM apresenta alguma complexidade ao nível da coordenação, pois requer uma plena interação entre uma grande variedade de intervenientes do projeto. A sua viabilidade é suportada por plataformas tecnológicas que garantem a continuidade e a integridade da informação entre as diversas etapas. Neste contexto, é fundamental abordar o conceito de plataformas informáticas e analisar as características daquelas que são utilizadas com mais frequência. Com vista à reutilização da informação, é também importante estudar quais os formatos em que a informação é arquivada e manipulada, de forma a poder ser partilhada entre as plataformas. Este tema é vasto, abrangendo diversas fases de projeto e construção e, conseqüentemente, vários programas e formatos de ficheiros. De forma a limitar a exposição efetuada, o presente documento foca esta temática orientada para o projeto de estruturas.

3.2.1 Aplicações computacionais

Atualmente, para a correta definição de todos os elementos inerentes a um projeto de estruturas são necessários pelo menos dois tipos de programas: aplicações de cálculo de elementos finitos e sistemas gráficos de desenho assistido por computador (*computer aided drawings*, CAD). Uma metodologia de trabalho BIM deverá ainda ser apoiada por ferramentas de gestão da informação paramétricas, ou seja, ferramentas computacionais de base BIM.

Um **programa de elementos finitos (Finit Element Analysis – FEA)** é um *software* que requer um modelo digital tridimensional (3D) analítico, o qual opera sobre um processador de cálculo que efetua a resolução do problema apresentado, subdividindo a situação inicial em partes mais simples, os elementos finitos. Estes programas de cálculo são utilizados pelo engenheiro durante a fase de projeto, para a obtenção dos esforços que atuam nos elementos pré-dimensionados estabelecidos inicialmente para a solução estrutural definida para o edifício. Existe no mercado uma vasta gama de programas deste tipo, cada um mais ou menos adequado a determinado tipo de problema. Não sendo objetivo do presente trabalho efetuar uma análise de qual a melhor plataforma de cálculo, é contudo importante, numa ótica BIM, conhecer qual a capacidade de troca de informação de cada programa. O fluxo de dados permitido por cada *software* é uma característica a considerar na avaliação da qualidade do programa para ser utilizado nos fluxos propostos. Os programas de elementos finitos mais utilizados em Portugal são o SAP2000, da Computer & Structures, Inc (CSI) [48] e o Robot da Autodesk [28], e ainda o STAAD e o RAM, dois pacotes de produtos da Bentley [34] e [35]. No desenvolvimento da presente tese, e no contexto de um enquadramento empresarial, é utilizado o programa SAP2000 na aplicação prática da metodologia de trabalho apresentada.

Um **programa de Desenho Assistido por Computador (CAD)** é essencial num gabinete de projeto de estruturas. Este tipo de programa é, geralmente, utilizado nas salas de desenho, por desenhadores com bastante prática no seu manuseamento, na criação da documentação gráfica (2D) a ser utilizada em obra. A elevada especialização dos elementos que utilizam esta ferramenta permite

ganhar produtividade e libertar os engenheiros para funções técnicas mais específicas. Apesar da variedade de programas existentes, os mais utilizados, líderes de mercado a nível mundial são o Autocad, da Autodesk [29], e o Microstation da Bentley [36]. Apesar de não estar prevista a necessidade de se utilizar um programa CAD no desenvolvimento prático da metodologia BIM apresentada, caso seja necessário, o *software* utilizado no decurso do presente trabalho será o Microstation.

Uma **ferramenta de base BIM** é um programa que apoia a tarefa de gestão e coordenação da informação, inerente ao trabalho colaborativo BIM. Nesse sentido, e utilizando os conceitos presentes em [7] podem ser identificados três tipos de programas BIM:

- Uma ferramenta BIM é um programa que realiza algumas das tarefas inerentes ao BIM como a visualização de modelos, a análise de conflitos (*clash-detection*), a geração automática de representações 2D, a extração de quantidades, etc. Um exemplo é o Solibri Model Viewer [68], uma aplicação *freeware* com capacidade de leitura de modelos paramétricos.
- Uma plataforma BIM difere de uma ferramenta, na medida em que é capaz de gerar informação que é utilizada nas várias ferramentas. Uma plataforma tem a capacidade de criar modelos paramétricos e de exportar a informação que gera, arquivando-a em diferentes formatos. Geralmente apresenta ferramentas incorporadas, permitindo realizar várias tarefas. Alguns destes programas são o Revit, da Autodesk [30], o AECOSim Building Designer, da Bentley [37] e o ArchiCad, da Graphisoft [58].
- Finalmente um ambiente BIM é uma solução informática complexa que permite a gestão de toda a informação de um projeto. Não produz os modelos tridimensionais, mas permite manter um registo das alterações efetuadas aos modelos. Permite igualmente estabelecer os processos de troca de informação e de comunicação entre diferentes programas, guardar informação relativa a *e-mails* trocados, imagens, vídeos, etc. São essencialmente servidores com uma interface apelativa, e com capacidade de registo e arquivo de alterações produzidas. Existem algumas soluções no mercado tais como o Vault da Autodesk [31], o ProjectWise, da Bentley [38] e o BIM Server [41], uma plataforma em *open source*.

Na presente dissertação será utilizado o programa da Bentley, o AECOSim Building Designer (ABD), para a modelação paramétrica e a gestão de toda a informação associada ao projeto. Este programa tem a particularidade de funcionar sobre a aplicação CAD da Bentley, o Microstation. Tendo como objetivo a análise do processo descrito, um processo BIM individual (nível III), não será utilizado nenhum ambiente BIM, e toda a gestão será realizada dentro do próprio sistema ABD.

3.2.2 Interoperabilidade

A capacidade de intercâmbio de dados bidirecional, entre os vários *softwares*, é o que se designa por interoperabilidade. Este aspeto é essencial para o estabelecimento de metodologias de trabalho BIM eficazes. Quanto maior for o nível da capacidade da interoperabilidade, menor é a perda de conhecimento

entre as diferentes fases do empreendimento (Figura 4, item 2.4), menor é o dispêndio de recursos na reprodução de informação, e há uma maior segurança na partilha de dados entre utilizadores. Sem um elevado nível de capacidade de interoperabilidade, a reprodução de alterações impostas ao projeto nos elementos e documentos a jusante não é garantida, criando problemas de consistência. Com um grau de interoperabilidade fraco, o esforço BIM pode perder-se e os resultados obtidos vão redundar nos problemas identificados na metodologia clássica de trabalho. A eficaz interoperabilidade reduz a necessidade de repetir trabalho e aumenta o grau de confiança na informação contida no modelo sobre o qual se está a trabalhar. A questão da interoperabilidade pode ser resolvida por duas vias:

- Utilizando ligações diretas entre programas diferentes ou recorrendo a um único sistema associado aos seus subprodutos;
- Estabelecendo ligações indiretas com base em formatos de dados utilizados especificamente para permitir a transferência de informação.

As ligações diretas entre dois programas funcionam via *Application Programming Interfaces* (API). As aplicações API permitem a um programa utilizar as funcionalidades e executar tarefas de um outro programa, sem existir um conhecimento aprofundado relativamente aos detalhes de implementação desse *software* [47]. Estas aplicações recorrem muitas das vezes ao estabelecimento de rotinas, permitindo que programas diferentes trabalhem sobre o mesmo conjunto de informação. Devido às necessidades, impostas pelo BIM, de um elevado nível de capacidade de interoperabilidade, estas aplicações têm vindo a ser desenvolvidas e melhoradas, de forma a permitirem o estabelecimento da ligação entre diferentes *softwares* utilizados na indústria da AEC. As ligações indiretas, por sua vez, têm por base a capacidade dos *softwares* em lerem ou produzirem informação num formato distinto daquele para o qual foram definidos inicialmente. Neste contexto, é importante distinguir os formatos de dados nativos e os de transferência.

- Um formato nativo é característico de cada programa e apresenta uma estrutura de dados própria. Por exemplo o formato .dwg é gerado e manipulado pelo sistema Autocad, enquanto que o .dgn é o formato proprietário da Bentley, produzido pelo Microstation. Ambos os formatos são utilizados para representar informação relativa aos desenhos gerados em sistema CAD.
- Um formato de transferência permite a intercomunicação entre softwares. Este tipo de formato é gerado pelos programas que trabalham nos seus formatos nativos, mas que deste modo permitem que os dados guardados no formato nativo possam ser interpretados por outro sistema. Ao nível de informação CAD, o primeiro formato estabelecido para efeitos de transferência de informação, foi o Initial Graphics Exchange Specification (IGES). Posteriormente, foi criado pela Autodesk o Drawing eXchange Format (dxf), que se estabeleceu como a estrutura de dados preferencial para troca de informação geométrica entre programas CAD.

No âmbito BIM, devem distinguir-se as noções de formato, padrão e protocolo. Um formato é um modo de representar a informação e é apresentado como um ficheiro informático com uma determinada

extensão (dxf, docx, xls...). Um padrão é uma norma ou conjunto de regras, que estabelece critérios técnicos, métodos e processos com o objetivo de uniformizar a maneira como os técnicos de informática constroem os formatos de informação. Um protocolo é um sistema digital que estabelece regras para a troca de informação entre aplicações.

A capacidade de interoperabilidade apresenta uma elevada complexidade, no desenvolvimento de projetos de base BIM, uma vez que a quantidade e a natureza da informação presente num modelo é volumosa e diversificada. Atualmente, as ferramentas tecnológicas disponíveis, não admitem ainda um formato de informação suficientemente capaz de transferir a totalidade dos dados requeridos num modelo. Esta limitação não constitui um problema quando os intervenientes da indústria operam apenas num fragmento específico da informação. Nesse caso, interessa apenas que a troca de dados seja adequada, no domínio de trabalho de cada participante. Para o efeito, existem formatos, padrões e protocolos que permitem responder a esta necessidade. O presente trabalho foca este tema numa perspetiva de geração e manipulação da informação geométrica estrutural, e para o efeito da quantificação de materiais. São, de seguida, apresentados alguns dos formatos de informação usualmente utilizados para a transferência de dados e que são utilizados na aplicação prática do fluxo de trabalho proposto no início do presente capítulo.

O acrónimo **IFC**, de **Industry Foundation Classes**, é utilizado recorrentemente para se referir tanto ao formato de transferência de informação .ifc como ao padrão IFC. Criada em 1994, a buildingSMART é a associação responsável por “desenvolver, melhorar e manter a especificação IFC, e contribuir para a sua implementação em *software* IFC-compatível” [43]. Atualmente existem três especificações essenciais ao IFC:

- O padrão IFC é o documento de referência para o desenvolvimento de programas com capacidade de leitura e produção de dados .ifc, pois determina a maneira como os objetos devem ser representados informaticamente, e como os diferentes programas devem produzir e ler ficheiros .ifc. Atualmente este documento encontra-se regulado pela *International Standard Organisation* (ISO) na norma ISO 16739 [61];
- O protocolo *International Framework for Dictionaries* (IFD) é uma biblioteca que contém todo o tipo de informação requerido num modelo de construção. O objetivo desta biblioteca é uniformizar a forma de comunicar a informação, evitando ambiguidades entre programas. Foi criada de acordo com a norma ISO 12006-3, tendo sido recentemente renomeada de buildingSMART *Data Dictionary* [1];
- Os documentos *Information Delivery Manuals* (IDM), criados de acordo com a norma ISO 29481, pretendem estabelecer a comunicação entre a indústria da construção civil e da tecnologia informática, com o objetivo de orientar as ferramentas eletrónicas para as necessidades da indústria [22].

A estrutura representada na Figura 9 ilustra a complexidade envolvida nos processos de transferência de informação BIM. O BIM baseia-se numa modelação 3D paramétrica, que se traduz na

criação e na manipulação de objetos ricos em informação e com regras associadas. Os programas de base BIM criam os seus próprios elementos e a respetiva parametrização de forma diferente entre si, resultando numa estrutura complexa de processos de transferência de informação.

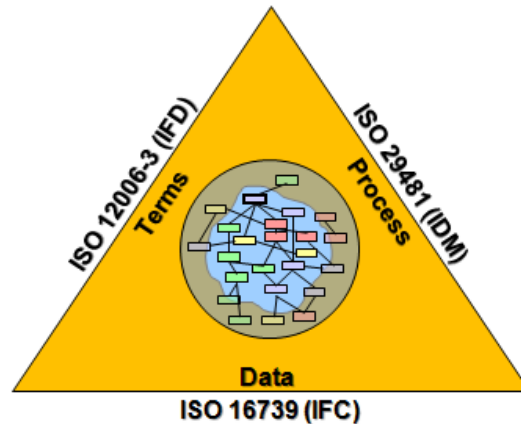


Figura 9 – Estrutura de informação associada ao padrão IFC (adaptado de [1])

A aplicação dos documentos IDM's tem-se traduzido numa evolução muito pronunciada das ferramentas tecnológicas de base BIM, tendo-se concluído que o tipo de informação envolvida numa transferência é, regra geral, muito específica, ou seja, apenas interessa transferir uma parte dos dados disponíveis no modelo. Frequentemente, os programas que importam modelos de informação, não têm capacidade para ler dados que não se insiram no seu espectro de trabalho. Assim, o ifc, apesar de apresentar um formato único, pode conter um dos seguintes tipos de informação, designados de *Model View Definitions* (MVDs):

- O IFC2x3 *Coordination View* (versão 2.0) é utilizado para coordenar a arquitetura, as estruturas e as restantes especialidades durante a fase de projeto;
- O IFC2x3 *Structural Analysis View* é aplicado na ligação entre o modelo estrutural e os programas de cálculo estrutural;
- O IFC2x3 *Basic FM HandOver View* permite a partilha de informação relativa às quantidades de materiais e à gestão da infraestrutura.

Assim, quando um programa apresenta capacidade para importar e exportar um modelo no formato IFC, não garante a completa transmissão da informação pretendida. É necessário previamente conhecer qual dos MVD's é suportado pelo *software*. Contudo, mesmo quando o programa manipula modelos com o MDV adequado, verifica-se que nem sempre a informação é transferida corretamente. Um dos problemas mais frequentes é, por exemplo, a perda da parametrização dos elementos durante a transposição entre programas. A geometria dos objetos, requisito mínimo de uma transferência correta de informação, é também um problema corrente, sobretudo em elementos com aberturas embutidas. Estas limitações estão relacionadas, fundamentalmente, com três situações [65]:

- O desenvolvimento do IFC é um processo em evolução, nomeadamente no que se refere aos MDV's que vão evoluindo em relação à quantidade e à qualidade da informação a transferir;
- A implementação, pelos fornecedores de *softwares*, de métodos para o manuseamento de ficheiros IFC não está ainda isenta de dificuldades, existindo duas etapas durante as quais podem ser produzidos erros, que são o processo de transformação de um ficheiro nativo para IFC e o processo inverso de conversão do ficheiro IFC para o formato nativo;
- O formato IFC, apesar de aberto, serve apenas para a transferência de informação, não tendo a capacidade de representar elementos paramétricos editáveis.

A referência <http://www.buildingsmart-tech.org/certification/ifc-certification-2.0/ifc2x3-cv-v2.0-certification/participants> apresenta uma lista (transposta parcialmente no Anexo 1) com os fornecedores de *softwares* e as respetivas plataformas que já alcançaram algum nível de certificação IFC (de acordo com os critérios da BuildingSMART). A consulta desta lista pode ser útil no processo de tomada de decisão relativamente ao *software* a adotar na empresa. Convém, no entanto, considerar os vários tipos de MVD's disponíveis, pois mesmo possuindo certificação, continuam a admitir falhas nos processos de importação e exportação, sendo indispensável realizar alguns testes para analisar e selecionar os produtos que transmitam uma maior confiança na decisão a tomar.

Foi publicada, no final de 2014, uma versão da especificação IFC4. Assim, num futuro próximo, aguarda-se que o desenvolvimento de MVD's seja baseado nesta especificação. Contudo, é provável que a sua integração, nos *softwares* de mercado, demore ainda algum tempo. Salienta-se ainda o facto de existirem outros padrões IFC como o IFCxml e o IFCzip que podem ser gerados a partir do padrão base .ifc e com aplicações diversas.

Apresenta-se de seguida uma descrição sucinta de outros padrões usuais nas trocas de informação entre programas, suas características e leque de aplicação:

- *CimStell Integration Standard, Versão 2 (CIS/2)*. Este padrão foi desenvolvido em Inglaterra com o intuito de se estabelecer como o formato de troca de informação, entre todos os intervenientes na indústria do aço estrutural, englobando as etapas de projeto, fabricação e construção. À semelhança do IFC, o CIS/2 encontra-se dividido em três definições específicas, *structural analysis*, que contém a informação relativa ao modelo analítico, *structure element design*, que contém informação geométrica do modelo, e *structure detailing*, que transporta a informação relativamente aos pormenores construtivos como as ligações entre os elementos. Esta especificação encontra-se padronizada de acordo com a norma ISSO-10303-21, [24] e [62];
- *Drawing eXchange Format (DXF)*. Este padrão foi desenvolvido pela Autodesk com o intuito de facilitar as trocas de informação entre os programas CAD. É um formato de informação aberto e que permite transferir informação geométrica, juntamente com algumas das propriedades associadas aos elementos que compõem os desenhos, tais como espessuras de linhas, cores, etc. Apesar de não ser um formato indicado para a partilha de informação tridimensional ou

paramétrica, pela sua importância e divulgação, não pode deixar de ser referenciado no presente trabalho, [32].

- *Initial Graphics Exchange Specification* (IGES). O acrónimo IGES corresponde ao primeiro formato de transferência de ficheiros CAD e teve a sua primeira versão em 1980. Admite a transferência de informação geométrica, produzida pelos sistemas CAD, mas não tem a capacidade de transferência de informação baseada em objetos, requerida num trabalho BIM. É contudo, ainda hoje, um formato muito popular, integrando quase todas as plataformas relacionadas com a engenharia civil (seja CAD, FEM, etc...), [9].
- *Steel Detail Neutral File* (SDNF). Este formato, à semelhança do CIS/2, foi desenvolvido com a principal finalidade de apoiar a indústria do aço estrutural. O SDNF está estruturado de acordo com o padrão *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), e a sua versão mais recente é a 3.0. É um tipo de ficheiro que tem vindo a cair em desuso, mas pela sua proliferação nos vários *softwares*, poderá ser útil no desenvolvimento do trabalho, [15].
- *Structural Analysis and Design Pro* (STAAD). Os ficheiros .std representam o formato nativo de dados do programa STAAD.pro, *software* FEM proprietário da Bentley. Ao contrário dos formatos apresentados nesta secção, este tipo de ficheiro não foi criado para a partilha de informação, no entanto, este formato será bastante útil no desenvolvimento do presente trabalho.

3.3 Normalização

A questão da normalização é essencial a qualquer processo apoiado em BIM. A partilha de informação apresenta vários problemas de ordem legal, pois é necessário definir quem é o proprietário da informação, quem pode reutilizar informação de outros autores, com que extensão o pode fazer, e, na eventualidade de existirem erros que se venham a propagar a jusante, de quem é a responsabilidade dos mesmos.

Para além da questão legal, o objetivo da partilha de informação é o de reduzir tempos e custos originados nos processos de desenvolvimento do projeto. É pois necessário que as diferentes plataformas, envolvidas no ciclo de vida de um projeto, sejam capazes de comunicar corretamente. Para o efeito, a existência de normas reguladoras é essencial na criação de condições que permitam minimizar a perda de informação e a necessidade de correções ou de reintroduzir dados. Adicionalmente, como o produto final é uma junção de dados provenientes de vários intervenientes, é requerido que a informação manipulada seja concordante ao nível de conteúdos e detalhe apresentados. A normalização deve apoiar a criação de uma forma de comunicação comum a todos os intervenientes, aproximando o esforço de modelação de cada um e contribuindo para o desenvolvimento de modelos consistentes e organizados.

Consultando a referência <http://bim.natspec.org/index.php/resources/bim-guidelines> é possível descarregar algumas das normas BIM mais relevantes a nível internacional. Esta lista é apresentada resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1 – Síntese de alguns dos documentos regulamentares desenvolvidos ao nível da normalização BIM (adaptado de [55])

País	Organização Responsável	Norma	Última Publicação
Australia	Natspec	NATSPEC National BIM Guide	2011
Australia	CRC for Construction Innovation	National Guidelines for Digital Modeling	2011
Australia & NZ	ANZRS	ANZRS v.3	2012
Canada	CanBIM	AEC (CAN) BIM Protocol 1.0	2012
China	HKIBIM	HKIBIM Specification	2011
Dinamarca	Digital Construction	ICT Demands	2010
Espanha	FIDE	FIDE	2011
EUA	NIBS	NBIMS-US™ V2	2013
EUA	Air Force	BIM Requirements	2011
EUA	Tricare	DoD MHS Minimum BIM Requirements	2011
EUA	USACE	BIM Requirements	2011
EUA	Georgia GSFIC	GSFIC BIM Guide	2011
EUA	Federal Aviation Administration	Minimum BIM Requirements	2012
EUA	NY SCA	BIM Guidelines and Standards	2014
EUA	SDCCD	BIM Standards for Arch. Eng. & Contr.	2013
EUA	Georgia Tech	GT BIM Requirements for Arch. Eng. & Contr.	2011
EUA	GSA	BIM Guide Series	2012
EUA	Department of VA	The VA BIM Guide	2010
EUA	NYC DDC	DDC BIM Guidelines	2012
EUA	PA of NY Eng. Dept.	EAD BIM Standard Manual	2012
EUA	City of San Antonio	CoSA BIM Standards	2011
EUA	Ohio DAS	Ohio BIM Protocol	2010
EUA	Texas Facilities Commission	Guidelines - Standards	2008
EUA	Wisconsin DOA	BIM Guidelines and Standards	2012
EUA	MIT Dept. of Facilities	MIT CAD and BIM Guidelines	2012
EUA	LA Community College	BIM Standards	2009
EUA	LA Community College	DB BIM Standards	2010
EUA	LA Community College	DBB BIM Standards	2011
EUA	Penn State Univ.	BIM Project Execution Planning Guide v2.1	2010
EUA	Penn State Univ.	BIM Plannign Guide for Facility Owners	2012
EUA	USC	BIM Guidelines 1.6	2012
EUA	AIA	BIM Protocol Exhibit	2008
EUA	AGC	Contractor's Guide to BIM 2nd Ed	2009
EUA	AGC	Contractor's Guide to BIM 1st Ed	2006
EUA	Indiana University	IU BIM Guidelines and Standards	2012
EUA	Autodesk	BIM and Cost Estimating	2007
EUA	Autodesk	BIMs return on investment	2007
Finlandia	Building SMART Finland	Common BIM Requirements	2012
Holand	RGD	Rgd BIM Norm	2013
Noruega	Statsbygg	Statsbygg - BIM Manual	2013
Noruega	Boligprodusentene	BIM Manual	2012
Singapura	BCA/CORENET	Singapore BIM Guide Version 1.0	2012
UK	AEC (UK) Committee	AEC (UK) BIM Protocol v2.0	2012
UK	The British Standards Institution	PAS 1192:2007	2013
UK	CIC	The BIM Protocol	2013

Sendo um dos objetivos da presente dissertação, estabelecer diretrizes de implementação de processos de trabalho BIM num gabinete de estruturas, é fundamental conhecer as regras desenvolvidas que regem este tipo de processos, de forma a alcançar um resultado final que possa ser facilmente integrável num processo BIM global, de nível IV. O presente item analisa algumas das normas desenvolvidas, identificando o tipo de informação que é relevante para o projeto de estruturas, de forma a estabelecer o ponto de partida para a elaboração de um processo BIM adequado e munido de ferramentas práticas para a sua posterior aplicação.

Efetua-se, então, uma análise sistemática das diferentes normas. Numa primeira fase as normas são apresentadas relativamente à sua origem, aos temas que apoiam e ao conceito de aplicação de cada uma. Numa fase posterior, as normas são escolhidas em função do seu nível de divulgação, aplicação, qualidade reconhecida internacionalmente e pela proximidade geográfica. O trabalho foca, essencialmente, as iniciativas desenvolvidas nos Estados Unidos da América, Reino Unido, Finlândia, Singapura e Austrália, por serem os países em que se tem verificado um maior desenvolvimento do BIM. Pretende-se, da análise destas normas, obter uma visão de quais as tendências globais de normalização, de forma a orientar adequadamente o estudo proposto.

3.3.1 Regulamentação internacional

A **Finlândia** destaca-se como a nação líder na implementação do BIM. A sua indústria da construção é composta por empresas de pequena e média dimensão, flexíveis e com uma forte cultura tecnológica, características favoráveis ao desenvolvimento de ambientes colaborativos. Assim, em termos de normalização BIM, foi inicialmente analisada a necessidade de definir o que deve ser modelado e de que modo. Após o desenvolvimento de um trabalho em cooperação com o governo, foi publicada, em 2012, a primeira versão da *Common National BIM Requirements* (COBIM), composta por 14 volumes [44], que podem ser observados na Figura 10.

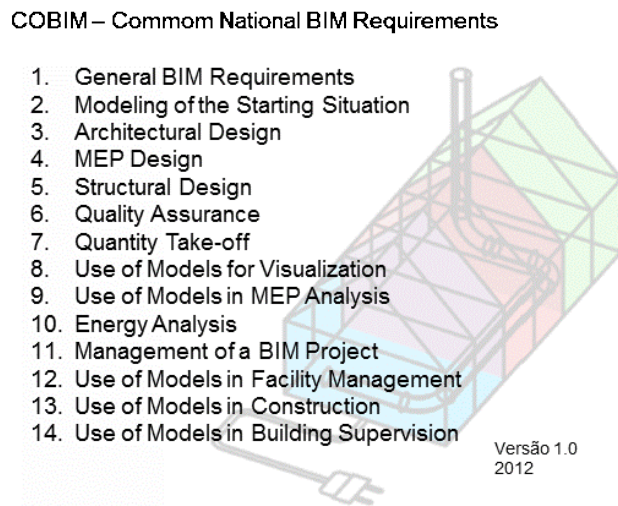


Figura 10 – Volumes da norma COBIM (adaptado de [44])

Cada volume aborda, em exclusivo, um tema. Os primeiros 5 volumes apresentam os requisitos fundamentais para a modelação:

- São definidos os níveis de modelação, estabelecendo-se para cada nível, entre 1 e 3, quais os elementos que devem ser modelados e como;

- São abordadas cada uma das fases do projeto, e apresentado, para cada uma, qual o nível de modelação, entre os 3 descritos, que deve ser aplicado. Cada documento apresenta uma matriz que resume esta informação, explicitando para cada tipo de elemento qual o modo de modelação.
- Adicionalmente, são apresentadas normas generalistas, aplicáveis a todo o modelo, e a processos mais específicos, recorrentes no ciclo de vida do projeto. Alguns destes processos, pela sua importância, são descritos com um maior detalhe em cada volume da norma.

Esta norma foca-se, sobretudo, na definição dos requisitos BIM, de forma a estabelecer uma linguagem comum na indústria, em detrimento da informação relativa à organização do processo BIM ou as questões legais de partilha de informação. Pelo reconhecimento internacional da qualidade BIM da indústria finlandesa, este documento será abordado com um maior detalhe no caso de estudo analisado.

Os **Estados Unidos da América** é o país líder a nível mundial de praticamente todas as especificidades da indústria AEC, sede de várias empresas-chave fornecedoras de *software*, e um polo tecnológico natural, com uma enorme influência nas tendências e nos desenvolvimentos da aplicação de fluxos de trabalho BIM. Contudo, a dimensão da sua indústria e a cultura litigiosa da sua sociedade, são grandes obstáculos ao desenvolvimento do trabalho colaborativo. Em termos de normalização, é o maior produtor de documentos de orientação para a implementação BIM. No entanto, o elevado volume de documentação origina por vezes problemas de articulação e de convergência de conceitos. Este facto é evidenciado pelo número de normas identificadas na listagem da Tabela 1. Importa, no entanto, destacar o trabalho realizado pelo *American Institute of Architects (AIA)* [23], exposto na Figura 11.

American Institute of Architects – Digital Practice Documents

Guide Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents
 AIA Document C106-2013 Digital Data License Agreement
 AIA Document E203-2013 Building Information Modeling and Digital Data Exhibit
 AIA Document G201-2013 Project Digital Data Protocol Form
 AIA Document G202-2013 Project Building Information Modeling Protocol Form



Level of Development Specification – 2014

Figura 11 – Conjunto de documentos da regulamentação produzida pela AIA (adaptado de [23])

O conjunto de documentos apresentados, assim como a sua versão original (de 2008), são particularmente importantes, devido à introdução do conceito de *Level of Development* ou *Level of Definition (LOD)* e no estabelecimento de procedimentos legais do projeto BIM. Devido à sua importância no estabelecimento de métodos de trabalho BIM, o conceito de LOD é desenvolvido no item 3.3.2.

Os documentos constituem um acordo legal, que pode ser utilizado em qualquer tipo de projeto de construção civil, e que tem como objetivo principal garantir uma adequada transmissão de informação entre os vários intervenientes, salvaguardando a propriedade intelectual de cada um, sem, no entanto, limitar as vantagens que advêm da sua partilha. Assim, este documento não está focado no desenvolvimento de processos BIM nem no estabelecimento de guias de modelação, mas sim na parte

legal que abrange este tema. Apesar da importância e da qualidade reconhecida a estes documentos, o seu campo de aplicação é limitado no enquadramento do presente estudo.

Apesar dos desenvolvimentos recentes, a indústria AEC do **Reino Unido** tem revelado algum ceticismo relativamente à implementação BIM, nos seus processos de trabalho. Este facto não foi, no entanto, o suficiente para impedir o governo inglês de apostar estrategicamente nesta área. O governo identifica o BIM como uma oportunidade para a redução de custos de construção e de manutenção bem como para tornar mais produtivo o setor da construção. Neste contexto, efetuou-se um investimento estruturado, apoiado numa estratégia nacional esperando-se conseguir munir o setor da construção com o conhecimento e as ferramentas que o coloquem na vanguarda da indústria, com retornos que permitam superar o investimento e resolver alguns dos problemas estruturais da construção. Com este enquadramento, foi desenvolvida uma estratégia BIM nacional que assenta na evolução da capacidade BIM da indústria, a implementar ao longo de 4 níveis de maturidade BIM, definidos originalmente por Mark Bew e Mervyn Richards [42], e apresentados na Figura 12:

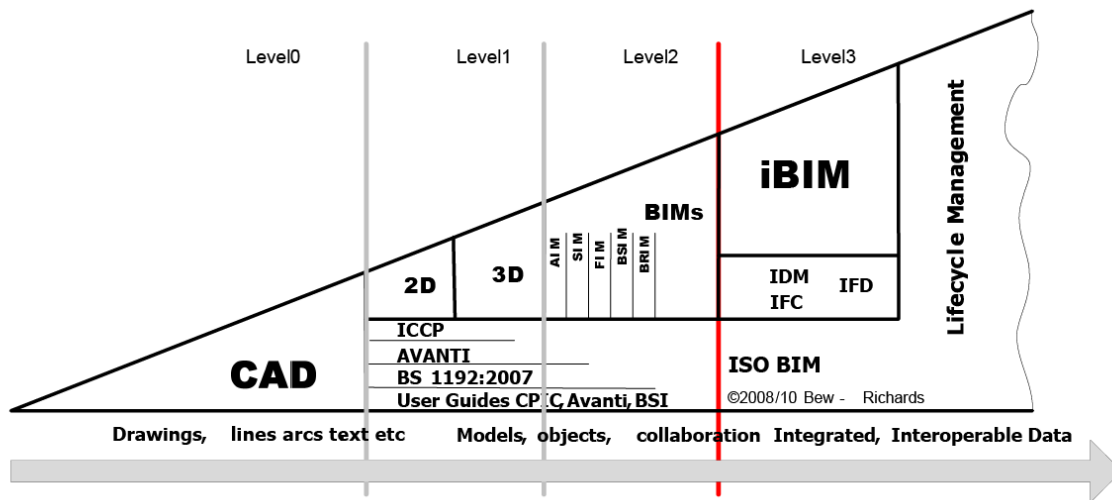


Figura 12 – Estratégia BIM no Reino Unido (retirado de [42])

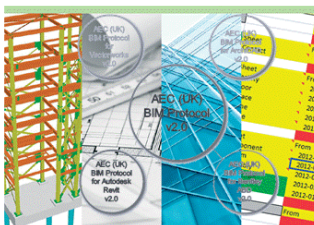
- *Level 0*, CAD não coordenado, provavelmente 2D, no formato de papel (ou “papel” eletrónico) como método de transferência de informação mais provável;
- *Level 1*, CAD coordenado em formato 2D ou 3D apoiado na norma BS1129:2007 para a colaboração entre as partes e a criação de um sistema de gestão da informação, e com, possivelmente, algum nível de normalização de conteúdos e informação. Informação proprietária gerida em aplicações individuais sem integração;
- *Level 2*, Ambiente coordenado 3D com ferramentas BIM individuais com informação associada. Integração baseada em interfaces proprietárias. Possibilidade de utilização de informação 4D e 5D;

- *Level 3*, Processo colaborativo puro, com a integração da informação realizada por serviços *web* de acordo com os *standards* abertos IFC, e gerida num modelo em servidor

A estratégia utilizada pelo governo assenta, em primeiro lugar na criação de incentivos para que as empresas introduzam o BIM nas suas estruturas e, em segundo lugar, na criação das condições necessárias para o desenvolvimento das tecnologias e das restantes ferramentas essenciais ao BIM. Entre os vários incentivos criados, refira-se a imposição legal de serem utilizados métodos de trabalho colaborativos BIM de nível 2, em todos os projetos de obras públicas a partir de 2016. Desta forma o estado, enquanto dono de obra, introduz o BIM como uma necessidade à qual a indústria terá de se adaptar para conseguir dar resposta.

Outro dos contributos importantes do estado foi a aposta na normalização dos processos BIM. A este nível, e mesmo considerando que este processo é relativamente recente no Reino Unido, os resultados foram imediatos, tendo sido criado um conjunto de regulamentação, alguma já homologada, com um elevado grau de aceitação pela indústria. A Figura 13 apresenta um resumo da referida legislação, juntamente com os documentos mais relevantes relativamente à implementação BIM no Reino Unido.

AEC (UK) BIM Strategy



AEC (UK) BIM Protocol v.2.0
 AEC (UK) BIM Execution Plan v.2.0
 AEC (UK) BIM Model Matrix V.2.0
 AEC (UK) BIM Protocol for Autodesk Revit v 2.0
 AEC (UK) BIM Protocol for Autodesk Revit – Model Validation Checklist v.2.0
 AEC (UK) BIM Protocol for Bentley ABD v 2.0
 AEC (UK) BIM Protocol for Bentley ABD – Model Validation Checklist v 2.0
 AEC (UK) BIM Protocol for GRAPHISOFT ArchiCAD v.1.0
 AEC (UK) BIM Protocol for GRAPHISOFT ArchiCAD – Model Validation Checklist for Import v1.0
 AEC (UK) BIM Protocol for GRAPHISOFT ArchiCAD – Model Validation Checklist for Export v 1.0
 AEC (UK) BIM Protocol for Nemetschek Vectorworks v.1.2

British Standard 1192:2007

- Part 1 - Collaborative production of architectural, engineering and construction information – Code of practice (BS1192:2007)
- Part 2 - Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (PAS1192-2:2013)
- Part 3 - Specification for information management for the operational phase of assets using building information modelling (BIM) (PAS1192-3:2014)
- Part 4 - Fulfilling employers information exchange requirements using COBie (BS1192-4:2014)
- Part 5 – Specification for security-minded building information management, digital built environments and smart asset management (PAS1192-5)

Figura 13 – Regulamentação BIM no Reino Unido (adaptado de [42])

O documento AEC (UK) BIM *Protocol* serve de guia para a implementação de processos BIM em conformidade com a respetiva legislação britânica BS 1192:2007. Apesar do foco principal deste guia ser o projeto, ele contém alguma informação relativamente às empresas e ao processo de adaptação que estas têm de enfrentar na mudança de paradigma do BIM, sendo mais específico, neste domínio, do que o já referido documento COBIM. Para o efeito, apresenta estruturas de coordenação da informação, organização de dados, regras de modelação, etc. A legislação produzida foi já parcialmente homologada como um padrão Britânico (*British Standard*), ou encontra-se em fase de experimentação, tendo sido publicada na forma de *Publicly Available Specification* (PAS). Devido à grande visibilidade que têm obtido nos últimos anos, tanto o AEC BIM *Protocol* como a BS1192 são alvo de uma análise mais detalhada neste documento.

O grau de implementação é variado no sector da construção e entre os vários países referidos, contudo verifica-se que o BIM é cada vez mais uma realidade. A indústria tem vindo a sentir a necessidade de padronizar conceitos e formas de trabalhar. Conclui-se, da exposição efetuada, que, com mais ou menos apoio do estado, com um enfoque maior nos processos, nas regras de modelação, ou nos normativos legais, um pouco por todo o mundo surgem normas, guias, padrões, protocolos, etc. relativamente ao BIM.

Para além da Europa e dos Estados Unidos, existem outras zonas onde este esforço é visível. A **África do Sul** por exemplo, devido à organização do Mundial de Futebol de 2010, notabilizou uma evolução muito pronunciada na implementação do BIM. Na Ásia, nomeadamente em **Singapura**, foram efetuados vários esforços de normalização, com destaque para o *Singapore BIM Guide* que se apoia bastante em documentos produzidos nos Estados Unidos da América. Também na **Austrália** o BIM tem vindo a ser utilizado, sendo o melhor exemplo a Opera de Sidney onde o BIM é ferramenta essencial para a gestão da infraestrutura, [56], [26] e [69].

Em **Portugal**, pela reduzida dimensão da economia verifica-se uma inércia maior no processo de implementação do BIM, sendo no entanto importante destacar o trabalho realizado ao nível da Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção (PTPC), associação que tem como missão “a promoção da reflexão sobre o sector e implementação de iniciativas e projetos (...) que possam contribuir para o incremento da (...) competitividade (...) promovendo a cooperação entre empresas e entidades (...) do sector da construção e obras públicas ou com ele ligadas” [64]. De entre os vários grupos de trabalho (GT) da Plataforma encontra-se o GT BIM que conta já com iniciativas como a realização do 1º *workshop* BIM em Portugal em 2012 e a divulgação do BIM com apresentações em vários Fóruns PTPC. Mais recentemente a PTPC apresenta-se como um participante ativo na constituição da comissão técnica (CT) 197 “coordenada pelo Organismo de Normalização Setorial do Instituto Superior Técnico (ONS/IST), que irá desenvolver a normalização (...) e acompanhar os desenvolvimentos do CEN/TC 442, Comité Técnico do CEN (*European Committee for Standardization*) relativo à normalização BIM” [64]. Ainda no contexto nacional, é importante fazer referência ao BIMForumPortugal, associação cuja missão passa por “promover e acelerar a adoção de *Building Information Modeling* (BIM) na indústria da construção” [40], e ao BIMCLUB, iniciativa complementar do BIMForum, e que tem em vista “o estabelecimento de uma plataforma virtual de discussão informal e promoção de iniciativas relacionadas com a implementação e divulgação do BIM, particularmente dirigido a estudantes e docentes” [39].

Uma vez compreendido o trabalho que tem vindo a ser desenvolvido a nível mundial relativamente à normalização BIM, é importante realizar uma análise mais detalhada de alguns destes documentos. Desta forma espera-se determinar um ponto de partida de regras de organização do trabalho e de modelação, que enquadrem o desenvolvimento da aplicação prática que pretende validar o fluxo apresentado na Figura 8, do item 3.1. Para o efeito foram analisadas as normas COBIM, a regulamentação Britânica e as definições de LOD da AIA, na secção que se apresenta de seguida.

3.3.2 Caracterização das normas

A preocupação relativamente à **coordenação espacial** é uma constante em todas as normas analisadas. O tema aborda as características técnicas dos modelos, nomeadamente as unidades utilizadas, as coordenadas de modelação, etc. Este tópico, não só é constante em todos os regulamentos, como apresenta um elevado grau de concordância entre eles, pois as soluções apresentadas, por cada um, diferem muito pouco. Na *Tabela 2* são apresentadas as opções das duas normas referidas, juntamente com a opção tomada na elaboração do presente trabalho.

Tabela 2 – Regras de coordenação espacial do modelo: informação retirada das normas e definições adotadas no trabalho

Regras	Normas		Definição adotada
	COBIM	UK	
Unidade de comprimento	mm	mm ¹	m:mm ²
Precisão	N.A.	2 casas decimais ³	6 casas decimais ⁴
Unidade de ângulo	°	N.A.	°
Precisão	2 casas decimais	N.A.	2 casas decimais
Localização XY	Na zona positiva, perto da origem	Na zona positiva, perto da origem	Na zona positiva, perto da origem
Elevação	Real	Real	Real
Modelo Georreferenciado	Sim	Sim	Sim
Divisão do Modelo por Edifícios	1 edifício por modelo	1 edifício por modelo	2 edifícios por modelo ⁵
Divisão do Modelo por Andares	Divisão dos elementos por andar, dentro do mesmo modelo	Elementos contínuos, divididos apenas se for necessário	Divisão dos elementos por andar, dentro do mesmo modelo
Modelação por Objetivos	Sim	Sim	Sim

¹ – pode ser revisto caso seja necessário;

² – o programa AECOsim building designer permite adotar uma unidade principal e uma subunidade. Pela vocação para o trabalho de engenharia de estruturas, e pela prática corrente no ambiente empresarial em que decorre a presente dissertação, a opção tomada difere das normas;

³ – ou mais caso exista algum objectivo específico que o obrigue;

⁴ – a opção tomada difere das normas devido ao contexto empresarial em que decorre a presente dissertação. Vai ao encontro das definições padrão da empresa na produção de desenhos;

⁵ – a opção tomada difere das normas devido à simplicidade e reduzida dimensão que os modelos apresentariam caso fossem divididos;

É importante referir que, a necessidade de localizar o modelo próximo da origem dos eixos de modelação do programa utilizado, está relacionado com a capacidade de operação dos programas pois podem surgir problemas de instabilidade quando se manipulam elementos que se encontrem muito afastados da origem (0,0). A georreferenciação pode ser efetuada de várias maneiras, conforme o *software* utilizado. Independentemente dos programas utilizados, o mais importante é que todos os modelos produzidos sejam georreferenciados da mesma forma de modo a simplificar a coordenação entre ficheiros.

No processo de **modelação** é necessário o estabelecimento de uma plataforma comum de comunicação entre todos os intervenientes. Este problema é ultrapassado pelas normas existentes,

através da definição de **Level of Detail** ou **Level of Definition (LOD)**. O conceito de LOD apresenta uma grande variedade de definições. Estas multiplicam-se com a proliferação de regulamentação que aborda esta questão. O anexo 3 apresenta as definições de LOD presentes em algumas das normas selecionadas, pondo em evidência o tratamento diferente, realizado por cada uma. Cada norma apresenta uma definição diferente para cada LOD, contendo inclusive diferentes números de níveis, desde a apresentação de 3 LODs pela norma COBIM, até aos 7 da norma inglesa PAS-1192-2. A maior fonte de problemas está na distinção entre dois conceitos que são tratados simultaneamente na definição de LOD: o nível de detalhe geométrico e o nível de detalhe da informação.

O nível de detalhe geométrico refere-se à maneira física como o objeto é construído. Tanto a nível de processamento informático, como de recursos disponíveis, não é viável que todos os elementos sejam simulados detalhadamente em computador. A quantidade da informação tornaria o modelo insustentável, e obrigaria a um esforço de modelação muito grande. Observe-se a Figura 14 onde a modelação de uma cadeira está representada de três maneiras diferentes, desde um objeto simplificado e meramente representativo, até um objeto ou conjunto de objetos, com todos os seus detalhes presentes no modelo.

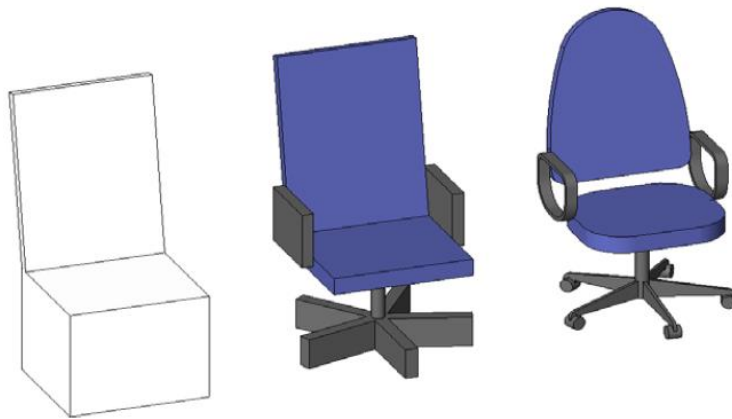


Figura 14 – O mesmo objeto modelado em diferentes LODs (adaptado de [57])

O nível de detalhe da informação por sua vez, pretende diferenciar entre elementos com uma quantidade de informação diferente, como os elementos escada presentes na Figura 15. Nada impede que, um elemento mesmo modelado com uma geometria pobre, seja rico em informação. Esta pode ser uma forma bastante mais simples e rápida de atribuir informação a um modelo sem ter que despender um grande esforço de modelação. Por vezes este conceito permite igualmente distinguir um modelo BIM de qualidade, de um modelo simplesmente 3D.

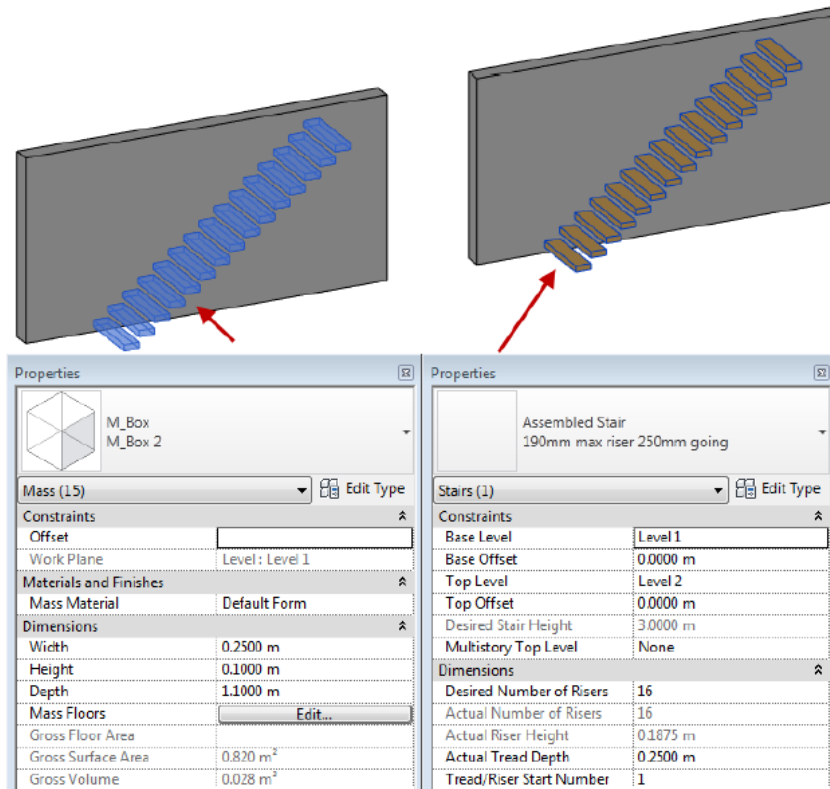


Figura 15 – Diferentes níveis de informação em modelos com igual detalhe geométrico (adaptado de [34])

A existência em simultâneo destes dois conceitos torna difícil alcançar uma definição de LOD que seja aceite e compreendida facilmente. A verdade é que ambas as definições apresentadas se referem à quantidade de informação presente no modelo, sendo que nem sempre é fácil dissociar as duas - a representação geométrica também é informação (por exemplo, na Figura 15 pode observar-se que, apesar do objeto da direita ter mais informação, esta pode ser extraída indiretamente do objeto da esquerda – número de degraus, altura, profundidade...). O problema identificado é abordado pelo documento AEC (UK) BIM Guide, onde se definem os conceitos de *Level of Development* para se referir à informação contida no modelo, e *Grade* para se referir ao respetivo detalhe geométrico. Contudo, e como está evidenciado no anexo 3, a PAS1192-2, apesar de mencionar estes dois conceitos, e de os apresentar como *Level of Model Detail* (físico) e *Level of Information Detail* (informação), define apenas um *Level of Definition* (a junção dos dois conceitos) para cada fase do projeto.

Contudo os vários regulamentos são concordantes na medida em que deve ser definido um LOD para cada fase do projeto. Neste aspeto, a norma COBIM parece ser a mais bem estruturada. Em primeiro lugar esta norma não se limita a definir um LOD por fase do projeto, separando igualmente os LODs conforme o tipo de projeto. Esta abordagem parece adequada visto que um modelo de estruturas de um edifício apresenta uma quantidade de detalhe e de pormenores inferior a um modelo de arquitetura por exemplo, não se justificando por isso que se admita um número elevado de LODs para este tipo de modelos. Em segundo lugar a COBIM não se limita a definir um LOD para cada fase do projeto. O

documento prevê igualmente a presença de elementos de LODs diferentes no mesmo modelo. Esta abordagem permite, por exemplo, retirar as quantidades exatas de uma zona do modelo e, de seguida, aplicar um fator de escala para fazer uma aproximação às quantidades totais do edifício. Verifica-se ainda por vezes, a existência, no mesmo modelo, de elementos cujo *design* (e por isso o caráter de definitivo) é mais avançado do que outros, justificando a elaboração de objetos mais detalhados.

O trabalho realizado por Silva [34] tem a particularidade de associar os LODs mais utilizados atualmente, os da AIA, a cada uma das fases de projeto estabelecidas na legislação nacional. Para facilitar a compreensão relativamente à grande variedade de definições de LOD existentes na regulamentação internacional, foi elaborada a Figura 16. Nesta figura, e porque em cada país as etapas definidas para o projeto são diferentes, foram utilizadas as fases de projeto admitidas por Silva, juntamente com os LODs definidos em algumas das normas mais importantes.

Com o estudo efetuado. Importa concluir que, na tentativa de uniformizar conceitos e simplificar a linguagem, registou-se o crescimento de várias conceções, não articuladas, originando interpretações diferentes. Por este motivo, o presente trabalho não se irá preocupar na definição de LODs para a obtenção do modelo. Para uma orientação do processo de modelação, irá ser adotada uma outra abordagem, igualmente patente nas várias normas e com um grau de concordância muito superior, a **modelação por objetivos**. Estes objetivos devem ser definidos no começo de um novo projeto, alinhando as capacidade e rotinas BIM da empresa, às necessidades do dono de obra e dos restantes intervenientes.

Com o enquadramento realizado no capítulo 2 relativamente à reutilização da informação, fica patente que, num ambiente colaborativo BIM de nível IV, o modelo paramétrico produzido por qualquer especialidade, deve ser disponibilizado aos restantes intervenientes ao projeto, e será com certeza reutilizado a jusante do ponto em que foi produzido. Acontece que, cada equipa de trabalho tem os seus objetivos concretos, as suas metodologias, *softwares* e definições. Neste sentido, é fundamental que o modelo produzido por um interveniente, tenha o mesmo grau de utilidade para as restantes equipas. Este é o conceito essencial da modelação por objetivos. Um exemplo prático e simples deste conceito é, por exemplo, a necessidade imposta pela equipa de estruturas, que as especialidades como o aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC) apresentem um modelo tridimensional com as dimensões exatas dos componentes, para efeito de coordenação destes com as aberturas nos elementos estruturais. Assim, durante a modelação AVAC, reconhece-se que a geometria é um requisito fundamental, mas que, por exemplo, a definição de materiais, potências, fornecedores, etc, são elementos acessórios, não fundamentais para o processo específico do BIM.

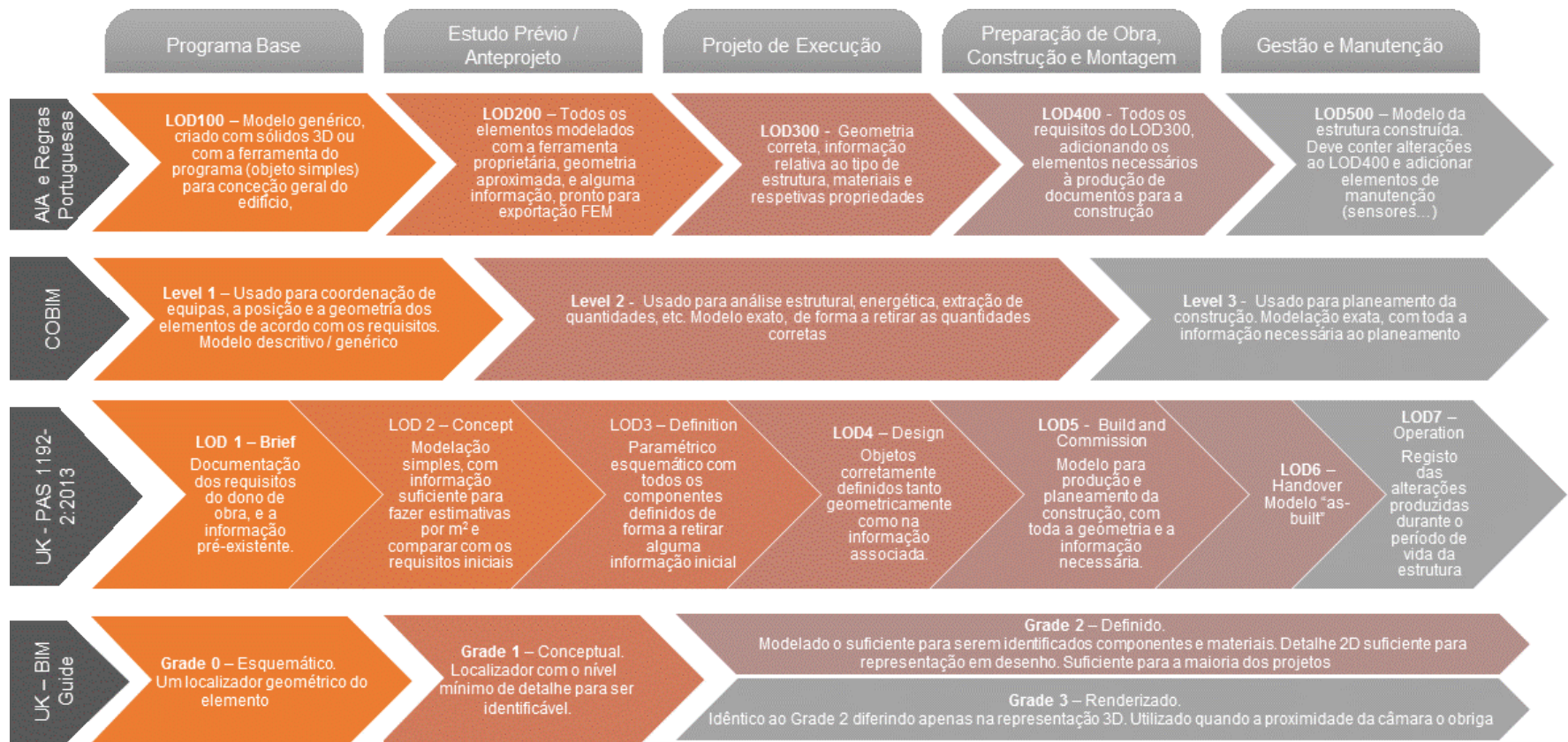


Figura 16 – Matriz dos LODs identificados na regulamentação BIM

As normativas analisadas apresentam ainda um conjunto vasto e diverso de **boas práticas de modelação** a adotar. Apesar de este aspeto depender fortemente do tipo de *software* utilizado e dos objetivos de modelação pretendidos, existem algumas regras comuns aos vários documentos. Assim, é apresentada, de seguida, uma síntese de algumas das regras mais frequentes e mais pertinentes à elaboração do presente trabalho:

- Cada ficheiro deve conter informação apenas referente a uma especialidade;
- Os modelos devem ser divididos por disciplinas e dentro das próprias disciplinas (para evitar manipular ficheiros demasiado pesados);
- Cada edifício deve ser entregue num modelo diferente;
- O modelo estrutural deve conter todos os elementos estruturais, todos os elementos de betão não estruturais, assim como todos os produtos relativos às estruturas cujas dimensões e posicionamento afete os restantes elementos;
- Todos os elementos devem ser modelados com a ferramenta específica do programa utilizado. Caso não seja possível, deve ser utilizado um método *workaround* que deve ficar devidamente documentado;
- Os elementos modelados devem estar divididos por piso e associados ao respetivo piso;
- A modelação deve ser consistente, isto é, realizada da mesma forma em todos os objetos. Se tal não acontecer deve ser devidamente documentado;
- A utilização de objetos paramétricos definidos pelo utilizador pode ser problemática, impossibilitando a extração de quantidades ou a transferência via IFC. Neste caso a qualidade do processo fica totalmente dependente do autor do objeto;
- Os elementos são automaticamente identificados por um *Global Unique Identifier* (GUID). Por este motivo é preferível alterar objetos, por oposição à sua substituição (de forma a conservar o seu GUID);
- Quando referenciados os modelos devem ser posicionados corretamente, relativamente à origem global do projeto (para o efeito, as coordenadas devem ser corretamente definidas em todos os modelos);
- Como requisito mínimo do processo de modelação deve exigir-se que os elementos sejam transferíveis via IFC, pois é garantida a correta definição geométrica do elemento e as suas propriedades em que, as vigas são identificadas como vigas, os pilares como pilares, etc... associadas aos respetivos materiais. Regra geral, se os elementos forem modelados com as ferramentas próprias para o efeito em *softwares* certificados IFC, esta condição é verificada;
- A informação transferida em IFC pode ser aligeirada conforme o objetivo da publicação. Por exemplo, as armaduras podem não ser transferidas, se não contribuírem para o trabalho a realizar a jusante;
- Na produção de desenhos técnicos devem ser mantidas as convenções atualmente utilizadas;
- As representações 2D exportadas do BIM devem ser organizadas numa folha que indique claramente: o nível de desenvolvimento da informação e os objetivos do seu uso, os detalhes relativamente à origem daquela informação, assim como a data de produção dos desenhos ou de verificação;

- A exportação de informação para um sistema CAD para ser processada, pode ser efetuada, mas deve ser evitada, uma vez que retira as vantagens de coordenação do BIM. Independentemente de se decidir utilizar esta abordagem, o modelo 3D é desenvolvido com o mesmo nível de detalhe que seria de outra forma. Quer isto dizer que, o sistema CAD deve ser utilizado exclusivamente para compor os desenhos obtidos automaticamente, sem adicionar informação que não exista no modelo BIM;
- Qualquer recomendação pode ser substituída por normas definidas pelo dono de obra.

Capítulo 4 - Aplicação prática: dimensionamento estrutural

Com o objetivo de avaliar a viabilidade da implementação dos processos BIM propostos no capítulo 3, é apresentado um caso de estudo prático. O projeto a elaborar refere-se ao edifício de apoio de uma barragem, cuja função principal é a de servir de área técnica. O edifício engloba as zonas de escritórios, onde se localizam os elementos de controlo dos órgãos da barragem, e de acesso aos órgãos hidroelétricos. A informação de base foi disponibilizada por uma empresa de consultores de engenharia, fornecida em formato CAD, através dos desenhos de definição geométrica do edifício.

O processo de trabalho BIM, proposto na Figura 8 do item 3.1, inicia-se com a conceção estrutural do edifício. Em ambiente BIM este exercício deve ter por base elementos relativos à topografia, à informação geotécnica da zona de implementação da estrutura, necessidades do dono-de-obra, etc. que devem ser incorporados na plataforma de modelação. Segue-se o pré-dimensionamento dos elementos estruturais e a respetiva definição de formas. Na aplicação prática que se apresenta, estas fases não são elaboradas rigorosamente uma vez que este trabalho já foi efetuado, apresentando-se a sua simulação, um processo de elevada complexidade. A omissão de algumas destas fases não inviabiliza, no entanto, a validação do fluxo apresentado, sendo que os desenhos referidos se encontram em formato eletrónico e podem ser considerados como *inputs* ao processo de dimensionamento estrutural. O tratamento dado a estas peças de informação será muito semelhante a qualquer abordagem colaborativa, em que a equipa do gabinete de estruturas se apoie em *inputs* exteriores, para iniciar o processo de dimensionamento.

Relembra-se que a presente dissertação foca, essencialmente, os métodos de trabalho internos de um gabinete, orientados para a validação do fluxo BIM de nível III. A prossecução deste objetivo, relega para segundo plano a utilização de elementos externos ao gabinete para o desenvolvimento dos processos. No entanto, como irá ser demonstrado, a metodologia abordada e as ferramentas utilizadas, são facilmente adaptadas para ambientes BIM mais colaborativos.

4.1 Geração do modelo paramétrico

O processo de modelação deve ser antecedido pela definição, dentro do *software* utilizado, dos requisitos identificados no capítulo anterior. No AECOsim Building Designer (ABD), qualquer ficheiro novo é criado sobre uma *seed*. A *seed* não é mais do que um ficheiro no formato DGN (nativo do Microstation e do ABD), no qual são armazenadas todas as definições necessárias ao seu correto funcionamento. Este ficheiro serve assim de *template* ao modelo, podendo ser aplicado a qualquer modelo criado em ABD, no decorrer do projeto. Desta forma, e de acordo com a Tabela 2 do item 3.3.2, é criada uma série de definições no ficheiro *seed* a utilizar, algumas das quais estão ilustradas na Figura 17.

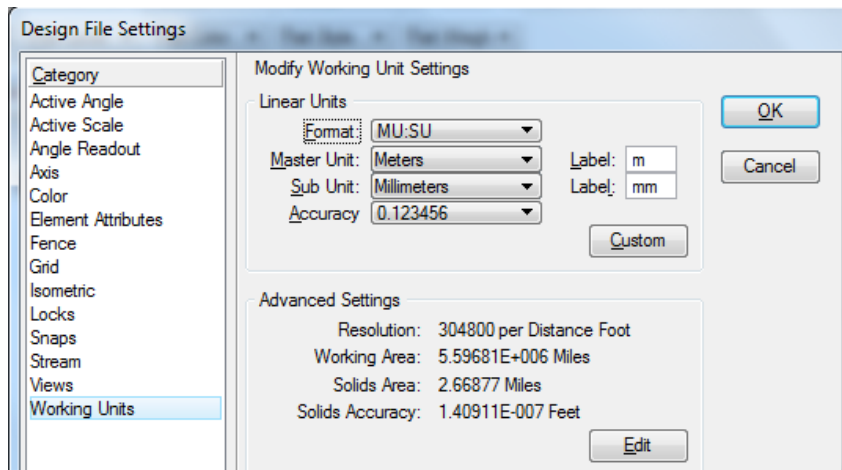


Figura 17 – Algumas definições da *Seed File* do ABD

Após a configuração da *seed* é necessário estabelecer uma metodologia de utilização da informação já existente, ou seja, os *inputs* no ambiente de modelação. Para o efeito, o ABD contém uma ferramenta, denominada *References*, que permite esta integração. A utilização da informação como *Reference* no ABD, significa que o programa abre o conjunto de dados indicado pelo utilizador, unicamente em modo de leitura (sem possibilidade de edição), posicionando-o no ambiente de modelação. Para o correto funcionamento desta metodologia, o conjunto de dados deve estar presente num formato que seja compreendido pelo programa. No caso em análise, os elementos utilizados são os desenhos de definição geométrica do edifício, no seu formato original DWG. Devido à popularidade deste formato, o ABD não apresenta problemas de compatibilidade na sua leitura, o que permite uma aplicação correta desta propriedade, como se apresenta na Figura 18.

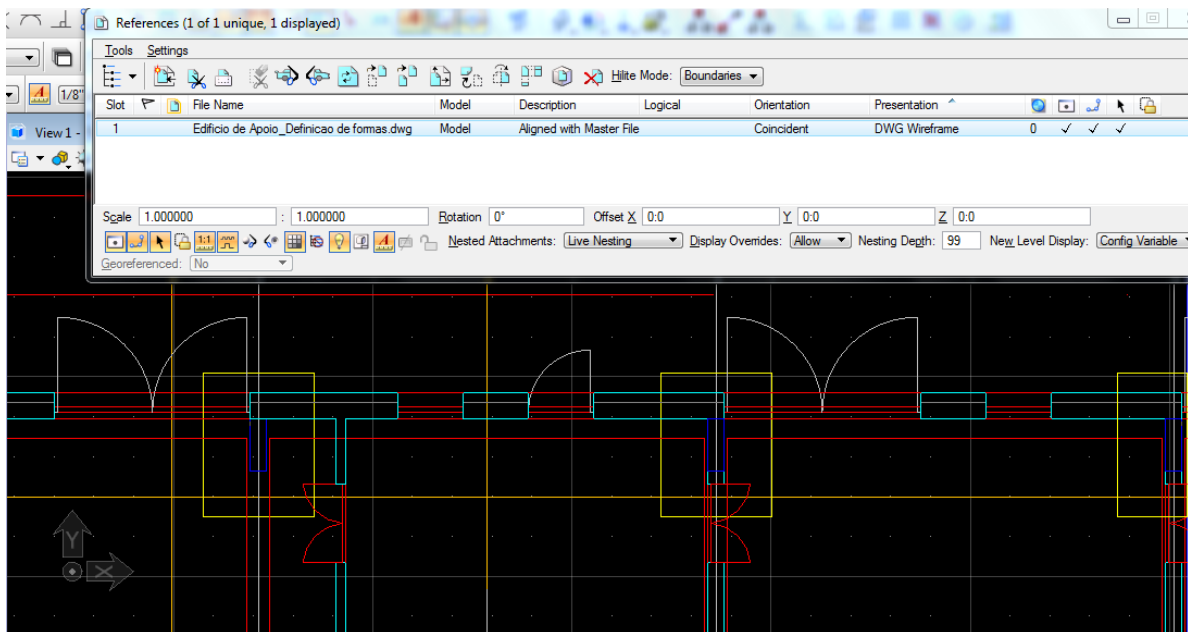


Figura 18 – Utilização de *inputs* CAD como *references* no ambiente de modelação

Através desta ferramenta é possível utilizar qualquer conjunto de dados (geométricos) como *inputs* ao processo de trabalho, desde que o seu formato seja corretamente entendido pelo programa. Como referido, numa situação BIM de nível IV, a informação base utilizada pode estar relacionada, por exemplo, com a topografia de implementação do edifício. Este tipo de *inputs* é facilmente integrado no fluxo de trabalho apresentado recorrendo à ferramenta *References*.

A partir das definições efetuadas e da documentação gráfica disponibilizada, foi criado o modelo BIM do edifício, que se apresenta na Figura 19.

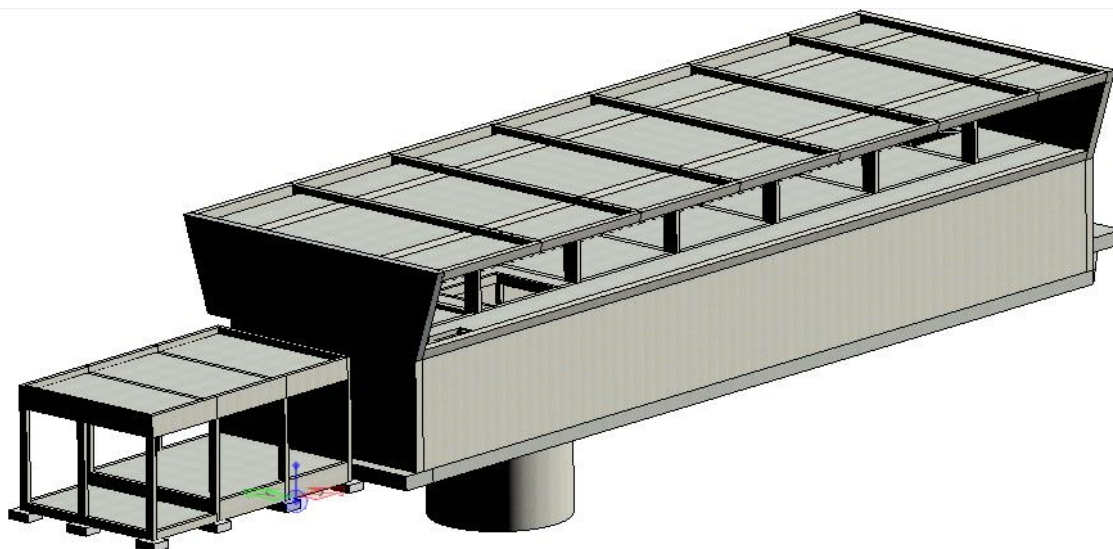


Figura 19 – Representação em perspetiva do modelo BIM

O modelo criado é constituído por dois edifícios independentes, identificados na Figura 20, designados, no contexto deste estudo, como o edifício A e o edifício B.

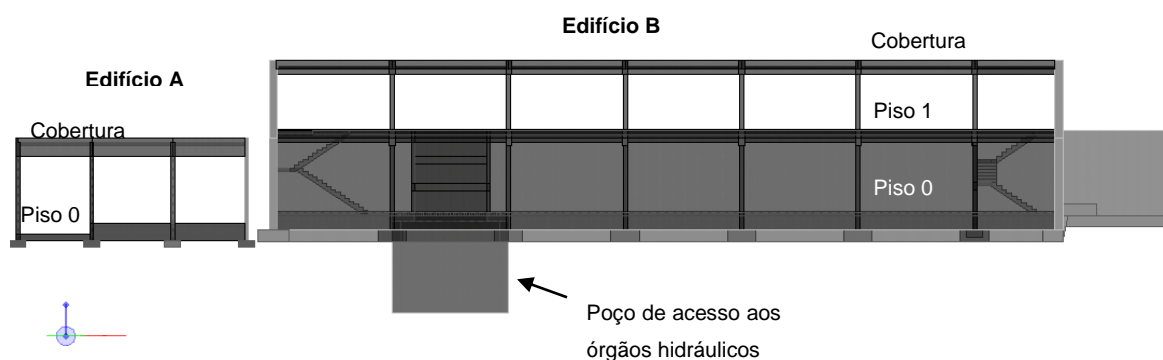


Figura 20 – Vista longitudinal do modelo BIM

Para uma localização mais rápida dos elementos, o modelo considera-se alinhado longitudinalmente segundo a direção Este-Oeste. As diversas representações incluídas nas Figuras 19, 20 e 21 permitem identificar uma geometria relativamente complexa, adequada ao estudo que se pretende realizar, relativamente à capacidade de troca e partilha de informação entre programas. O edifício A apresenta vigas distribuídas por dois alinhamentos longitudinais e três transversais, enquanto o edifício B apresenta 4 alinhamentos longitudinais por piso, sendo que os dois alinhamentos interiores coincidem em planta, e os exteriores estão desfasados de alguns centímetros entre os dois pisos.

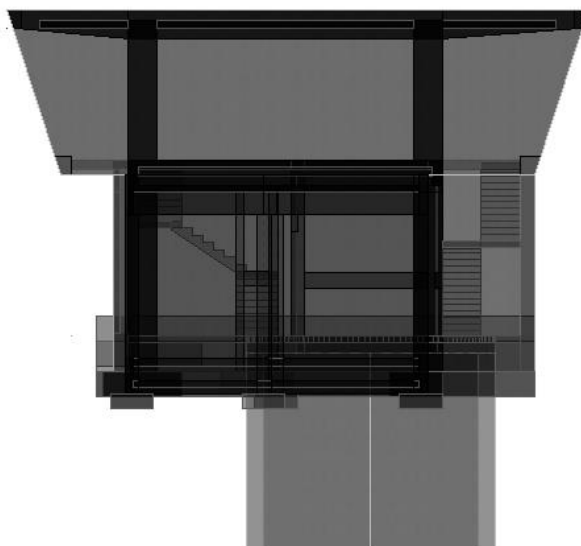


Figura 21 – Vista de topo do modelo BIM

Como exposto no capítulo 3, o processo de modelação deve ser antecedido da definição dos objetivos de modelação. O fluxo de trabalho que se pretende validar, não se prevê integrado em ambiente colaborativo BIM total (nível IV). Contudo, numa perspetiva de disseminação de metodologias BIM, faz sentido orientar o trabalho para a sua integração futura. Assim, apesar de não ser possível determinar os principais objetivos para a geração do modelo, exteriores ao projeto de estruturas, considera-se que o cumprimento das boas práticas de modelação determinadas no capítulo anterior, são condição suficiente para o efeito. Inserindo-se num ambiente BIM de nível III, é possível definir objetivos que o modelo deve ser capaz de cumprir a nível interno. Estes objetivos estão relacionados com os *outputs* tradicionais de um projeto de estruturas, como os que estão representados nos fluxogramas das Figuras 7 e 8 do item 3.1, e são:

- A replicação do modelo no programa FEM para cálculo estrutural;
- A extração das quantidades de materiais para planeamento e orçamentação;
- A extração dos desenhos técnicos (telas finais) para a execução do empreendimento.

Cada um destes objetivos requer um grau de exigência à modelação distinto. No aspeto referente à extração de quantidades é requerido um nível relativamente baixo de detalhe da modelação bastando que o modelo represente, de forma exata, a realidade, e seja construído de maneira a garantir o funcionamento das ferramentas de reporte automático de quantidades. Uma representação exata da realidade da estrutura corresponde a criar modelos dos elementos sem sobreposição, e de acordo com as regras de medição em vigor. A Portaria nº 104/2001 de 21 de Fevereiro (que revoga a portaria nº 428/95 de 10 de Maio) estabelece que:

“3.5 — Regras de medição:

3.5.1 — Os critérios a seguir na medição dos trabalhos serão os estabelecidos no projeto, neste caderno de encargos ou no contrato.

3.5.2 — Se os documentos referidos na cláusula anterior não fixarem os critérios de medição a adotar, observar-se-ão para o efeito, pela seguinte ordem de prioridade:

a) As normas oficiais de medição que porventura se encontrem em vigor;

- b) As normas definidas pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
c) Os critérios geralmente utilizados ou, na falta deles, os que forem acordados entre o dono da obra e o empreiteiro.”

Apesar de não existirem atualmente normas oficiais de medição, nem normas definidas pelo LNEC, tem vindo a ser prática corrente considerar como “normas LNEC” os critérios definidos na publicação [8]. Com base nestas normas observe-se o problema ilustrado na Figura 22.

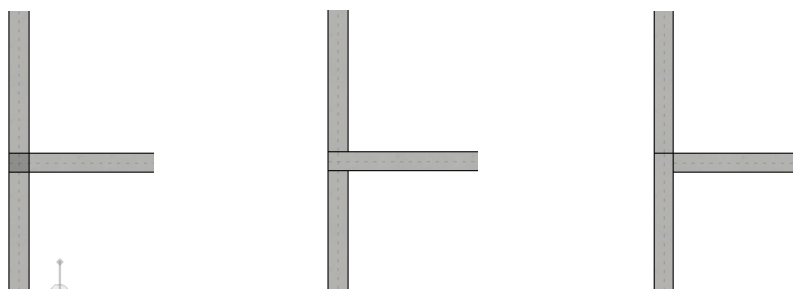


Figura 22 – Representação em alçado de diferentes abordagens à modelação para a extração de quantidades

As imagens da Figura 22 representam três situações diferentes de modelação do encontro entre uma viga e dois pilares. A estrutura à esquerda é modelada apenas com dois elementos. Esta situação não é aceitável para a extração de quantidades, devido à sobreposição de material no encontro entre os dois objetos. Os dois casos seguintes desempenham melhor esta função, uma vez que não existe qualquer sobreposição de elementos. No entanto, cada modelo apresenta um comprimento diferente para cada objeto. De acordo com a norma referida os elementos verticais devem ser contabilizados entre as faces superiores das vigas ou lajes, enquanto que as vigas devem ser contabilizadas entre as superfícies dos pilares. Assim sendo, de acordo com esta norma, apenas o modelo à direita permite extrair automaticamente as quantidades corretas. Este exemplo ilustra a importância de estabelecer objetivos para a criação de modelos. No entanto, ao serem impostas regras mais restritivas, é requerido um maior esforço de modelação. O sistema BIM utilizado neste trabalho apresenta ferramentas que permitem ultrapassar esta situação. Contudo, esta abordagem não é isenta de problemas, como irá ser demonstrado nas secções seguintes.

O objetivo de utilização do modelo BIM para efeitos de análise com recurso a programas de elementos finitos, incrementa o grau de dificuldade do processo de modelação. Existe uma diferença fundamental entre um modelo FEM (*Finite Element Model*) e um modelo 3D BIM: o modelo BIM contém a informação geométrica relativamente aos elementos tridimensionais com todas as dimensões corretamente definidas; o modelo FEM representa os componentes estruturais de um modo discretizado através de elementos lineares (*Frames*), as vigas e os pilares, e elementos planares (*Shell*), as lajes e as paredes. Apesar de visualmente não corresponderem à realidade física, como se pode observar na Figura 23, os elementos bidimensionais contêm toda a informação necessária ao cálculo estrutural (peso, área, momento estático, momento de inércia, etc...). Justifica-se assim, usualmente designar o modelo BIM como físico e o modelo FEM como analítico.

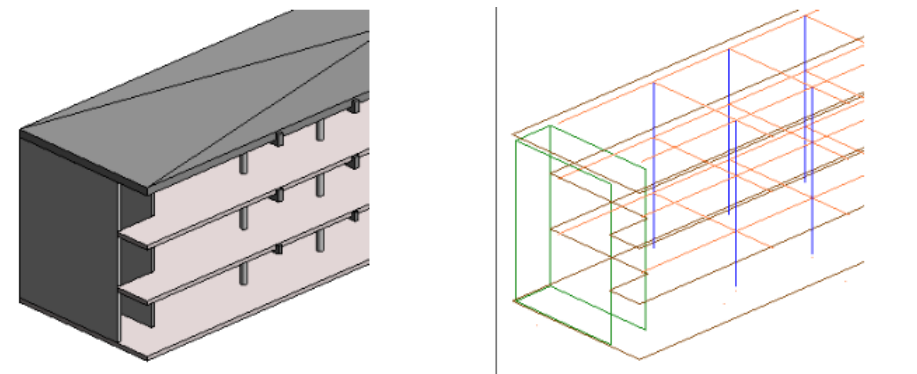


Figura 23 – Modelo físico e respetivo modelo analítico (adaptado de [27])

Um *software* de base BIM deve ter a capacidade de geração de um modelo analítico a partir do modelo físico de estruturas. Contudo, a representação discretizada da geometria da estrutura promove novos problemas de compatibilidade geométrica, como os representados na Figura 24. Para que o programa FEA (*Finite Element Analysis*) efetue as suas rotinas de análise, todos os elementos que têm continuidade estrutural devem estar ligados entre si. Como se observa, o elemento analítico que simula a viga (a laranja), não está ligado a nenhum dos elementos do tipo pilar (representados em corte a azul). Neste caso, a obtenção automática do modelo analítico, a partir do modelo físico, não garante a conexão entre elementos. Neste processo deve ser analisado qual o modo mais adequado de simplificar o elemento físico ou de relacionar os vários elementos. Estes aspetos são abordados no presente trabalho.



Figura 24 – Representação em planta de problemas de compatibilidade geométrica entre o modelo físico e modelo analítico (retirado de [27])

O objetivo relativamente à extração de desenhos, não coloca propriamente problemas ao nível da modelação, mas sim ao nível da capacidade dos *softwares* para realizar esta tarefa automaticamente, com resultados gráficos satisfatórios. A definição dos três objetivos apresentados, e a compreensão relativamente às regras de modelação que cada um impõe, estabelece o ponto de partida para a criação do modelo já apresentado na Figura 19.

Numa etapa inicial, todo o modelo foi criado com os elementos paramétricos pré-definidos na biblioteca do ABD, no entanto foram imediatamente encontradas limitações nesta abordagem. Um exemplo concreto verifica-se na definição das vigas localizadas nos bordos do piso de cobertura do edifício B, que apresentam a secção ilustrada na Figura 25. Esta secção é muito invulgar, pelo que é natural que, um *software* baseado em objetos paramétricos, não contemple uma situação atípica.

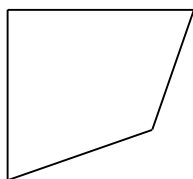


Figura 25 – Seção tipo das vigas localizadas nos bordos da cobertura do edifício B

Para os elementos estruturais lineares como vigas ou pilares, o ABD apresenta uma biblioteca denominada *Structural Worksheet*. Esta biblioteca está parcialmente representada no Anexo 2, que inclui uma tabela com diversas seções estruturais do ABD e a sua respetiva parametrização geométrica. Como se pode observar a lista é extensa, e permite dar resposta a uma vasta variedade de problemas estruturais. Contudo, o problema apresentado não é resolvido por nenhum dos casos apresentados, sendo por isso necessário recorrer a um método *workaround* de modelação (situação prevista nas normas analisadas, e documentada pelo ponto 5 das boas práticas de modelação expostas no capítulo anterior). Das hipóteses de modelação oferecidas pelo ABD, existem duas alternativas *workaround*: a primeira passa pela utilização de um elemento paramétrico de secção retangular de dimensões superiores às necessárias, seguida da aplicação de um corte longitudinal que permita obter a secção pretendida; a segunda hipótese corresponde à utilização de ferramentas de modelação, não paramétrica, de formas tridimensionais. Segundo o ponto 7 das boas práticas de modelação, do item 3.3.2, deve ser escolhido um método apenas, aplicado consistentemente ao longo de todo o processo de elaboração do modelo. Contudo, com o objetivo de aprofundar o estudo relativamente ao fluxo de trabalho BIM proposto, são utilizadas as duas hipóteses em simultâneo em diferentes vigas, verificando-se posteriormente quais as consequências de cada uma na elaboração do modelo FEM, na extração de quantidades e na produção de representações técnicas.

Esta metodologia é estendida aos vários problemas encontrados durante o processo de modelação, utilizando-se as várias ferramentas disponíveis, para produzir as geometrias necessárias. Por exemplo, a modelação do elemento paramétrico laje admite três processos distintos: *by boundary*, *by flood* e *by shape*. Estes três processos apresentam sempre mesmo resultado final, no que diz respeito à geometria 3D, diferindo apenas no processo de modelação. A utilização da opção *by boundary* exige ao utilizador, apenas a localização dos vértices da laje a modelar. Por sua vez, a opção *by flood*, exige a modelação prévia de segmentos 2D, que representem os contornos, em planta, da laje. A execução de aberturas nas paredes e nas lajes pode, igualmente, ser realizada de três formas distintas: através da colocação de objetos do tipo abertura (solução paramétrica); através da utilização da ferramenta de corte; ou pela edição direta do objeto. Estas são apenas algumas das alternativas que irão ser abordadas durante a elaboração do modelo paramétrico.

O modelo paramétrico criado no ABD contém dois tipos de informação relevantes para o presente estudo: a informação geométrica tridimensional e a informação analítica de cada um dos elementos estruturais modelados. A produção do modelo analítico pode ser efetuada em simultâneo com a construção do modelo geométrico, ou numa fase posterior quando a estrutura já está modelada. Para a produção em simultâneo é necessário que os elementos utilizados na modelação sejam

paramétricos e pertençam à classe de estruturas. Quando os elementos são colocados basta ativar a opção *place analytical member* e ajustar as opções paramétricas. O resultado obtido e as respetivas definições estão representadas na Figura 26.

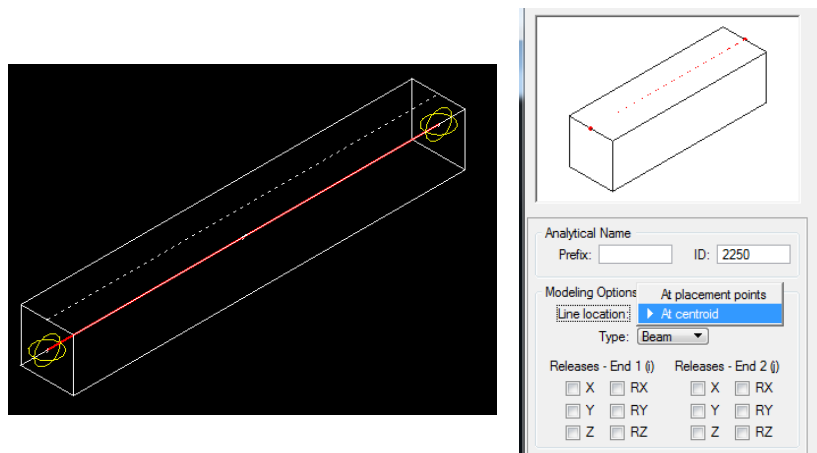


Figura 26 – Representação física e analítica de uma viga e respetivas definições analíticas

O objeto analítico pode ser posicionado no centro de gravidade da secção do elemento, ou de acordo com as definições utilizadas para posicionar o elemento geométrico. A Figura 26 apresenta uma viga cujo posicionamento foi definido por uma linha centrada na sua face superior, mas cuja representação analítica está centrada na secção do objeto. Os objetos que compõem o modelo são, por definição, paramétricos, podendo por isso ser constituídos por regras que controlam o seu relacionamento com os elementos envolventes. Uma destas regras é ativada com a função *Automatic End Trim*, propriedade que permite, por exemplo, modelar o encontro entre uma viga e um pilar sem sobreposição de material, mas garantindo que os seus modelos analíticos se encontram no mesmo ponto. Esta situação está exemplificada na Figura 27.

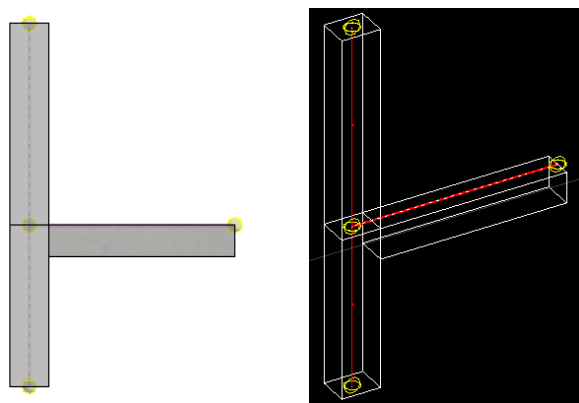


Figura 27 – Vistas em alçado e em perspectiva do encontro entre uma viga e dois pilares

O modelo físico da Figura 27 é concordante com todos os objetivos de modelação definidos, bastando que a distância entre o posicionamento do elemento analítico e o centro de gravidade da secção seja corretamente exportada para o programa FEM, de forma a obter a inercia corrigida do elemento. Este exemplo é, no entanto, muito simples: não são colocados problemas de concordância que envolvam elementos planares (lajes); todos os elementos apresentam a mesma secção; os elementos estão perfeitamente alinhados, etc. O modelo que irá ser estudado nesta secção apresenta

uma geometria bastante mais complexa, com problemas que não são facilmente resolvidos com as ferramentas apresentadas. A Figura 28 apresenta alguns exemplos destes problemas: as imagens superiores ilustram a articulação entre uma viga de secção variável e uma laje, sendo evidente a falta de concordância entre elementos analíticos; em baixo, é apresentado o encontro entre três vigas, dois pilares e três lajes, com secções distintas. Esta situação é proibitiva no que diz respeito à articulação do modelo analítico com o físico, tendo em vista o cumprimento dos três objetivos assinalados para o modelo.

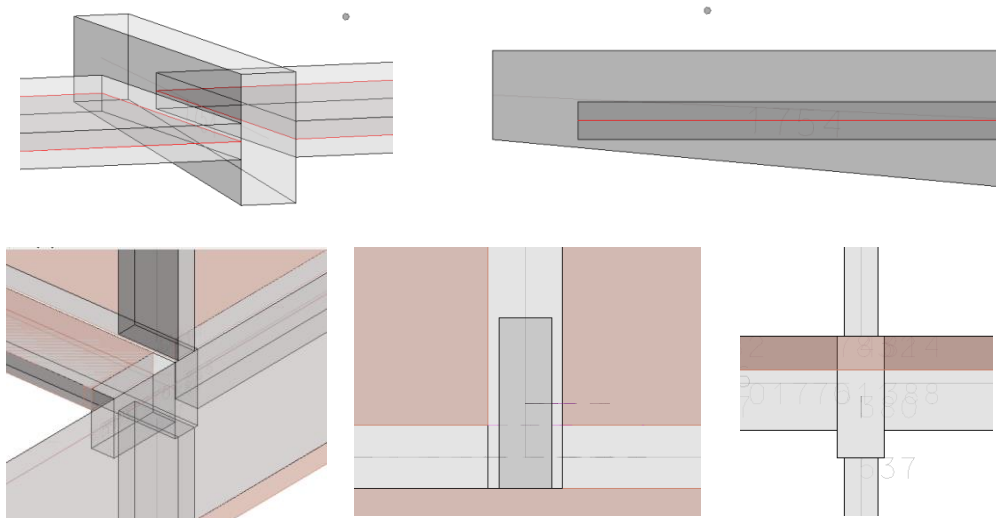


Figura 28 – Alguns dos problemas de compatibilização entre representações analíticas identificados no modelo

A resolução dos problemas apresentados não é impossível. Contudo, obriga à definição e à manipulação dos elementos de um modo demasiado trabalhoso, o que tornaria o processo de modelação moroso e ineficiente, resultando numa produtividade baixa. Por este motivo, o modelo analítico foi construído separadamente do modelo físico, relegando a atribuição das propriedades analíticas aos objetos para uma fase posterior à conclusão do processo de modelação. Este processo resultou na obtenção do modelo analítico apresentado na Figura 29.

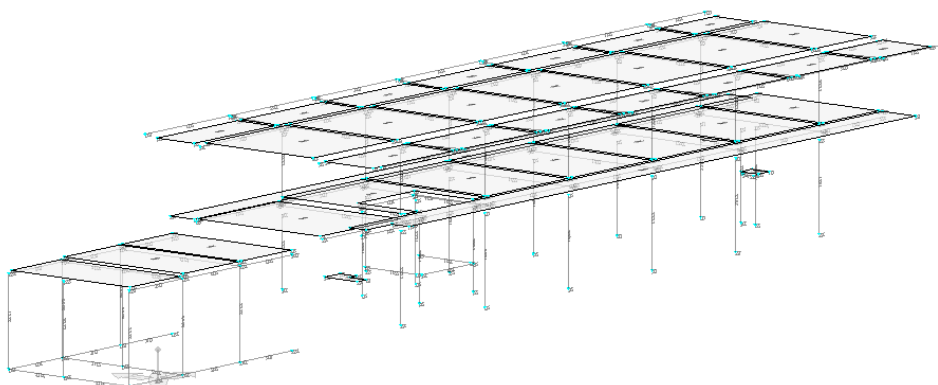


Figura 29 – Representação em perspetiva do modelo analítico produzido no ABD

A imagem permite verificar que os objetos dos tipos “fundação” e “parede” não são traduzidos analiticamente. As fundações não são problemáticas uma vez que, no programa de cálculo estrutural,

elas são habitualmente representadas por apoios. O seu dimensionamento pode ser efetuado em programas de cálculo, mas este tipo de aplicação não é abordada no presente trabalho. As paredes colocam um problema adicional pois a sua representação analítica por elementos planares é comum, e o processo que se pretende alcançar beneficiaria da sua presença no modelo analítico.

Apesar da capacidade do ABD em produzir o modelo analítico, a sua manipulação é mais complexa, não existindo nenhuma ferramenta, no ABD, satisfatória para o efeito. As ferramentas disponíveis são de aplicação individual, nó a nó ou elemento a elemento, e a sua utilização não acrescenta produtividade ao processo. Apesar das limitações identificadas, é importante conhecer o grau de interatividade entre o ABD e o programa de cálculo estrutural SAP2000. É possível que, o SAP2000, *software* de cálculo e manipulação exclusiva de elementos analíticos, apresente soluções mais eficazes para a resolução dos problemas apresentados.

4.2 Interação entre o modelo paramétrico e o programa de cálculo estrutural

Recorrendo ao fluxograma representado na Figura 8, no item 3.1, verifica-se que, numa metodologia de trabalho BIM, o processo de dimensionamento e cálculo estrutural deve admitir uma transferência de informação bidirecional entre o modelo paramétrico e o modelo FEM. A metodologia proposta permite:

- Realizar a modelação da estrutura num programa de base BIM, juntamente com todas as definições estruturais (ações sobre a estrutura, condições de apoio, etc.);
- Exportar o modelo paramétrico para um programa de cálculo estrutural, com a garantia de que toda esta informação foi transferida de uma forma consistente;
- Realizar o dimensionamento da estrutura de maneira iterativa, realizando as alterações necessárias ao modelo FEM, para que seja atingida uma solução aceitável;
- Importar o modelo FEM final para a plataforma BIM, de maneira a atualizar o modelo paramétrico de acordo com os resultados obtidos do dimensionamento efetuado;
- Comparar, automaticamente, o modelo paramétrico atualizado, com os requisitos que a estrutura deve cumprir (requisitos do dono de obra, exigências de ordem estética e funcional, a integração com outras especialidades, etc.)

Por recurso às ferramentas selecionadas para a realização do presente trabalho, o AECOsim Building Designer e o SAP2000, verifica-se que não é possível estabelecer uma ligação direta entre os dois *softwares*. Por este motivo, é necessário explorar o processo de partilha de informação de cada programa, utilizando formatos de dados de transferência. Não sendo conhecido à partida qual o formato mais indicado para estabelecer a ligação entre os dois *softwares*, foi elaborada a tabela apresentada no Anexo 3, onde estão listados os vários tipos de ficheiros, que tanto o ABD como o SAP2000 conseguem manipular. Através da análise deste anexo é possível cruzar a informação relativamente à capacidade de exportação e importação de cada programa, e pré-selecionar um conjunto de formatos de dados, candidatos a integrarem a metodologia proposta.

4.2.1 Transferência AECOSim Building Designer – SAP2000

Considerando a informação apresentada na tabela do Anexo 3, a presente secção apresenta um conjunto de testes de transferência de informação entre o ABD e o SAP2000. Para o efeito foram analisados os padrões de informação DWG, DXF, CIS/2, IGES, STAAD e IFC.

O SAP2000 tem a capacidade de importar ficheiros **DraWinG** (.dwg) e **Drawing Exchange Format** (.dxf) criados no sistema gráfico Autocad. Esta ferramenta é utilizada recorrentemente, em processos não BIM, na geração de modelos SAP. Para o seu uso é necessário cumprir algumas regras no traçado de desenhos DWG. O SAP2000 faz corresponder cada tipo de objeto (*frame*, *shell*, etc...) a uma *layer* CAD. A correspondência entre a *layer* e o tipo de objeto é definida pelo utilizador quando o ficheiro DXF é importado pelo SAP, através do menu apresentado na Figura 30.

Contudo, durante o processo de transferência, o SAP apenas reconhece determinados objetos. Por exemplo, uma *frame* apenas é reconhecida pelo SAP se, na representação gráfica, tiver sido definido um segmento reto (*line*), em vez de uma linha poligonal (*polyline*). A Tabela 3 apresenta a correspondência entre os elementos CAD e os objetos SAP, que permitem uma correta definição deste procedimento.

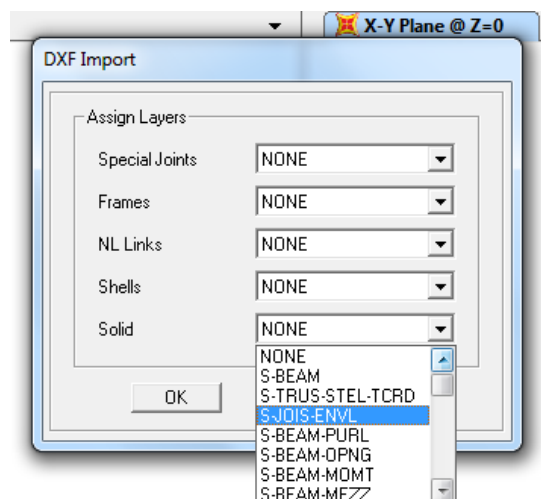


Figura 30 – Menu SAP2000 de associação das *layers* CAD ao objeto analítico

Tabela 3 – Correspondência entre o CAD e o SAP2000 para a construção do modelo analítico (adaptado de [53] e [54])

Entidade DXF	Entidade DWG	Objeto SAP2000
Point	Point	Joint
Line	Line	Frame
Point	Point	Link (one-point)
Line	Line	Link (two-point)
3D Face	3D Face	Shell
Polygon Mesh	N/A	Solid

Esta correspondência entre elementos indica que os formatos DWG e DXF não são adequados para efetuar de um modo eficaz, a ligação entre o ABD e o SAP2000. O processo analisado está preparado para transferir informação CAD típica, enquanto que os elementos utilizados neste trabalho são objetos tridimensionais paramétricos.

Como referido no capítulo 3, o padrão **CimStell Integration Standard v.2 (CIS/2)** é composto por 3 tipos de informação consoante a transferência que se pretende alcançar: *design*, *manufacturing* e *analysis*. No presente estudo interessa avaliar a capacidade de transferência do modelo analítico, algo que apenas é possível, através de um ficheiro CIS/2 *analysis*. Observando a tabela do Anexo 3 verifica-se que, apesar do SAP2000 estar capacitado para a importação deste tipo de ficheiros, o ABD apenas consegue exportar ficheiros de *design* e *manufacturing*. Assim, o formato CIS/2 não se apresenta como uma hipótese viável para integrar o processo colaborativo em estudo. Esta situação é reforçada após a realização de um teste em que o modelo ABD foi exportado, utilizando os dois formatos permitidos. A importação destes ficheiros para o SAP2000 resultou, em ambos os casos na seguinte mensagem de erro: *no node or frame was presented in CIS/2 file*. Segundo a *CSI Knowledge Base* [49] esta mensagem significa precisamente que os ficheiros em questão não contêm a informação analítica necessária ao processo de importação.

O formato de dados **Steel Detailing Neutral File (SDNF)** foi criado com o objetivo de partilhar a informação estrutural relativamente a elementos de aço. Uma vez que a estrutura estudada é composta exclusivamente por betão armado, este formato não se afigura adequado para integrar o processo a validar. No entanto, como ambos os programas apresentam a capacidade de manipulação deste tipo de dados, é realizado um pequeno teste sobre a sua viabilidade. Utilizando as ferramentas de exportação do ABD, representadas na Figura 31, foi criado um ficheiro no formato SDNF.

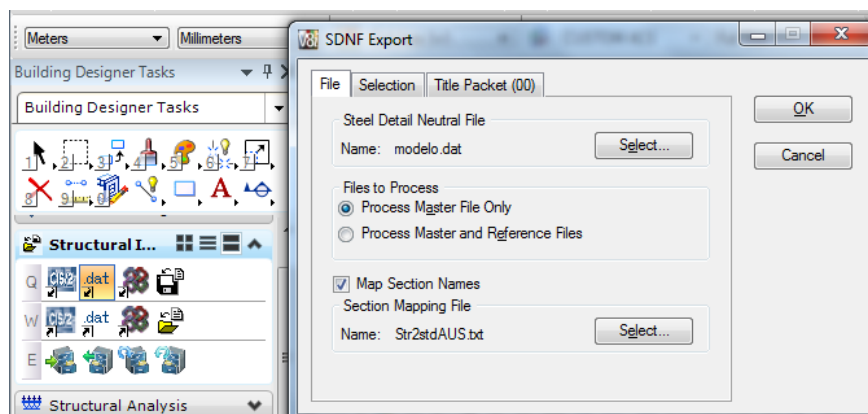


Figura 31 – Processo de exportação de um ficheiro SDNF a partir do ABD

As únicas definições relevantes neste processo são:

- A determinação de quais os elementos a incluir no ficheiro de transferência (*selection*) - no caso, foram incluídos todos os elementos;
- A atribuição de diretoria e de identificação ao ficheiro de saída
- A definição de um *mapping file*, um documento de texto, escrito em código de acordo com a norma ASCII, que faz a correspondência entre cada uma das secções do ficheiro original e as secções do programa de destino. No presente caso foram testadas duas situações, primeiro não foi atribuído qualquer *mapping file*, e de seguida foi escolhido um ficheiro pré-definido, presente na biblioteca do ABD.

Os processos decorreram sem erros tendo sido criados os respetivos ficheiros SDNF. De seguida, procedeu-se à importação dos dados para o SAP2000. Este processo é muito simples, não sendo necessário atribuir qualquer definição extra. Durante o processo de importação do ficheiro ao qual foi associado um *mapping file*, apareceu um aviso que explicava, para cada uma das secções: *Default section properties are used for section* “nome da secção”. Esta mensagem significa que, as secções utilizadas não constam do *mapping file* utilizado, situação previsível uma vez que elas foram definidas pelo utilizador, caso a caso (as secções constantes no Anexo 2 foram utilizadas com a parametrização necessária para a obtenção da geometria correta). Por este motivo são utilizados, forçosamente, valores padrão do SAP2000. O resultado final não foi satisfatório, na medida em que não foi processado qualquer tipo de informação pelo SAP2000, em qualquer um dos casos. Assim sendo, esta hipótese foi colocada de parte das possíveis soluções para o problema em estudo.

O formato **Initial Graphics Exchange Specification** (IGES) é de utilização frequente em processos CAD, mas apresenta um espectro de ação bastante limitado, pela sua incapacidade em transferir informação baseada em objetos paramétricos. À semelhança da relação entre entidades que se verifica para os formatos DXF e DWG, também o IGES apresenta uma estrutura rígida que relaciona cada elemento a um objeto do SAP2000. Consultando a documentação de ajuda da CSI [50] encontra-se a respetiva relação. Por sua vez, o processo de exportação do ABD resulta num ficheiro IGES composto por elementos que obedecem também, a uma relação entre entidades. Esta informação está documentada nos ficheiros de ajuda do ABD [2]. A Tabela 4 apresenta uma síntese da informação contida nestes dois documentos, assinalando-se os elementos comuns aos dois processos.

Tabela 4 – Relação entre os elementos produzidos no Microstation e exportados para IGES, e entre os elementos IGES e os objetos importados para o SAP2000 (adaptado de [2] e [50])

Relação ABD → IGES		Relação IGES → SAP2000	
Elemento MicroStation	Entidade IGES	Entidade IGES Geométrica	Objeto SAP2000
Line	Line - 110	Line - 110	Line
Shape	Copious Data - 106	Arc - 100	Line
Curve	Rational B-spline Curve - 126	Matrix - 124	Transformation matrix
Complex Chain	Composit Curve - 102	Spline - 126	Line
Complex Shape, if bounded	Trimmed Surface - 144	Surface Spline - 128	Area
Ellipse	Arc - 100 ou Coninc - 104	Entidade IGES FEM	Objeto SAP2000
Arc	Arc - 100 ou Coninc - 104	Node - 134	Point
Surface of Revolution	Surface of Revolution - 120	Beam - BEAM136	Line
Surface of Projection	Ruled Surface - 118	Linear Triangle - LTRI136	Area
Cone	Rational B-spline Surface - 128	Linear Quad - LQUAD136	Area
		Linear Solid Tetrahedron - LSOT136	Solid
		Linear Solid Wedge - LSOW136	Solid
		Linear Solid - LSO136	Solid

A análise da tabela permite concluir que existe uma série de elementos do MicroStation cuja tradução para IGES é compatível com o processo seguinte de importação para o SAP2000. Contudo, os elementos modelados no ABD são, na sua maioria, objetos paramétricos, aos quais não é feita referência em nenhum dos manuais mencionados. De acordo com a metodologia utilizada na presente secção, foi efetuado um teste de exportação do modelo paramétrico para o formato IGES, e respetiva importação para o SAP2000. A Figura 32 apresenta os menus e as definições mais relevantes durante o processo, juntamente com uma imagem do resultado obtido no SAP2000. Como se pode observar

as dimensões e a geometria dos elementos não correspondem à realidade modelada no ABD. Verifica-se, ainda, que os objetos transferidos são representados apenas pelas linhas que definem as suas fronteiras. Finalmente, constatou-se que não foi transferida informação relativamente a secções estruturais, materiais, ou ações. Este padrão foi então, igualmente, eliminado das possíveis soluções ao problema em questão.

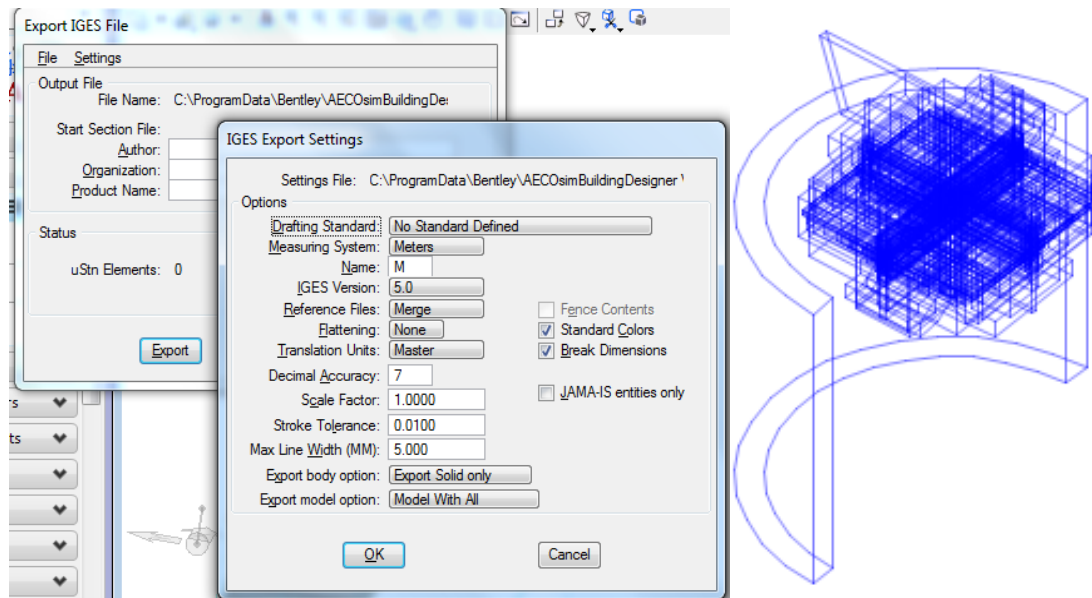


Figura 32 – Principais definições do processo de transferência recorrendo ao formato IGES, e resultado final no SAP2000

O formato de extensão .std é o padrão nativo do programa **Structural Analysis and Design Pro (STAAD)**, software FEM como o SAP2000, mas proprietário da Bentley. A tabela do Anexo 3 indica que o SAP2000 apresenta a possibilidade de importar ficheiros deste programa, com a capacidade para converter a informação .std, no seu próprio formato nativo. Uma vez que tanto o STAAD como o ABD são programas do mesmo fornecedor de software, a Bentley, é espectável que o processo de transmissão da informação seja mais robusto, comparativamente com as soluções testadas até ao momento.

O ABD apresenta duas opções de exportação para o STAAD: exportação do modelo físico ou do modelo analítico. Segundo o documento [2], em ambos os casos, o modelo exportado é o analítico. A diferença entre os métodos reside na exportação de apenas os elementos analíticos já modelados (opção *Analytical*), ou na atribuição automática de propriedades analíticas a todos os elementos (opção *Physical*). Este processo necessita, como acontece com outros formatos, de um *mapping file* que traduza as secções definidas no ABD para o formato .std. Uma vez que no caso de estudo se recorreu à parametrização de novas secções, foi utilizado um *mapping file* pré-definido, constante na biblioteca do ABD, ao qual foi adicionada esta nova informação. A Figura 33 apresenta o menu do ABD de exportação e as propriedades definidas para o processo.

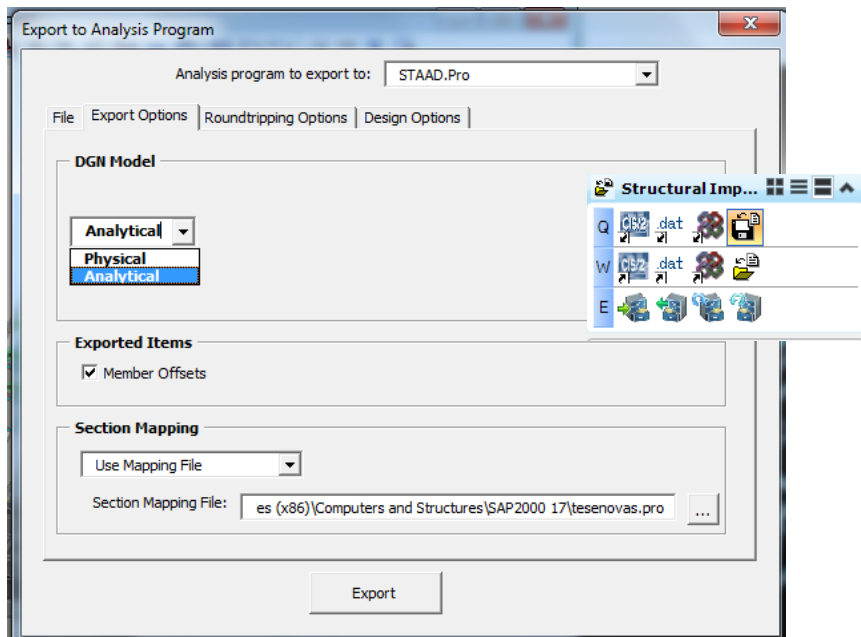


Figura 33 – Menu de exportação para o STAAD e definições do processo

O processo de importação para o SAP2000 implica a definição de um *property file* (.pro). Estes ficheiros contêm informação relevante para o cálculo estrutural, que não é possível, ou não é facilmente obtida, a partir das dimensões das secções. Este tipo de propriedades são regra geral mais relevantes para estruturas de aço, e a sua determinação não é pertinente para o caso de estudo [51]. O processo de importação fica assim concluído, obtendo-se modelo representado na Figura 34.

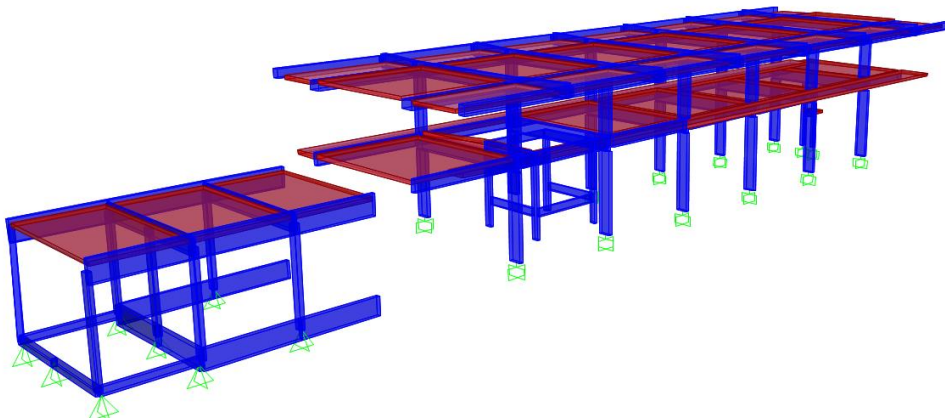


Figura 34 – Representação em perspetiva do modelo analítico obtido no SAP2000 através do formato STD

A solução apresentada é bastante superior a qualquer outro processo anteriormente testado, identificando-se, porém, ainda alguns problemas. Ao nível geométrico observa-se que: os objetos modelados com métodos *workaround* não foram traduzidos para o SAP2000; as lajes com aberturas ou não foram transferidas, ou apresentam uma geometria deficiente; os elementos de secção variável foram simplificados para elementos de secção constante; etc. Apesar dos problemas descritos, existem inúmeras situações de sucesso no processo descrito:

- Os elementos *frame* paramétricos foram transferidos sem problemas, incluindo as secções e as suas características (com exceção para os nomes das secções que foram simplificados);
- A diferença entre o posicionamento dos elementos *frame* e o seu centro de gravidade também foi corretamente importado;
- Os elementos *shell* de geometria simples foram transferidos corretamente;
- Os carregamentos definidos, *load patterns*, *load cases*, e *load combinations* foram transferidos corretamente;
- As condições de apoio foram também traduzidas de forma apropriada (apesar de as condições de apoio utilizadas não terem sido as mais adequadas ao problema, a sua aplicação serve apenas para compreender as capacidades de transferência deste tipo de informação entre os dois programas).

Devido ao elevado número de casos particulares a serem testados dentro do modelo, foi elaborada uma tabela resumo apresentada no Anexo 4, com uma listagem dos vários métodos de modelação utilizados, e o respetivo comportamento e qualidade, no processo de transferência de informação.

Uma vez que o formato .std continua a apresentar algumas limitações, é importante testar a possibilidade de utilizar o padrão **Industry Foundation Classes** (IFC) para alcançar os objetivos pretendidos. Apesar do ABD não ter capacidade de exportação IFC no MVD mais adequado (*Structural Analysis View*), ambos os programas suportam o *Architectural Coordination View*. De acordo com [52] o SAP2000 consegue importar 6 tipos de elementos IFC: *ifcBeam*, *ifcColumn*, *ifcSlab*, *ifcStructuralCurveMember*, *ifcStructuralSurfaceMember*, e *ifcStructuralPointConnection*. Isto significa que o sucesso deste processo está dependente da capacidade do ABD em mapear os objetos do modelo para cada um destes 6 objetos IFC. Esta questão é ultrapassada através da correta definição das propriedades do menu de exportação IFC do ABD. Observando as opções de mapeamento representadas na Figura 35, verifica-se que os objetos utilizados na modelação apresentam, na sua maioria, a correspondência IFC necessária.

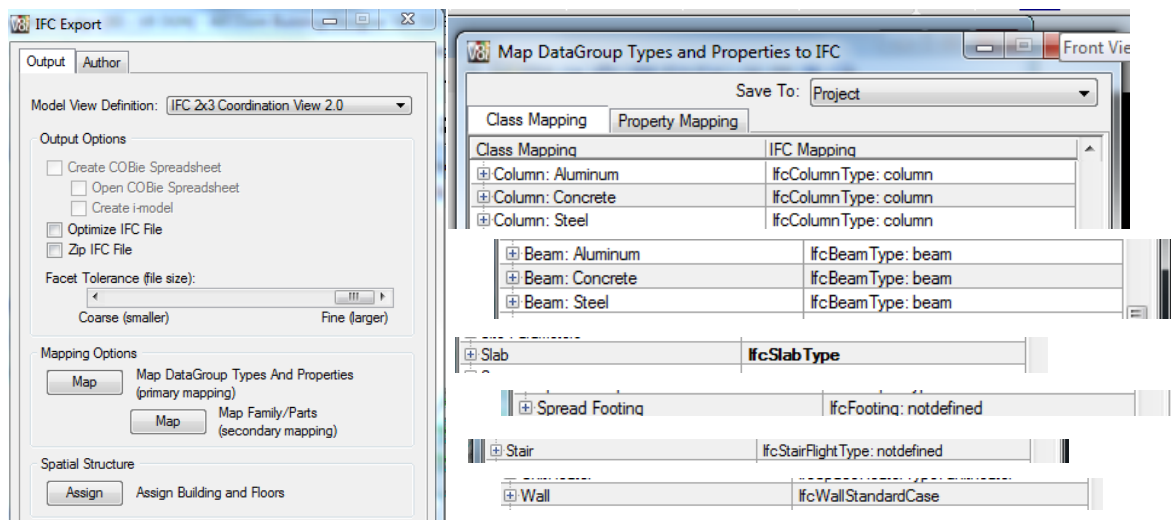


Figura 35 – Menu de exportação IFC do ABD e relação entre os objetos paramétricos e as entidades IFC

Os únicos elementos que podem justificar uma correção no mapeamento a efetuar são as sapatas, as escadas e as paredes. No entanto, de acordo com a descrição das entidades IFC [45], a *ifcWallStandardCase* é um subgrupo da entidade *ifcWall* que numa visualização analítica é traduzida como *ifcStructuralSurfaceMember*. Assim, não é necessário alterar esta definição. Contudo, para uma transferência correta dos elementos *Spread Footing* é necessário alterar o objeto IFC para *ifcSlab*. Os elementos *Stair*, pelas suas características muito particulares, não apresentam qualquer alternativa que permita a transferência da sua geometria para IFC.

O processo de importação do SAP2000 é direto, sem serem necessárias definições adicionais. O modelo FEM obtido através do processo descrito pode ser observado na Figura 36.

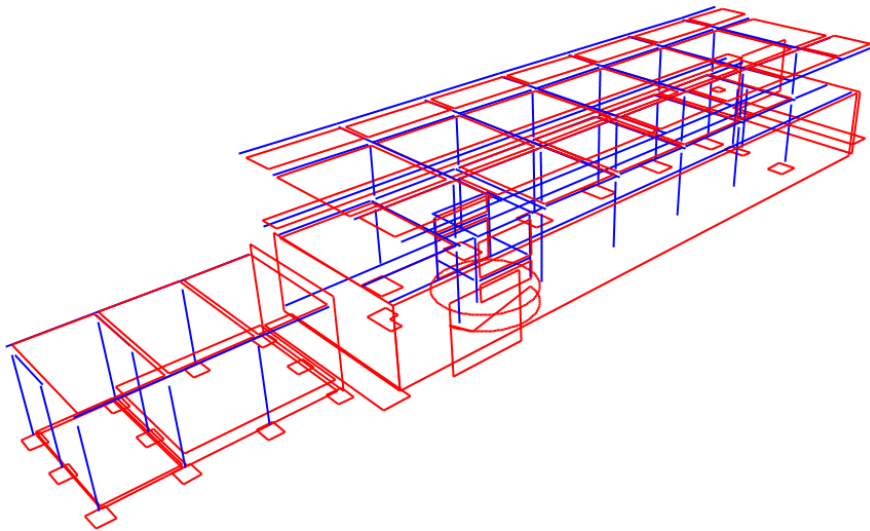


Figura 36 – Representação em perspectiva do modelo analítico obtido no SAP2000, através do formato STD

À semelhança do padrão .std, o processo descrito apresenta alguns objetos transferidos com sucesso, e outras situações menos consistentes. Verifica-se em primeiro lugar que para elementos planares o processo é mais eficaz, com um número mais elevado de elementos transferidos, dos quais se destacam as paredes. No entanto verifica-se também que não é transmitida nenhuma informação relativamente a condições de fronteira ou carregamentos. A característica mais importante deste processo está relacionada com a informação traduzida relativamente às secções dos elementos *frame*: o SAP2000 reconhece uma secção por cada elemento linear, independentemente de esta se repetir em outros elementos presentes no modelo. Assim, na biblioteca de secções *frame* do SAP2000, em vez de ter sido criada uma definição por cada secção, existe uma definição por cada elemento. Esta situação está ilustrada na Figura 37, onde é possível verificar o elevado número de propriedades *Frame* importadas durante o processo. Esta característica estará eventualmente na origem nos problemas de instabilidade que se revelaram frequentes durante a manipulação do modelo SAP.

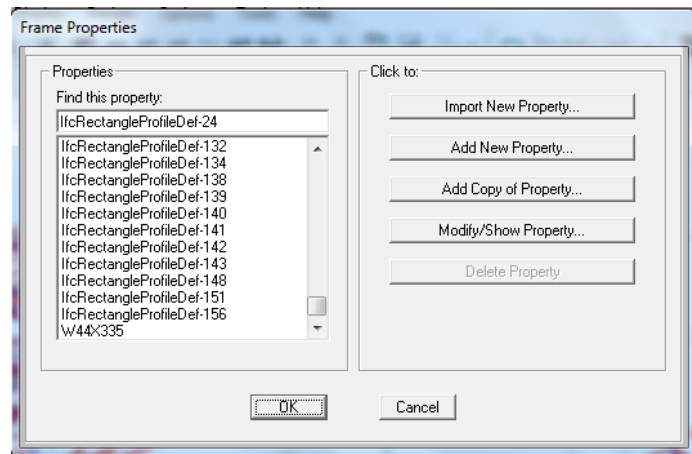


Figura 37 – Propriedades dos elementos do tipo *Frame* que resultam do processo de importação do formato IFC para o SAP2000

Uma vez que a solução obtida via IFC se aproxima, em termos qualitativos, da solução STAAD, foi realizada uma análise mais detalhada sobre cada elemento, sintetizada na tabela do Anexo 4. Desta forma é possível realizar uma análise comparativa dos resultados obtidos com os dois padrões mencionados. Na tabela do Anexo 4, cada linha corresponde a um objeto modelado no ABD, contendo toda a informação necessária à identificação do processo de modelação utilizado. À direita encontra-se um método de classificação simples que permite realizar a análise comparativa entre os dois formatos para cada elemento. O sistema de classificação proposto é varia entre o 0, que significa que o elemento em questão não é transferido durante o processo, e o 3, que significa que o resultado final obtido corresponde a uma situação ótima, sem ser necessário efetuar qualquer ajustamento no SAP2000. As classificações intermédias servem apenas para diferenciar níveis de trabalho de edição no SAP2000 diferentes, sendo que uma classificação 1 significa que é necessário um trabalho de processamento manual muito elevado, e uma classificação 2 significa que esse trabalho é pouco relevante e o processo de transferência apresenta, em princípio, uma produtividade elevada. Cada elemento é acompanhado por um comentário descritivo que pretende justificar claramente o motivo de atribuição da respetiva classificação.

Os resultados obtidos permitem concluir que, para a tradução de elementos lineares como vigas e pilares, a utilização do formato .std apresenta resultados bastante satisfatórios, havendo uma correspondência elevada entre a representação analítica do ABD e do SAP2000. Por outro lado a tradução de elementos planares, paredes e lajes, apresenta grandes limitações, funcionando corretamente apenas para elementos de geometria retangular simples, sem aberturas. A utilização do formato IFC apresenta resultados opostos, sendo que as definições importadas relativamente aos elementos *frame* são pouco satisfatórias, mas os elementos shell como as lajes e as paredes apresentam uma qualidade muito superior. Relativamente a estes elementos é importante destacar a capacidade do padrão IFC em transferir com sucesso elementos planares com formatos irregulares, desde que estes sejam construídos com a ferramenta *Shape*. Estes resultados permitem concluir que, um processo de exportação combinado entre a utilização do padrão STAAD para a transferência dos elementos Frame, e do padrão IFC para a exportação de elementos Shell, é o que permite alcançar um grau de automatização mais elevado e com resultados mais satisfatórios.

Contudo, as ligações indiretas estudadas, têm o seu espectro de atuação limitado à geração do modelo analítico, sem a possibilidade de atualizar ou substituir elementos de um modelo previamente existente, condição essencial para alcançar a metodologia iterativa de dimensionamento, proposta na Figura 8, do item 3.1.. Esta lacuna evidencia que a metodologia proposta, para esta etapa do fluxograma, deve ser revista, acomodando as capacidades e limitações demonstradas anteriormente. Espera-se com esta abordagem, alcançar uma metodologia simplificada para a obtenção do modelo FEM que, apesar de não contribuir com todas as potencialidades do fluxo idealizado, se estabeleça como um ponto de partida para desenvolvimentos futuros. Assim, utilizando as capacidades do SAP2000, é proposta, de seguida, uma metodologia que permite resolver de uma forma simples e rápida, os problemas que ainda se verificam, nomeadamente da conectividade entre os elementos.

4.2.2 Processamento do modelo analítico

Da exposição realizada é já possível concluir que, o objetivo inicial de integração entre o ABD e o SAP2000 não está a ser alcançado de um modo eficiente. Contudo, a possibilidade de exportar o modelo analítico a partir do modelo paramétrico pode ser interessante ao nível de aumentos de produtividade e de coordenação entre modelo físico real e o modelo simplificado de análise estrutural. Assim, considerou-se a utilização do modelo obtido através do processo de transferência relativo ao padrão STAAD, mas admitindo-se a eliminação dos elementos irrelevantes para o processo. Este modelo está apresentado na Figura 38.

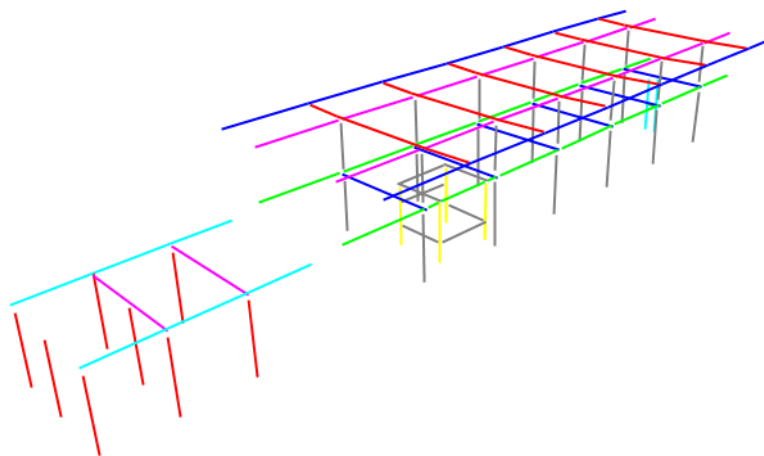


Figura 38 – Representação em perspectiva do modelo simplificado em SAP2000

O SAP2000 apresenta uma ferramenta denominada *merge joints* que permite juntar todos os nós que distam um valor limite entre si (definido pelo utilizador) num só. A aplicação desta ferramenta produz resultados pouco satisfatórios, apresentados na Figura 39, uma vez que o processo não verifica a ortogonalidade que os elementos devem apresentar entre si.

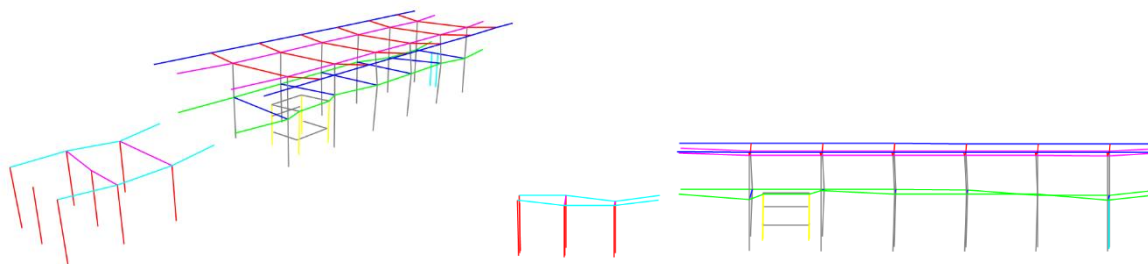


Figura 39 – Representação em perspectiva e vista longitudinal do modelo SAP2000 após o processamento dos pontos com a ferramenta *merge joints*

A situação que se pretende resolver pode ser reduzida a um problema matemático. É necessário agrupar pontos, de coordenadas conhecidas, que apresentam uma distância entre si limite, representativa da conectividade que deveria existir. De seguida, é atribuído a cada grupo a coordenada (x,y,z) onde os pontos devem convergir. Este tipo de problemas pode ser resolvido através de um método matemático denominado “Análise de *Clusters*”. “A análise de *cluster* é uma técnica exploratória de análise multivariada de dados que permite classificar um conjunto de categorias em grupos homogêneos, observando apenas as similaridades ou dissimilaridades entre elas” [33]. Ou seja, a Análise de *Clusters* permite, conhecendo as coordenadas (x,y,z) de cada um dos pontos da estrutura, agrupá-los de forma lógica (neste caso conforme a proximidade entre si), e determinar um ponto apenas, simbólico da localização real de onde a ligação entre os elementos da estrutura se verifica.

Um modo simples e eficaz de realizar esta operação baseia-se no recurso a um programa de tratamento de dados como o Excel. Para o efeito é necessário obter todos os pontos e as suas coordenadas do programa SAP2000 em formato tabular, realizar a análise *cluster* de forma automatizada, editar os pontos de acordo com os resultados obtidos, e de seguida, devolver a informação trabalhada ao SAP2000. A ferramenta *Interactive Database Editing* permite realizar esta operação numa folha de cálculo do Excel, resolvendo assim a questão da interoperabilidade entre os programas. A tabela necessária para o efeito é apresentada na Figura 40

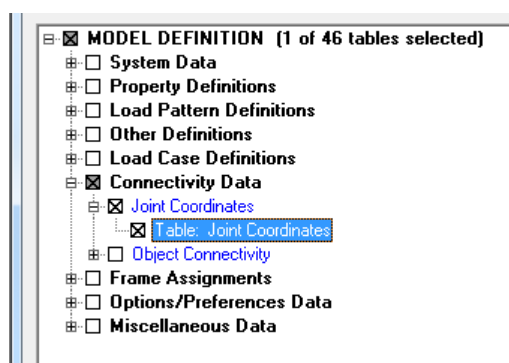


Figura 40 – Extração da tabela para aplicação da ferramenta *interactive database editing*

A automatização da análise *cluster* pode ser resolvida pela criação de um algoritmo em *Visual Basic for Applications* (VBA) que atue sobre a informação Excel. Uma vez que esta questão apresenta uma elevada complexidade, requerendo conhecimentos matemáticos e de programação que não se inserem no âmbito da presente dissertação, decidiu-se utilizar o código desenvolvido por Sheldon Neilson (2011), disponível em [63]. Este código realiza uma análise *cluster* não hierárquica do tipo *K*-

means para variáveis numéricas. Partindo de um número (k) de *clusters* definidos *à priori*, o algoritmo começa por atribuir as coordenadas dos primeiros k pontos presentes nos dados, a cada um dos centróides. De seguida, cada ponto é associado ao *cluster* de centróide mais próximo, definindo-se os agrupamentos da iteração seguinte. O processo repete-se com o cálculo dos novos centróides e a atribuição dos pontos ao *cluster* mais próximo. O processo termina quando os conjuntos de pontos que fazem parte de cada agrupamento não se alteram em duas iterações sucessivas. Este processo está representado na Figura 41 para um conjunto de pontos 2D, cuja estabilidade será alcançada da 2ª para a 3ª iteração.

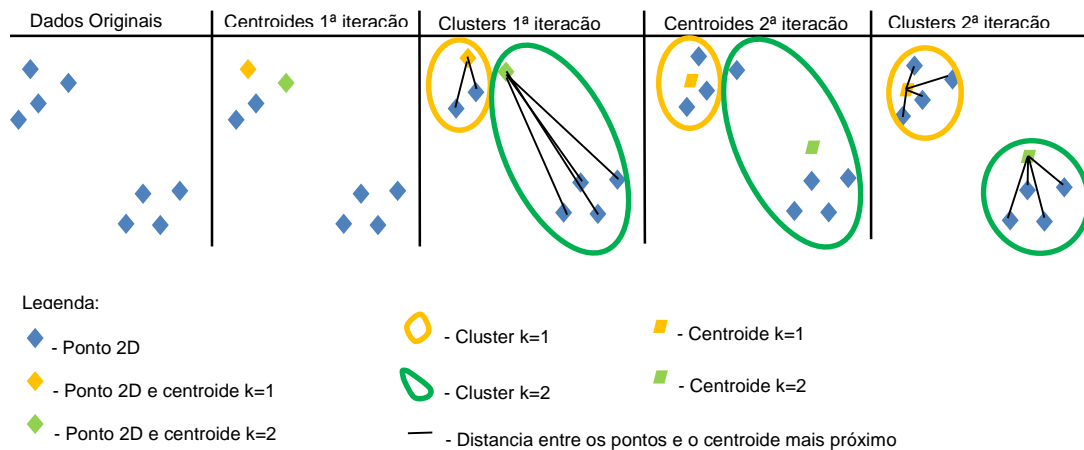


Figura 41 – Esquema representativo da aplicação do algoritmo de análise cluster utilizado

Este algoritmo está preparado para qualquer número de pontos, que contenham até 3 conjuntos de informação numérica, adequando-se por isso ao problema tridimensional que está a ser analisado. No entanto, uma primeira aplicação do algoritmo, representada no gráfico da Figura 42, apresentou algumas limitações, relacionadas com a própria formulação do algoritmo:

- A contabilização manual do número de *clusters*, para a estrutura em questão, de dimensões relativamente reduzidas, resulta em 136 *clusters*. Esta abordagem não é adequada devido ao tempo que tem de ser alocado à contabilização dos *clusters*;
- A contabilização manual do número de *clusters* é ainda propícia à introdução de erros humanos que vão influenciar o resultado final;
- O agrupamento dos *clusters* não é, por vezes, o mais adequado. Observando o gráfico da Figura 42, verifica-se que, enquanto na zona do edifício A o número de centróides obtidos é claramente insuficiente, no edifício B são contabilizados grupos em excesso, dando-se a sobreposição de centróides diferentes. Contribui, para este comportamento, a disparidade, em diferentes zonas do edifício, da densidade de pontos que os *clusters* devem apresentar;
- Mantém-se o problema da falta de ortogonalidade dos pontos finais, que não é tida em consideração no algoritmo utilizado.

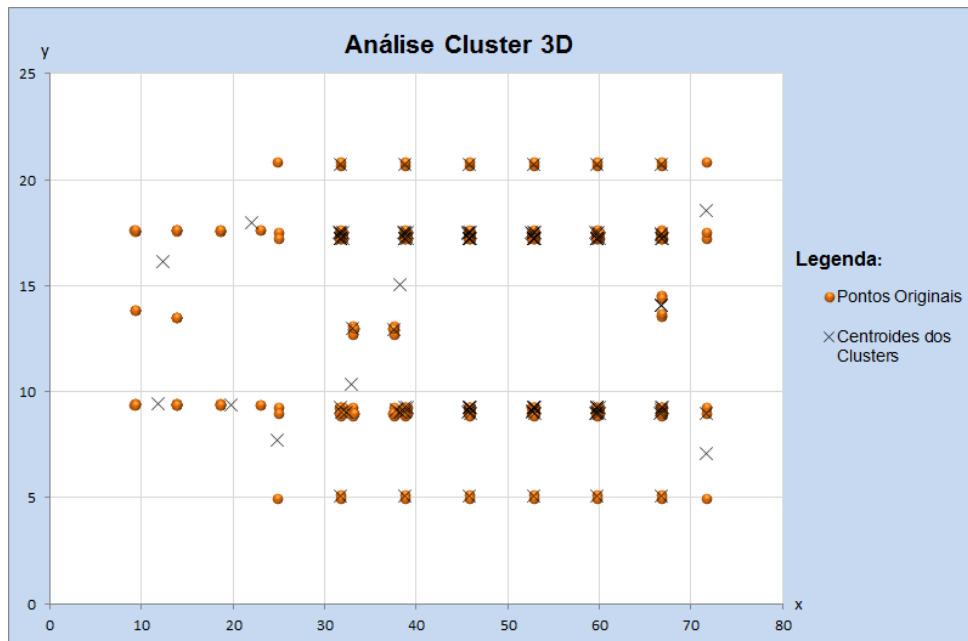


Figura 42 – Gráfico da representação plana da aplicação do algoritmo

Estes problemas podem ser ultrapassados através de uma aplicação alternativa do algoritmo e que se traduz na decomposição do problema em 3 fases distintas: análise *cluster* em Z, em X e em Y. Com esta abordagem, os centróides deixam de ter expressão no espaço tridimensional, passando a representar alinhamentos de coordenadas X, Y ou Z, cujo cruzamento determina a localização exata dos pontos de conectividade. Com esta metodologia espera-se conseguir melhorar a localização dos centróides no espaço, reduzir o número de *clusters* a determinar manualmente e garantir a ortogonalidade da malha final obtida.

Como foi já demonstrado a existência de centróides com densidades muito dispares é algo que coloca problemas à aplicação do algoritmo. Por esse motivo decidiu-se realizar a análise dos alinhamentos Z, definindo 5 *clusters*: cota de implementação da estrutura, cobertura do edifício A, piso 1 e cobertura do edifício B e um *cluster* adicional para filtrar os pontos entre o piso 0 e o piso 1 de densidade reduzida. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em Z

Cluster	Centroide (m)	Cota Prevista (m)	Descrição	Erro Absoluto (m)
1	641,58	641,40	Cota implementação	0,176
2	644,19	-	Intermédios	-
5	646,45	646,60	Cobertura Edifício A	0,148
3	647,25	647,15	1ºPiso	0,097
4	651,29	651,25	Cobertura	0,036

Como se pode observar, os resultados obtidos são muito satisfatórios, sendo que os erros mais relevantes se verificam na cota de implementação (18cm) e na cobertura do edifício A (15cm).

Estes resultados podem ser explicados pela diferença de cotas existente entre a implementação dos dois edifícios e pela proximidade entre a cota da cobertura do edifício A e do 1º piso do edifício B.

Este processo é repetido para os alinhamentos X e Y, sendo apresentados os resultados nas tabelas 6 e 7. É importante referir que, a elevada diferença entre as densidades de pontos, dos *clusters* nos alinhamentos em X, foi necessário contabilizar um número superior de *clusters*, que foram, de seguida, agrupados manualmente. O gráfico da Figura 43 permite observar os alinhamentos X e Y obtidos, e a distribuição espacial (em planta) dos pontos devidamente retificados.

Tabela 6 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em X

Cluster	Centroide (m)	Média dos Centroides (m)	Coordenada X prevista (m)	Descrição	Erro Absoluto (m)
28	9,26	9,26	9,23	Edifício A	0,04
29	13,73	13,73	13,73	Edifício A	0,00
30	18,58	18,58	18,58	Edifício A	0,00
27	22,91	22,91	23,03	Edifício A	0,12
16	24,87	24,87	24,78	Edifício B - alinhamento principal	0,09
17	31,78	31,78	31,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
1	31,78				
18	31,78				
22	33,06	33,06	33,10	Edifício B - Escadas	0,04
21	33,06				
24	33,06				
25	37,56	37,56	37,56	Edifício B - Escadas	0,00
23	37,56				
26	37,56				
19	38,78				
2	38,78	38,78	38,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
6	38,78				
7	45,78				
3	45,78	45,78	45,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
8	45,78				
9	52,78	52,78	52,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
4	52,78				
10	52,78				
11	59,78	59,78	59,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
5	59,78				
12	59,78				
13	66,78	66,78	66,79	Edifício B - alinhamento principal	0,01
20	66,78				
14	66,78				
15	71,61	71,61	71,69	Edifício B - alinhamento principal	0,09

Tabela 7 – Resultados da análise cluster: alinhamentos em Y

Cluster	Centroid (m)	Coordenada Y Prevista (m)	Descrição	Erro Absoluto (m)
1	5,03	4,95	Edifício B - alinhamento exterior sul	0,083
5	9,17	9,15	Edifício A - alinhamento principal // Edifício B alinhamento interior sul	0,018
4	13,40	-	Pontos intermédios	-
3	17,41	17,40	Edifício A - alinhamento principal // Edifício B alinhamento interior norte	0,011
2	20,76	20,85	Edifício B - alinhamento exterior norte	0,088

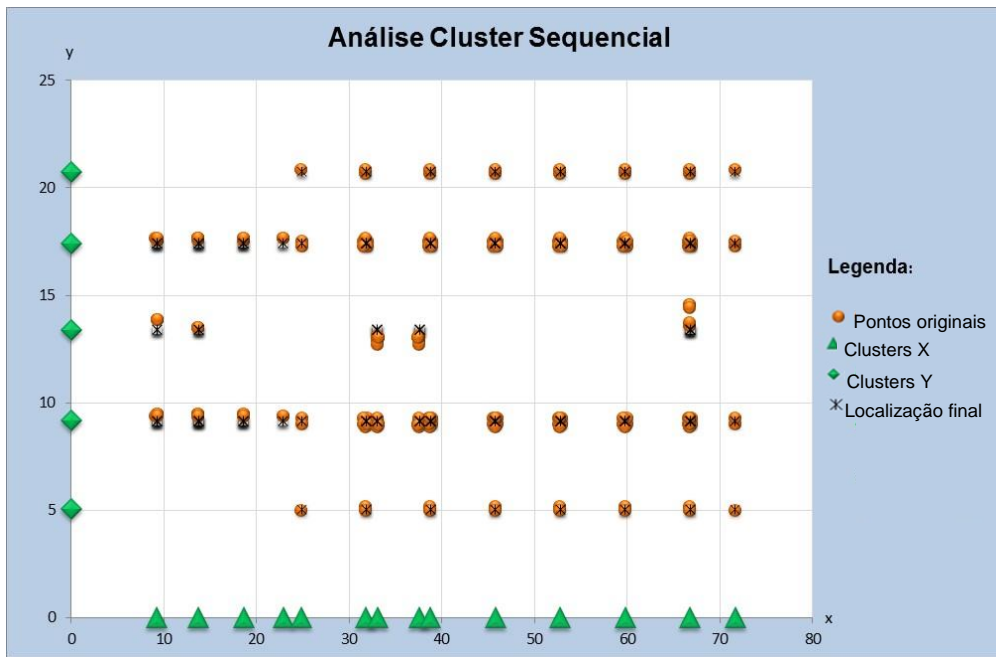


Figura 43 – Gráfico da representação plana da análise cluster sequencial

O processo termina com a devolução dos resultados obtidos ao SAP2000, que resulta na estrutura de elementos finitos apresentada na Figura 44.

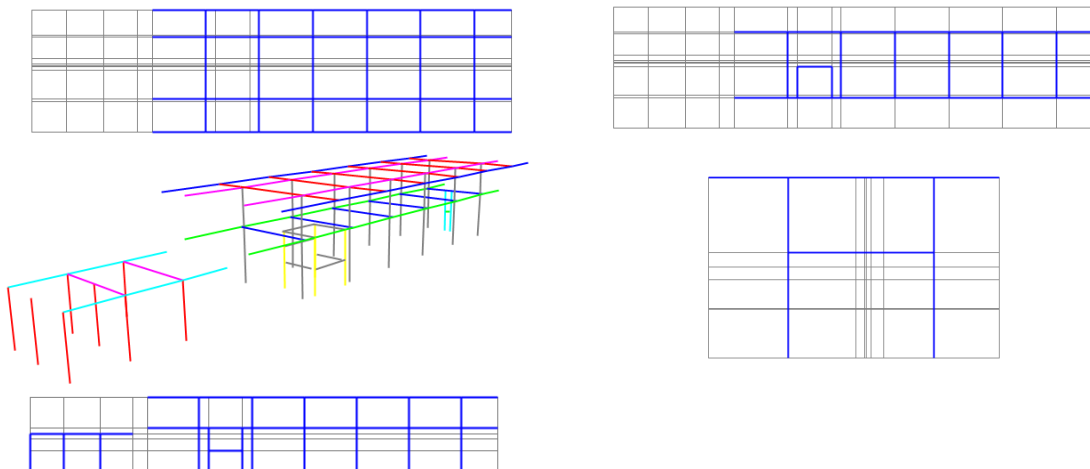


Figura 44 – Múltiplas visualizações do resultado da aplicação da análise cluster

Utilizando o modelo obtido, é possível completar a geometria adicionando manualmente os elementos em falta. O modelo completo, resultado do processo descrito, é ilustrado na Figura 45.

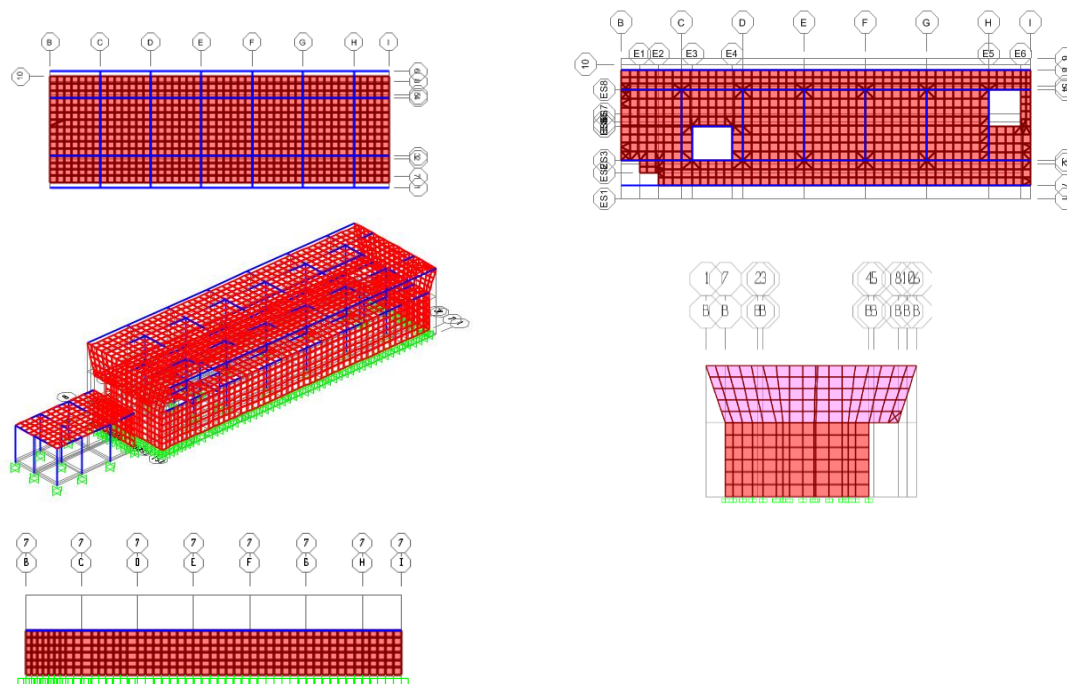


Figura 45 – Múltiplas visualizações do modelo SAP2000 completo

A sequência de passos apresentada pode ser realizada num curto espaço de tempo (menos de 30 min no total, até para um utilizador menos experiente) e permite obter de forma automática:

- A definição geométrica de grande parte das secções *frame* necessárias para o cálculo estrutural;
- A modelação de grande parte dos elementos *frame* da estrutura;
- A criação da maioria das *gridlines* auxiliares ao processo de modelação dos restantes elementos;

Apesar das limitações identificadas, verifica-se que esta metodologia está muito próxima de permitir obter um modelo FEM adequado ao cálculo estrutural. Na exposição efetuada, limitou-se o processo, à transferência de elementos lineares. Contudo, desde que o processo de transferência de elementos planares apresente uma qualidade superior, todas as etapas demonstradas permanecem válidas, aumentando apenas o número de pontos e de *clusters* a serem analisados.

É ainda importante referir que, o algoritmo utilizado nesta análise, não foi elaborado propositadamente para o estudo realizado. O desenvolvimento de um código VBA, destinado especificamente a este processo pode melhorar, substancialmente, os resultados obtidos. Algumas das melhorias mais importantes na codificação passam, por exemplo:

- Pela substituição da necessidade de determinar, à priori, o número de *clusters* a contabilizar, por uma distância máxima entre pontos;
- Pela introdução de mecanismos que permitam contabilizar a ortogonalidade da malha final, através de uma aplicação única e direta do algoritmo;

A questão da interoperabilidade é central a qualquer processo BIM, sendo por isso uma área na qual se esperam desenvolvimentos relevantes num curto espaço de tempo. Aliás, o formato de

transferência de informação mais interessante, o IFC no seu MVD estrutural, não está disponível na versão utilizada do ABD. É perfeitamente justificável a expectativa, de que esta situação seja corrigida em versões futuras, contribuindo para o aumento do automatismo e da qualidade do processo.

A correta aplicação do fluxo BIM proposto, implica a existência de uma ligação bidirecional entre o modelo paramétrico e o modelo FEM. A capacidade de troca de informação no sentido FEM – BIM é importante, uma vez que permite ao engenheiro realizar o cálculo estrutural em ambiente FEM, produzindo no SAP2000 as alterações necessárias, que podem então ser traduzidas automaticamente para o modelo paramétrico. Neste sentido, apresenta-se de seguida uma análise das capacidades de troca de informação entre o SAP2000 e o ABD.

4.2.3 Transferência SAP2000 – AECOsim Building Designer

Apesar de não ser possível alcançar a metodologia proposta inicialmente, numa perspetiva BIM, será importante obter um método que permita comparar o modelo utilizado para o cálculo estrutural, com o modelo geométrico de extração de desenhos, quantidades e coordenação. Para o efeito, e recorrendo uma vez mais à informação sintetizada na tabela do Anexo 3, observa-se que a possibilidade ligação entre os dois programas neste sentido é mais limitada, permitindo apenas a comunicação com recurso aos formatos DWG e DXF, IGES e IFC.

O processo de exportação do modelo SAP2000 para os formatos **DWG e DXF** é semelhante ao descrito anteriormente. A definição de atribuição de cada tipo de elemento analítico a uma *layer* CAD é efetuada através do menu representado na Figura 46. Esta opção não é relevante pois a omissão deste passo tem como consequência apenas que, o programa onde se importa o ficheiro DXF ou DWG atribua automaticamente as *layers* relevantes a cada elemento. O processo de importação no ABD é direto, sem existirem quaisquer definições a editar. A Figura 46 apresenta o resultado da utilização deste formato.

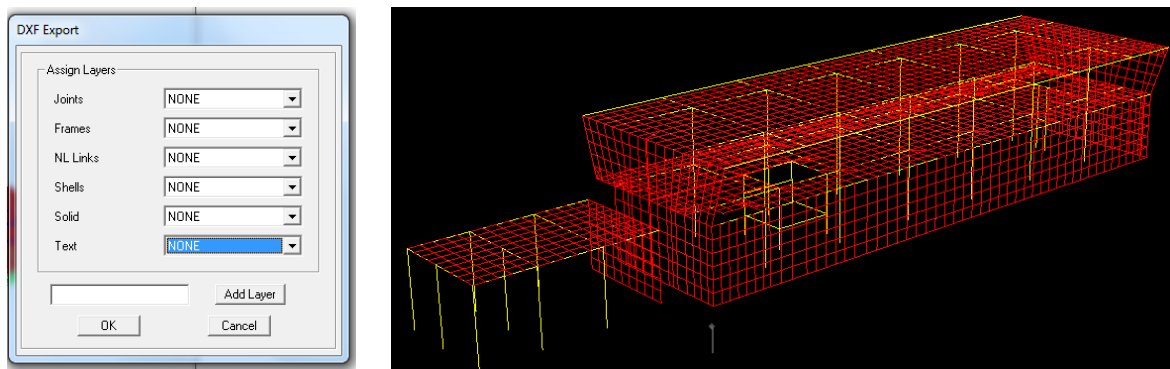


Figura 46 – Menu SAP2000 de associação dos objetos analíticos às *layers* CAD e vista em perspetiva do modelo analítico importado para ABD no formato DWG

O resultado final produz um modelo geométrico exatamente igual ao modelo SAP2000, composto por entidades lineares não paramétricas. Este resultado é irrelevante para a metodologia que se pretende alcançar, uma vez que não é possível atribuir expressão tridimensional a estes elementos. Por este motivo coloca-se de parte a hipótese de utilização deste formato.

O processo de exportação do modelo no formato **IGES** requer apenas a definição dos elementos a transferir. Os objetos analíticos contidos no modelo podem ser transformados em entidades IGES FEM, ou IGES geométricas, tal como acontecia anteriormente no sentido inverso. Da consulta da referida documentação de apoio [2] e [50], verifica-se que a abordagem mais correta é a tradução dos elementos como identidades geométricas, uma vez que o ABD não reconhece as entidades FEM IGES. O resultado obtido após o processo de importação estar completo é apresentado na Figura 47.

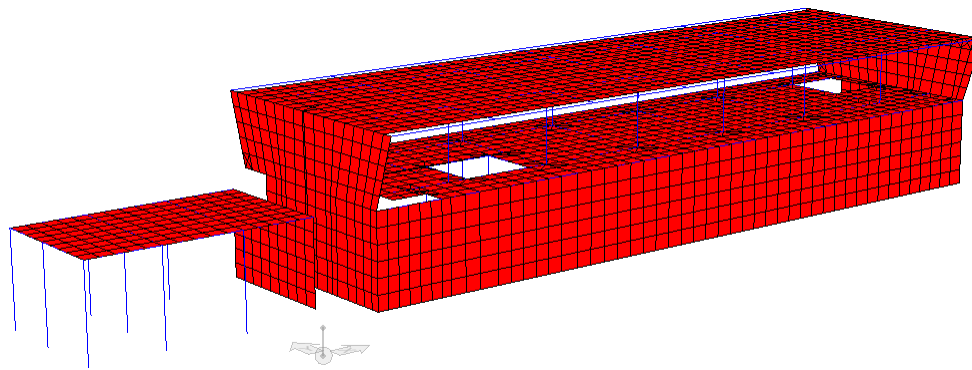


Figura 47 – Vista em perspectiva do modelo analítico importado para ABD no formato IGES

Os três formatos experimentados foram originalmente criados com o objetivo de transferir e manipular informação geométrica. Por este motivo apresentam grandes limitações para reter o conteúdo analítico paramétrico, relativamente às dimensões das secções e à informação adicional que caracteriza os objetos BIM. Conclui-se assim que nenhum destes formatos se adequa ao processo de importação do modelo analítico, para efeitos de comparação das geometrias.

Resta apenas a possibilidade de utilização do formato **IFC** para concretizar a transferência do modelo. De acordo com a tabela do Anexo 3, o MVD Architectural Coordination View do padrão IFC 2x3 está disponível para exportação do SAP2000 e importação para o ABD. O processo de exportação do modelo do SAP2000 é automático e imediato, sem ser possível realizar qualquer controlo manual do mapeamento dos objetos IFC. O processo de importação do ABD é também automático, com um controlo manual limitado e pouco relevante para o estudo em questão. A transferência da informação neste formato resultou no modelo ABD que se apresenta na Figura 48.

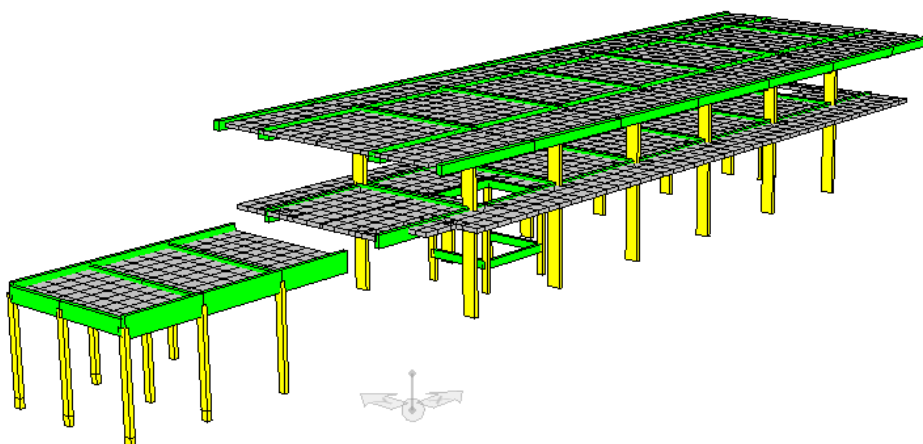


Figura 48 – Vista em perspectiva do modelo analítico importado para o ABD no formato IFC

O processo utilizado resulta num modelo com um número inferior de elementos quando comparado com o processo de transição do ABD para o SAP2000. Nenhum dos elementos do tipo parede foi transferido. No entanto verifica-se que, para os restantes elementos – vigas, pilares e lajes – a transferência apresenta uma qualidade muito elevada sem apresentar muitos dos problemas identificados anteriormente (destacando-se o facto de todas as aberturas terem sido transferidas corretamente). Registam-se ainda alguns problemas como por exemplo a simplificação dos elementos de secção variável para secção constante. O MVD utilizado não permitiu, como era espectável, a transferência de informação relativamente a carregamentos, condições de fronteira, etc. Contudo, para efeitos de comparação da geometria, este formato revela-se o mais adequado, permitindo sobrepor o modelo SAP2000 ao modelo ABD original, como é representado na Figura 49.

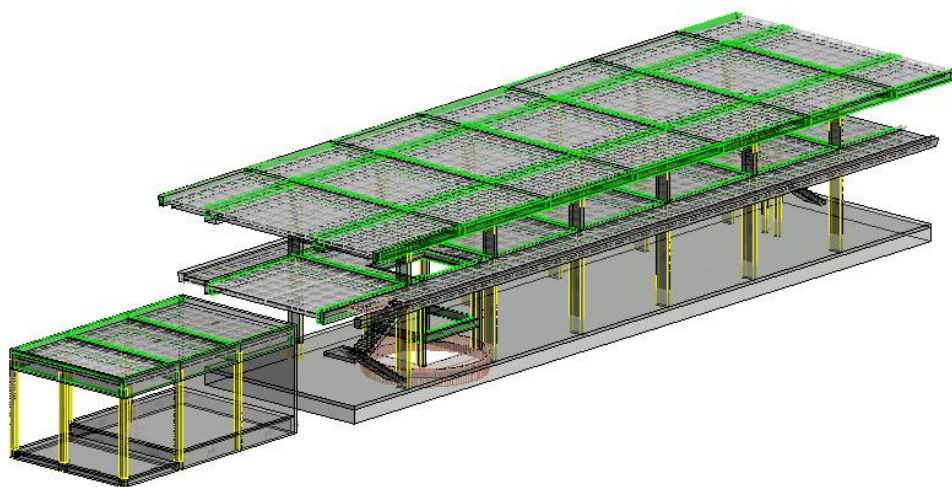


Figura 49 – Vista em perspectiva, no ABD, da sobreposição do modelo BIM original com o modelo analítico importado no formato IFC

A sobreposição dos dois modelos põe em evidência as simplificações realizadas durante o processo de análise *cluster* desenvolvido anteriormente, e permite fazer uma inspeção visual da conformidade entre os elementos modelados em SAP2000 e os elementos originais. Na Figura 50 é possível visualizar representações isoladas, de auxílio a esta inspeção visual.

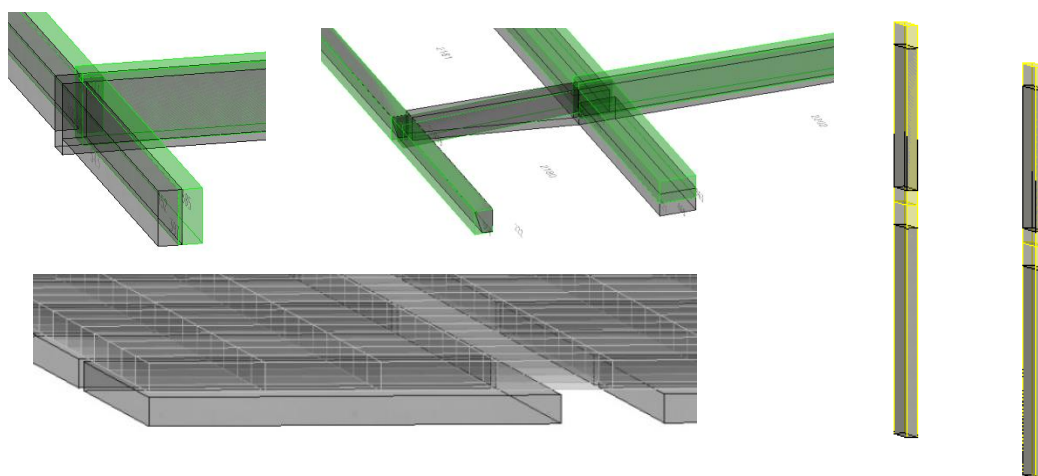


Figura 50 – Sobreposição dos elementos BIM originais com os elementos obtidos dos SAP2000 importados no formato IFC

As imagens superiores representam, a verde, algumas vigas e respetivos encontros, obtidas do SAP2000, sobrepostos aos elementos originais, a cinzento, modelados no ABD. Em baixo observa-se a sobreposição das lajes do SAP2000 com a respetiva *mesh*, e as mesmas lajes, na sua versão original a cheio. Finalmente, à direita, observa-se a sobreposição dos pilares obtidos em IFC a amarelo, e os mesmos elementos a cinzento.

4.2.4 Discussão

O objetivo de utilização do modelo paramétrico como sistema centralizado de gestão da informação estrutural, não é conseguido plenamente com o recurso aos *softwares* escolhidos. A justificação reside no facto de não existir um formato de transferência de informação, que permita a passagem completa de todos os elementos necessários, do modelo paramétrico para o programa FEM, e vice-versa. Adicionalmente, a eventual utilização de uma ligação indireta entre os programas não representa a solução mais adequada para este problema pois, para o efeito, seria necessário que o processo de transferência resultasse numa atualização ou modificação dos elementos. Esta situação não se verifica, sendo apenas possível realizar a sua substituição. Este problema torna-se ainda mais evidente quando se observa que a parametrização dos elementos não é conservada, nomeadamente, a relação entre o modelo físico e o modelo analítico. Quer isto dizer que, numa situação ideal, os únicos elementos envolvidos nas transferências de informação seriam os objetos analíticos. Estes elementos seriam importados para o SAP2000, alterados, e exportados para o ABD. Por sua vez, o ABD atualizaria o modelo analítico, com as simplificações realizadas no SAP2000, sem modificar o modelo geométrico. Este apenas seria alterado, caso alguma secção fosse modificada por força do dimensionamento efetuado.

Considerando os problemas identificados, desenvolveu-se uma metodologia simplificada com base no processo apresentado na Figura 8 do item 3.1, e exposta no Anexo 5. Observando as duas metodologias verifica-se uma alteração na ligação entre o modelo paramétrico e o modelo FEM. Esta ligação era originalmente idealizada como bidirecional e interativa. Identificadas as várias limitações durante a aplicação prática, parece mais adequado limitar o fluxo de informação ao sentido ABD – SAP2000. Desta forma é possível obter um número considerável de elementos analíticos no SAP2000 a partir da sua representação paramétrica no ABD. A realização da análise *cluster* permite simplificar estes elementos, adaptando-os às necessidades do programa de cálculo estrutural, que podem de seguida ser completados manualmente de acordo com as formas que foram definidas inicialmente. Apesar da impossibilidade de realizar o trajeto inverso, tanto para efeitos de coordenação geométrica, como para a atualização automática do modelo paramétrico, este processo permite um aumento relativo de produtividade. Adicionalmente, a expectativa em torno de desenvolvimentos informáticos futuros, ou até através da utilização de outros programas já existentes no mercado, é suficiente para se considerar relevante a sua introdução num fluxo BIM de possível de implementação. Como referido, a possibilidade de ser utilizado o MVD estrutural do formato IFC pode contribuir largamente para uma melhoria dos resultados obtidos, juntamente com desenvolvimentos informáticos que estão facilmente ao alcance das empresas, mesmo com um nível tecnológico baixo.

Neste sentido, os principais ganhos deste processo são, não apenas a rapidez na geração de um modelo analítico, mas também a diferente alocação de recursos dentro de uma empresa. Para ambos os processos BIM apresentados, é perfeitamente válido que o trabalho manual de modelação seja efetuado por um elemento especializado para o efeito, um modelador. Desta forma, limita-se o trabalho do engenheiro a situações específicas de cálculo e dimensionamento estrutural. Assim o modelo paramétrico não se coloca como repositório central de informação, mas como ponto de partida para a elaboração de outros elementos de forma rápida e automática. O processo descrito relativamente ao tratamento a dar ao modelo analítico, permite inclusive eliminar os problemas que foram colocados inicialmente, com a imposição da utilização do modelo paramétrico para produção do modelo analítico. A redução deste grau de exigência à modelação contribui para tornar o processo de modelação mais rápido.

Para efeitos de coordenação espacial, o processo de transferência do modelo do SAP2000 para o ABD no formato IFC, apresenta-se como a alternativa mais viável. Contudo, este procedimento resulta na transferência do modelo analítico simplificado que, como se observou, não corresponde à realidade a construir. Esta situação torna insustentável qualquer tentativa de coordenação com outros elementos, podendo ser identificados conflitos que na realidade não existem, ou o contrário. Considera-se então que, para que seja garantida conformidade entre o modelo paramétrico e o modelo BIM, é necessário recorrer a métodos tradicionais (não BIM), de partilha de informação e comunicação entre o engenheiro e o modelador.

Uma vez que o trabalho a realizar durante a fase de projeto de um empreendimento não finaliza no cálculo estrutural, interessa ainda abordar o estudo relativo à produção da documentação (desenhos, quantidades, etc.) de projeto. Nesse sentido, o seguinte capítulo, deve permitir evidenciar as capacidades BIM na produção automática de documentação, que se traduzam num aumento de qualidade dos *deliverables*, num aumento da produtividade interna da empresa, e que contribuam para a melhoria da gestão da informação do projeto.

Capítulo 5 - Aplicação prática: produção e coordenação

5.1 Produção automática de desenhos

Criado o modelo paramétrico de estruturas do edifício procede-se à extração de desenhos de um modo automático. As representações 2D são definidas essencialmente pela geometria do contorno dos elementos, contidos na vista delimitada para o desenho. Contudo, existe um conjunto de regras e de outros elementos, que podem também ser representados, mas que não têm propriamente uma expressão física no modelo tridimensional paramétrico. São exemplo, os desenhos das linhas de eixo dos pilares ou das vigas, a diferenciação com diferentes espessuras dos elementos mais próximos ou mais afastados da zona de corte, a representação com um tipo de linha diferente dos elementos que se localizam atrás de outros elementos, ou a simples diferenciação entre betões de enchimento, primeira fase, segunda fase, etc.

O ABD é um programa de modelação paramétrica no sentido de que contém uma biblioteca de elementos paramétricos, utilizados na construção do modelo global da estrutura, cujas definições podem ser controladas pelo utilizador. Numa primeira fase, a representação 2D dos elementos paramétricos do ABD é controlada pelas opções *Family & Parts*, definidas no *Dataset Explorer*. O *Dataset* não é mais do que a localização, dentro das diretorias do computador, onde essa biblioteca e as respetivas definições são armazenadas. Esta localização pode ser acedida diretamente de dentro do ABD através do *Dataset Explorer*. O sistema de *Family & Parts* é a definição que controla, entre outros, o modo de representação dos objetos. Na Figura 51, na zona inferior à esquerda, é possível observar o caminho de acesso, dentro do ABD, ao menu *Family & Parts*, do *Dataset Explorer*, que está visível na zona superior.

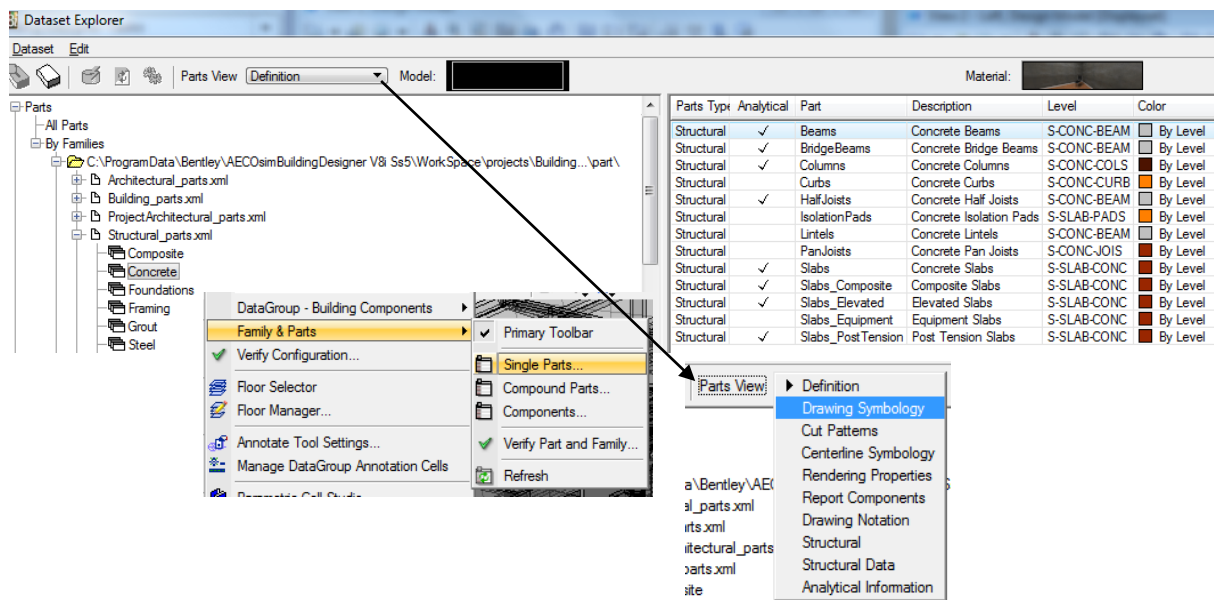


Figura 51 – Menu de definição *Family & Parts* do *Dataset explorer*, caminho e possíveis definições das *Parts*

É então possível definir *Parts* para cada tipo de elemento modelado de forma a controlar a sua representação 2D. No fluxograma BIM proposto inicialmente, verifica-se que os desenhos extraídos automaticamente devem apresentar uma ligação unidirecional e dinâmica com o modelo BIM. Desta forma, qualquer alteração efetuada ao modelo vem imediatamente refletida nos desenhos. Para o efeito, o ABD possui uma opção de produção automática de documentação gráfica, denominada *Dynamic Drawing*. A Figura 52 apresenta o menu *Drawing Composition* onde se localizam as ferramentas de produção de desenhos, juntamente com o caminho seguido, na produção de um corte automático.

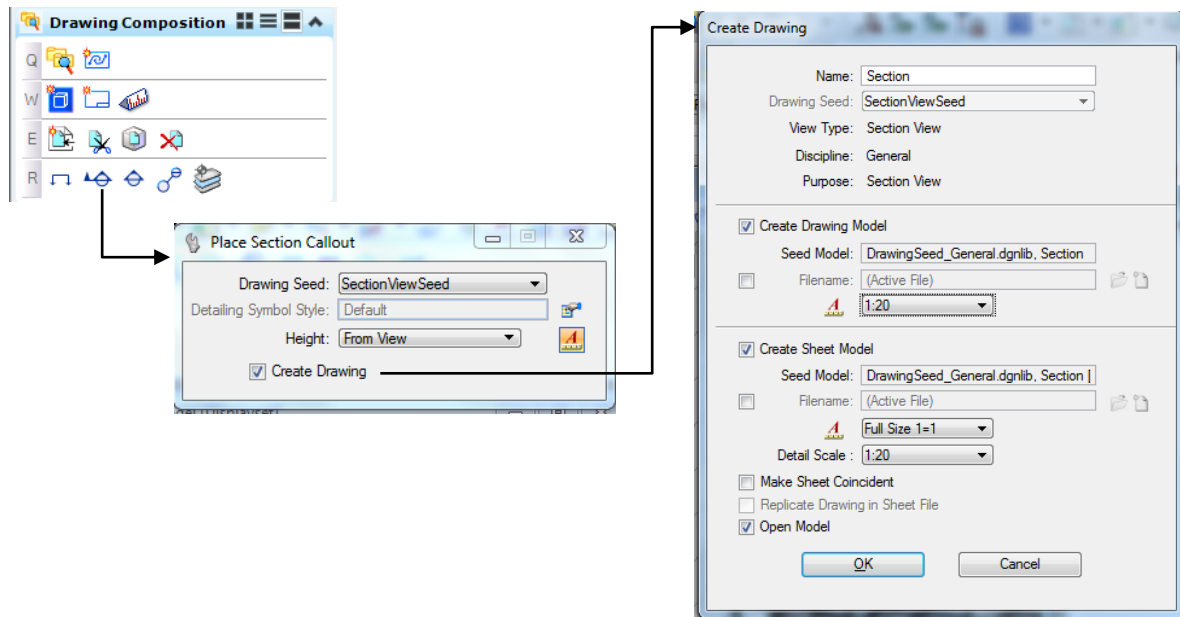


Figura 52 – Sequência dos menus de definição de uma *dynamic view*

Para a correta definição de uma peça desenhada, é necessário, numa primeira fase, definir uma *seed* de desenho e localizar manualmente a posição do corte a efetuar (menu *Place Section Callout* da Figura 52). De seguida, são definidas as opções relativas ao corte propriamente dito (menu *Create Drawing*). Aqui são definidos o nome do corte, o ficheiro onde o corte se irá localizar e a folha de impressão (*layout*) sobre o qual o desenho irá ser colocado.

Esta ferramenta apoia-se numa outra opção, já apresentada no decurso deste trabalho, denominada *Reference*. A aplicação do processo descrito resulta na criação de uma vista 2D (denominada *Dynamic View*), de acordo com as opções tomadas pelo utilizador (*parts*, *seed*, localização), que fica armazenada no próprio modelo BIM. A sua representação 2D acontece através da aplicação como *reference* num novo ficheiro vazio. É este caminho que torna a representação plana num elemento dinâmico em que, qualquer alteração produzida ao modelo é atualizada automaticamente no desenho. As opções relativas à nomenclatura e ao ficheiro de localização do corte são importantes, pois facilitam a identificação do desenho produzido e a sua localização na organização dos ficheiros dentro das diretorias do projeto.

Para o presente trabalho foram definidas apenas duas *Parts*, correspondendo a betão de primeira fase e betão de segunda fase. As definições mais relevantes de cada uma estão apresentadas na Figura 53. Apesar de esta diferenciação não estar prevista para o projeto em questão, é importante

compreender as capacidades do programa numa situação mais geral. Por esse motivo consideraram-se betões de segunda fase, todos os elementos localizados na zona mais a norte do edifício B.

Parts View Definition									
Parts Type	Analytical	Part	Description	Level	Color	Style	Weight	TI	
Structural	✓	BetaoFase1	Concrete	BA_Geral	9	By Level			
Structural	✓	BetaoFase2	Concrete	BA_Geral	8	By Level			

Drawing Symbology									
Part	Description	Section Toggle	Section Color	Section Unify Toggle	Section Unifier	F&R View Toggle	F&R View Color	F&R View Style	
BetaoFase1	Concrete	✓	By Level	✓		✓	By Level	DASHED	By Level
BetaoFase2	Concrete	✓	By Level	✓		✓	By Level	DASHED	By Level

Cut Patterns							
Part	Description	Cut Fill Toggle	Cut Fill Color	Pattern	Pattern Type	Pattern Color	
BetaoFase1	Concrete	✓	8	✓	Linear Hatching	By Level	
BetaoFase2	Concrete	✓	8	✓	Patterning	By Level	

Figura 53 – Definições mais relevantes das Parts editadas para a obtenção automática de desenhos

Uma vez atribuídas as *Parts* aos elementos paramétricos, e realizado o corte pelo processo apresentado na Figura 52, é obtido um novo ficheiro, com a representação dos elementos interseccionados pela *Dynamic View*. A Figura 54 apresenta um corte tipo efetuado no edifício B.

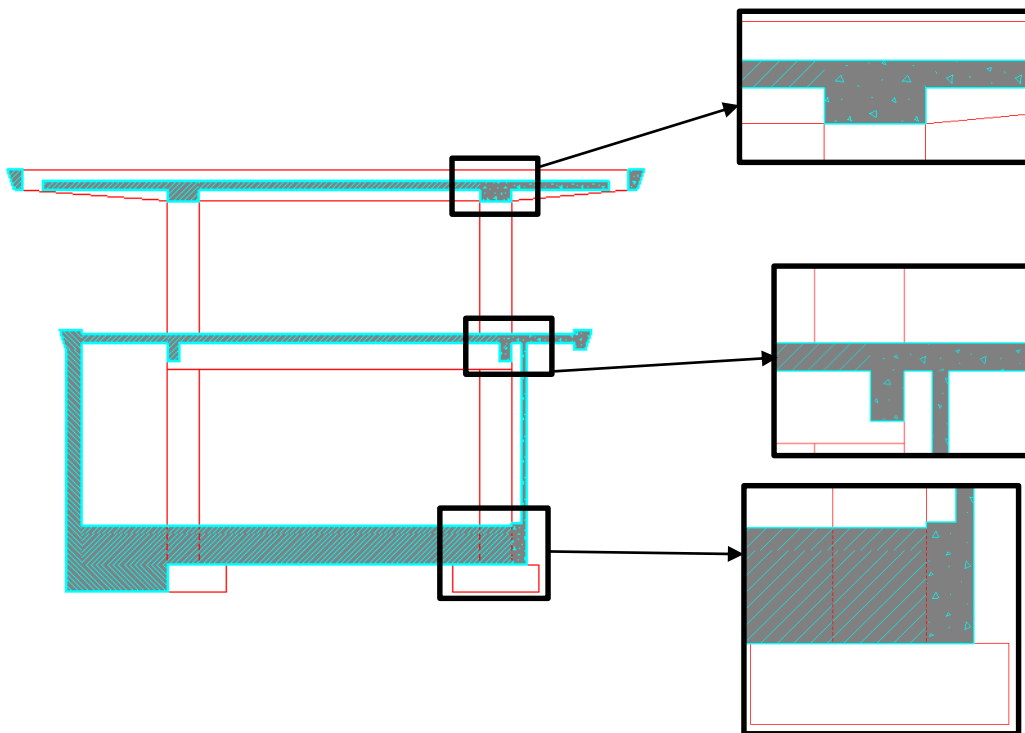


Figura 54 – Corte transversal genérico do edifício B

A figura permite distinguir dois tipos de elementos principais: a azul e a cheio, as peças seccionadas pelo plano de corte; a vermelho e apenas com o contorno, as peças que se encontram na zona posterior ao plano de corte. Nos três pormenores apresentados é possível distinguir dois padrões diferentes em azul, correspondendo o tracejado ao betão de primeira fase e o padrão de betão, ao betão de segunda fase. Com as duas *Parts* definidas alcançou-se uma representação adequada para desenhos de definição de formas e articulação com arquitetura ou outras especialidades. Apesar do processo parecer relativamente simples, deve considerar-se o facto de: os

elementos, apesar de serem individuais no modelo 3D, são representados continuamente no desenho; os elementos escondidos (por exemplo o pilar representado no último pormenor) aparecem a tracejado; e as diferentes fases aparecem distinguidas por diferentes padrões, mas sem nenhuma linha de separação entre eles.

Interessa agora conseguir, sem alterar as propriedades previamente definidas, produzir desenhos técnicos, sobre os quais seja possível, por exemplo, realizar a pormenorização das armaduras. Para o efeito o ABD permite reutilizar a *Dynamic View* criada como *reference*, anexando-a as vezes que forem necessárias ao projeto. De seguida, é possível alterar as definições de representação, características dessa mesma *Reference* e conseguir assim, realizando apenas um corte, e sem alterar as *Parts* do projeto, construir múltiplas representações dos mesmos elementos. A Figura 55 apresenta o mesmo corte da Figura 54, mas com várias representações alternativas adequadas, por exemplo, à pormenorização das armaduras das peças de betão armado.

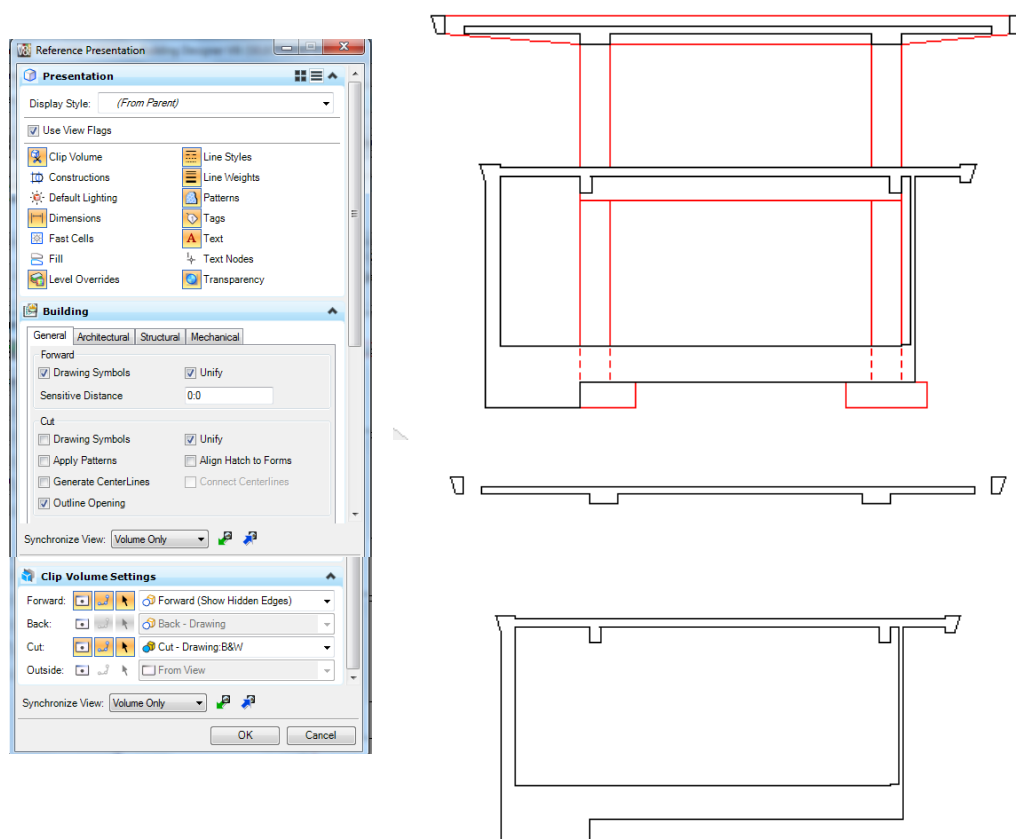


Figura 55 – Definições de representação da vista e múltiplas representações do mesmo corte

É importante referir algumas das limitações que o ABD apresenta ainda atualmente. Apesar das várias definições que controlam a representação dos elementos em 2D, a capacidade de alteração direta dos elementos é bastante limitada. Se por exemplo, o utilizador desejar diferenciar os elementos que se encontram atrás do plano de corte através de cores ou de traços diferentes, é possível atribuir uma *part* específica para o efeito ao elemento em questão. Contudo, devido ao caráter dinâmico do processo de extração de desenhos, esta diferenciação irá ser refletida, não apenas no corte em

elaboração, mas em todos os elementos que contenham o objeto modificado. Existem, no entanto, métodos alternativos que permitem realizar uma abordagem mista de processos BIM com processos tradicionais de trabalho. Após a obtenção dos contornos das peças de betão em planta ou em corte, é possível por exemplo, utilizar as capacidades CAD do Microstation e, sem ser necessário sair do ambiente BIM do ABD, realizar os desenhos de pormenorização das armaduras.

5.2 Quantificação do mapa de trabalhos

Os objetos paramétricos utilizados na modelação no ABD são constituídos, essencialmente, por três conjuntos de informação:

- A geometria tridimensional que corresponde à representação física do objeto modelado;
- A informação relativa às *Family & Parts*, referida no processo de extração de desenhos, e que contém, entre outras, regras de representação 2D dos objetos;
- A informação relativa ao *Datagroup*, onde estão contidas as propriedades mais relevantes para efeitos de caracterização e quantificação do mapa de trabalhos.

O conjunto das *Family & Parts* e do *Datagroup*, representam a totalidade da informação extra geométrica que constitui os objetos paramétricos do ABD. O *Datagroup* é particularmente importante, na medida em que, é neste conjunto de dados, que são definidas categorias de objetos e a informação que os caracteriza. Toda esta informação é armazenada nas diretorias de instalação do programa, apresentando uma estrutura de ficheiros complexa. Contudo, o seu acesso é simplificado utilizando o *DatagroupCatalog Editor* disponível dentro do ABD e apresentado na Figura 56.

No processo de modelação no ABD, para além da possibilidade de definição das propriedades geométricas, é possível controlar as características armazenadas no *Datagroup* de cada objeto. A lista de propriedades associada a cada elemento é extensa e editável, podendo o utilizador acrescentar novas definições para enriquecer os objetos com informação adicional. A Figura 56 representa uma parte da lista de propriedades associada ao *Datagroup* de um objeto do tipo viga. Destas propriedades são destacadas as definições “*StructuralQuantities*”. Estas definições não são editáveis pelo utilizador, e são calculadas automaticamente pelo programa, permitindo obter volumes, áreas, comprimentos, etc. O processo de modelação resulta na criação de um ficheiro composto por entidades paramétricas, definidas pelo *DatagroupCatalog*. Toda a informação, relativa ao *Datagroup* de cada objeto presente no modelo, pode ser extraída automaticamente recorrendo à ferramenta *Datagroup Explorer*. Esta extração inclui as propriedades de cálculo automático de quantidades, as *StructuralQuantities*. A Figura 57 representa um exemplo de aplicação desta ferramenta, onde é apresentada toda a informação relativamente às vigas de betão modeladas no trabalho de aplicação prática.

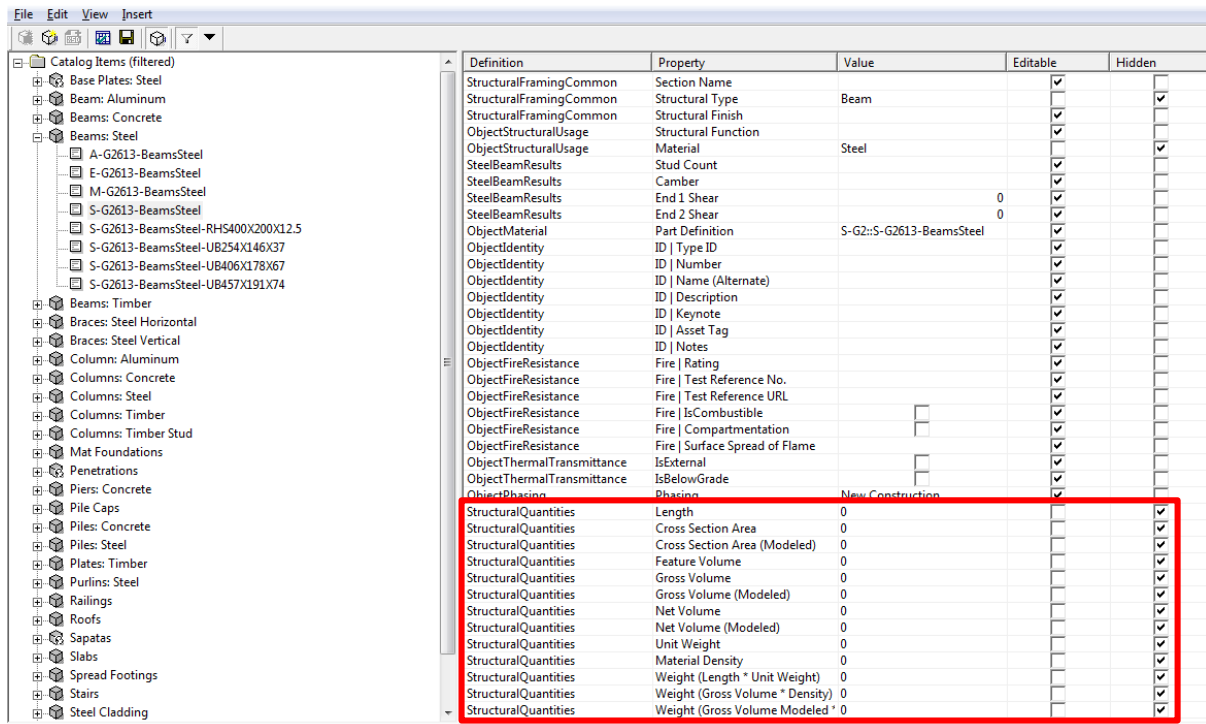


Figura 56 – DatagroupCatalog editor e a informação não geométrica associada a uma viga

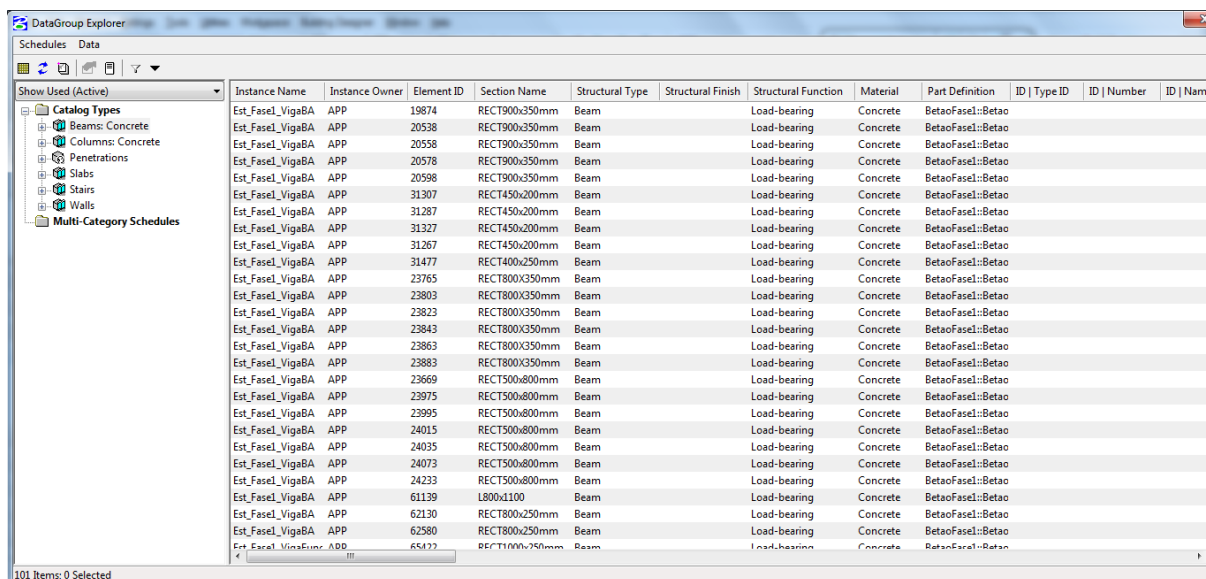


Figura 57 – Datagroup explorer e a informação relativamente às vigas modeladas

Estas listas, por sua vez, podem ser exportadas para uma folha de Excel, com um *template* pré-definido pelo utilizador, preparado para tratar a informação. De acordo com [4] o fluxo de trabalho mais adequado para a extração de quantidades é o seguinte:

- Através do *Datagroup Explorer* criar uma lista para cada tipo de objeto utilizado no modelo;
- Exportar cada lista para uma folha Excel separada;
- Ligar todas as folhas a um ficheiro de agregação (*template*) da informação através da propriedade “copiar *link*”;

- Utilizar esse ficheiro central para tratar a informação e retirar os elementos necessários a elaboração das listas de quantidades de trabalho.

Uma vez condensada a informação num ficheiro Excel, é possível, quer através da exploração da ferramenta *Pivot Table*, quer pela programação manual de fórmulas, filtrar toda a informação e obter os volumes dos elementos, conforme o arranjo final da lista de quantidades de trabalho. Nesse sentido, na elaboração do presente trabalho prático, recorreu-se à ferramenta *Pivot Table*, apresentando-se alguns dos resultados, listados nas tabelas 8, 9 e 10.

Tabela 8 . Pivot Table para a extração de volumes dos elementos do tipo parede

Row Labels	Sum of Volume (Net) (m3)	Sum of Area Center (Net) (Meters)	Sum of Area Center (Gross) (Meters)
Est_Fase1_ParedeExtBA	319.56	719.88	660.1
Est_Fase1_ParedeIntBA	3.33	33.33	33.33
Est_Fase2_ParedeExtBA	32.22	214.82	214.82
Grand Total	355.11	968.03	908.25

Tabela 9 – Pivot Table para a extração de volumes dos elementos do tipo viga

Row Labels	Sum of Net Volume (Modeled) (m3)	Sum of Gross Volume (Modeled) (m3)	Sum of Feature Volume (m3)
Est_Fase1_VigaBA	97.86	100.13	2.26
Est_Fase1_VigaFundacaoBA	7.84	8.31	0.46
Est_Fase2_VigaBA	49.7	51.91	2.21
Est_Fase2_VigaFundacaoBA	19.61	19.61	0
Grand Total	175.01	179.96	4.93

Tabela 10 – Tabela síntese das quantidades de materiais extraídas automaticamente do modelo

Elemento	Unidade	Quantidade
Sapatas	m3	169
Vigas de Fundação	m3	27
Lajes	m3	278
Vigas	m3	148
Pilares	m3	26
Paredes	m3	355
Subtotal - Superestrutura		806
Total		1003

Durante o processo de obtenção de quantidades observou-se no entanto que, de maneira pouco compreensível, os elementos escadas construídos com a ferramenta proprietária do programa não reportam o respetivo volume a partir do Datagroup Explorer. Para resolver este problema podem ser utilizadas duas soluções: ou se determina o volume das escadas por contabilização manual, ou se realiza a modelação deste elemento de forma alternativa, recorrendo a uma combinação de elementos paramétricos do tipo laje ou de formas tridimensionais não paramétricas do Microstation. De seguida, é possível atribuir a informação do Datagroup a estes elementos e proceder à extração automática das respetivas quantidades. No entanto, esta segunda opção pode ter consequências no que diz respeito à elaboração automática de desenhos. É por isso necessário alcançar um compromisso entre a automatização do processo de extração de volumes e a obtenção de representações 2D automáticas. Simultaneamente, é necessário considerar as simplificações realizadas durante o processo de

modelação da estrutura para efeitos de compatibilidade entre os elementos. Observe-se, por exemplo, a Figura 58 onde está representado o encontro entre uma viga (a vermelho) e os pilares e vigas adjacentes.

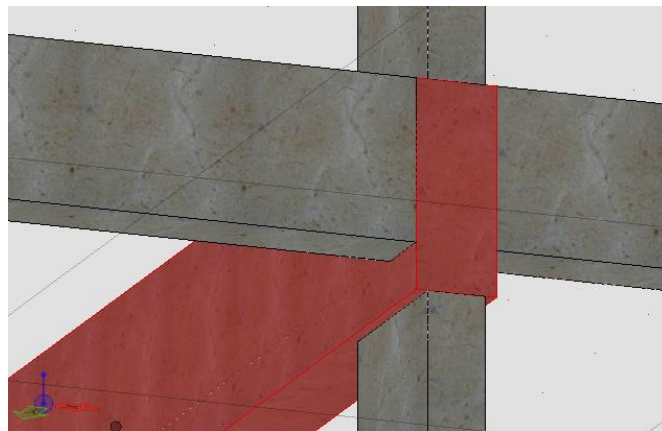


Figura 58 – Representação em perspectiva de um encontro entre três vigas e dois pilares

A viga representada a vermelho apresenta uma largura superior à largura dos pilares que lhe são adjacentes. Simultaneamente, as vigas laterais encontram-se alinhadas pela borda dos pilares e têm dimensões diferentes da viga a vermelho. Para as geometrias descritas, e de forma a modelar a totalidade de volume de betão do encontro, é necessário utilizar o elemento de maiores dimensões (viga a vermelho) na zona de sobreposição. Para a modelação ir ao encontro das regras de quantificação já enunciadas, o pilar inferior terá de ser aumentado até ao topo da viga a vermelho, que por sua vez deve recuar até ao bordo do pilar. Esta opção resulta, no entanto, num encontro modelado com uma largura inferior à real (a largura do pilar). Novamente, verifica-se que existe um conflito entre a automatização e a velocidade de modelação. Esta situação pode ser corrigida, por exemplo, fazendo recuar a viga para a sua localização correta e modelando um pilar adicional, de dimensões coincidentes com as dimensões do encontro, que ligue os dois pilares já modelados. No entanto, é necessário considerar o efeito que esta decisão vai ter na ligação com o modelo de cálculo estrutural, e na obtenção automática de desenhos.

5.3 Quantificação dos elementos de cofragem

Outra das quantidades típicas a retirar do modelo é a quantidade de cofragem necessária à execução da obra. Não existe atualmente no ABD nenhuma ferramenta própria para o efeito. No entanto, explorando as mesmas opções do *DataGroup Explorer*, o ABD permite fornecer valores de áreas e comprimentos dos elementos. Contudo, a aplicação desta capacidade na obtenção de quantidades de cofragem, está limitada pela incapacidade do ABD em reconhecer, por exemplo, zonas de contacto entre objetos. Por este motivo decidiu-se realizar uma abordagem simplificada para este problema, extraindo-se as áreas dos objetos automaticamente, mas adotando-se um conjunto de regras de processamento da informação no Excel:

- Nas sapatas é contabilizada apenas a área da envolvente do objeto. Isto significa que não são extraídas áreas superiores nem inferiores. Esta abordagem resultará em valores por excesso

no caso de existirem vigas de fundação a ligar as sapatas ou se existirem blocos de fundação de geometria complexa, modelados separadamente;

- Nas vigas de fundação são contabilizadas apenas as duas áreas laterais. Isto significa que não são extraídas áreas superiores, inferiores, ou referentes à secção da viga - esta abordagem resultará em valores por excesso no caso de existirem vigas ligadas entre si, ou lajes ou outros elementos betonados em simultâneo;
- Nas lajes contabiliza-se apenas as áreas inferiores dos objetos. Esta abordagem resultará em valores por defeito no caso de existirem lajes em consola sem vigas de travamento, situação pouco usual. No caso de estudo não foram utilizadas lajes fungiformes nem lajes aligeiradas. Estes casos devem ser revistos numa situação futura em que o problema se coloque;
- Nos pilares é contabilizada toda a área lateral dos elementos excluindo as faces da secção nos extremos. Esta abordagem conduz a valores por excesso, mais ou menos relevantes conforme a modelação dos encontros com as vigas e as lajes;
- Nas vigas é contabilizada toda a área inferior do elemento, juntamente com as duas áreas laterais (longitudinais). Esta abordagem induz à obtenção de valores claramente por excesso devido aos encontros entre as vigas e as lajes, e as vigas e os pilares;
- Nas paredes são contabilizadas as áreas das duas superfícies de maiores dimensões. Esta abordagem resulta em valores por excesso, por um lado, devido aos encontros das paredes com as vigas e as lajes, e por defeito ao não serem contabilizadas as áreas laterais de menores dimensões nas paredes que terminem sem ligações a outros elementos.

Se as simplificações apresentadas forem consideradas adequadas para efeitos de extração de quantidades, o processo descrito permite obter valores de uma forma completamente automática sem a necessidade de qualquer *input* extra na modelação dos elementos. Caso as simplificações não sejam consideradas adequadas, é sempre possível recorrer a um método manual de quantificação, e utilizar a metodologia apresentada, apenas como forma de controlo de qualidade dos resultados manuais. Os resultados obtidos pela aplicação das simplificações descritas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Síntese da área de cofragem dos elementos modelados

Cofragem	Unidades	Quantidade
Sapatas	m2	206
Vigas de Fundação	m2	161
Lajes	m2	1205
Vigas	m2	1021
Pilares	m2	292
Paredes	m2	1800
Subtotal - Superestrutura		4318
Total		4684

Tal como se verificou para a extração automática de volumes, os objetos escadas não reportam qualquer informação relativamente às superfícies dos elementos. As soluções que permitem contornar este problema são as mesmas que já foram apresentadas anteriormente, sendo importante acautelar para a necessidade de definir simplificações para o tratamento da informação em Excel, obtida através deste método.

A solução para a obtenção de quantidades de cofragem apresentada, é a mais automatizada possível, fornecendo por isso resultados apenas aproximados da estimativa real. Uma alternativa que permite aumentar consideravelmente a exatidão dos resultados, passa pela modelação dos elementos de cofragem. Uma vez que o objetivo que se pretende alcançar é apenas o de quantificar os elementos utilizados, a modelação destes elementos pode ser efetuada de forma muito simples, recorrendo a um LOD baixo. No entanto, esta solução não deixa sempre de implicar um aumento do esforço de modelação e de coordenação. Uma solução intermédia pode ser obtida recorrendo à possibilidade de introduzir informação extra no *Datagroup* dos elementos de betão modelados. Utilizando as vigas como exemplo, por serem os elementos que apresentam, em princípio, resultados menos satisfatórios, é possível adicionar a estes objetos um campo de informação relativamente à cofragem. Este campo estaria limitado à introdução de um valor predefinido, cujo objetivo seria o de fornecer informação ao utilizador, relativamente às quantidades a extrair para efeitos de contabilização de cofragem. Assim, é possível um objeto conter a informação “Automático” se a simplificação apresentada seja aceitável para quantificação da cofragem. Caso exista uma laje adjacente a uma das faces da viga, este problema poderia vir refletido neste campo: em vez de “Automático” o campo poderia conter a informação “Laje1”. Com o desenvolvimento desta metodologia podem ser abordados uma grande maioria dos casos encontrados normalmente num edifício, e o responsável pela extração de quantidades consegue, no Excel, filtrar os elementos problemáticos. Estes podem então ser quantificados através de um ajuste às simplificações descritas anteriormente, ou, no limite, podem ser contabilizados manualmente.

As metodologias apresentadas pretendem realizar a contabilização automática de quantidades de cofragem, recorrendo apenas às plataformas utilizadas. Contudo, é importante referir que, na conceção de BIM como uma metodologia baseada na interoperabilidade e na reutilização da informação, podem ser encontradas soluções mais adequadas, recorrendo a *softwares* próprios para esta tarefa específica. Devido ao contexto empresarial da presente dissertação esta opção não foi, no entanto, abordada.

5.4 Análise de conflitos

Uma das grandes vantagens da utilização de um modelo tridimensional está relacionada com a capacidade de visualização de toda a informação relativa ao empreendimento, numa só plataforma. Esta capacidade permite detetar problemas de intersecção de elementos de diferentes especialidades e resolver estes conflitos antes da fase de construção. Desta forma é possível encontrar soluções mais adequadas para os problemas, o que resulta num projeto de qualidade superior e com custos menos elevados.

Para o estudo dos problemas de compatibilidade entre elementos, o ABD contém uma ferramenta denominada *clash detection*. Esta ferramenta permite intersectar, no mesmo ficheiro, modelos de várias especialidades e detetar automaticamente situações de sobreposição entre elementos. No caso de estudo apresentado não existe informação relativamente a objetos que não sejam de betão armado. Contudo, esta ferramenta pode ser utilizada como forma de autocontrolo

relativamente à qualidade do modelo elaborado. Para efeitos de extração de quantidades os elementos modelados não podem apresentar sobreposições de material. É natural que, devido à complexidade de modelação em ambiente tridimensional, existam pequenos erros durante a elaboração do modelo, que não sejam facilmente detetados com uma simples inspeção visual. Neste sentido, e com o objetivo de demonstrar as capacidades de deteção automática de conflitos do ABD, foi realizado um *clash detection*, cuja aplicação está representada na Figura 59.

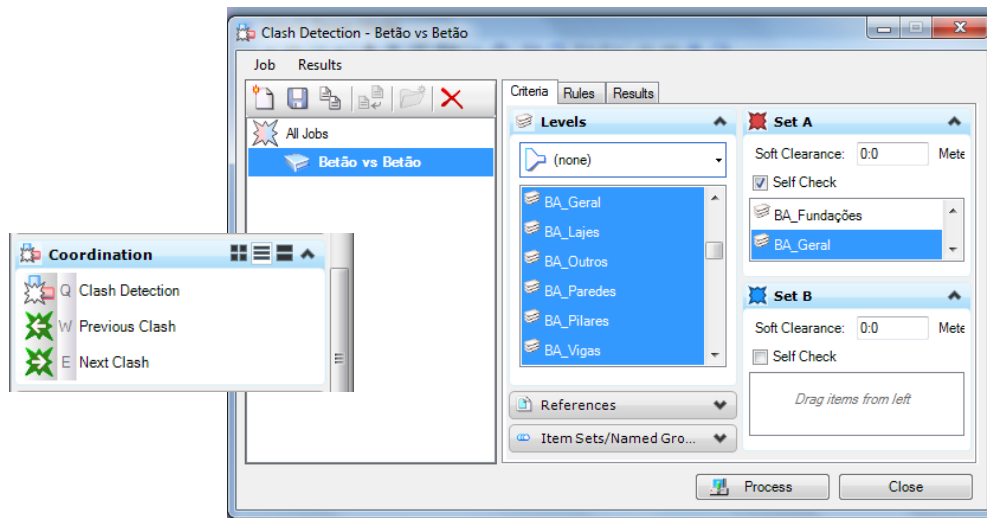


Figura 59 – Menu *clash detection* e representação da aplicação da ferramenta ao caso de estudo

Como se pode observar pela figura, a aplicação desta ferramenta passa por atribuir como *input* todos os elementos modelados num conjunto designado como *Set A*. Caso se pretenda realizar uma análise de conflitos entre o modelo apresentado e um outro ficheiro (com elementos relativos à arquitetura, tubagens, etc.), este pode ser introduzido no ambiente de modelação através da ferramenta *reference*. De seguida basta atribuir este ficheiro ao conjunto designado *Set B*. Desta forma os dois modelos são comparados entre si, localizando-se qualquer zona de conflito.

Para o caso de estudo é realizado apenas um *self check*, em que todos os objetos do *Set A* são comparados entre si, detetando zonas de sobreposição de material. A aplicação desta ferramenta resultou na deteção de 37 conflitos. Uma análise destes conflitos permite isolar os elementos problemáticos individualmente, colocados em evidência na Figura 60. A natureza de cada conflito permite identificar, neste caso de estudo, quatro conjuntos de problemas: um erro de modelação sistemático que resulta do cruzamento dos pilares do piso 0 do edifício B que atravessam a laje inferior até ao topo das sapatas; um conflito idêntico ao anterior mas referente aos pilares do edifício A; um conflito entre os objetos escadas que se sobrepõem nos patamares intermédios; e um grupo de conflitos pontuais entre vigas, vigas e pilares ou vigas e paredes.

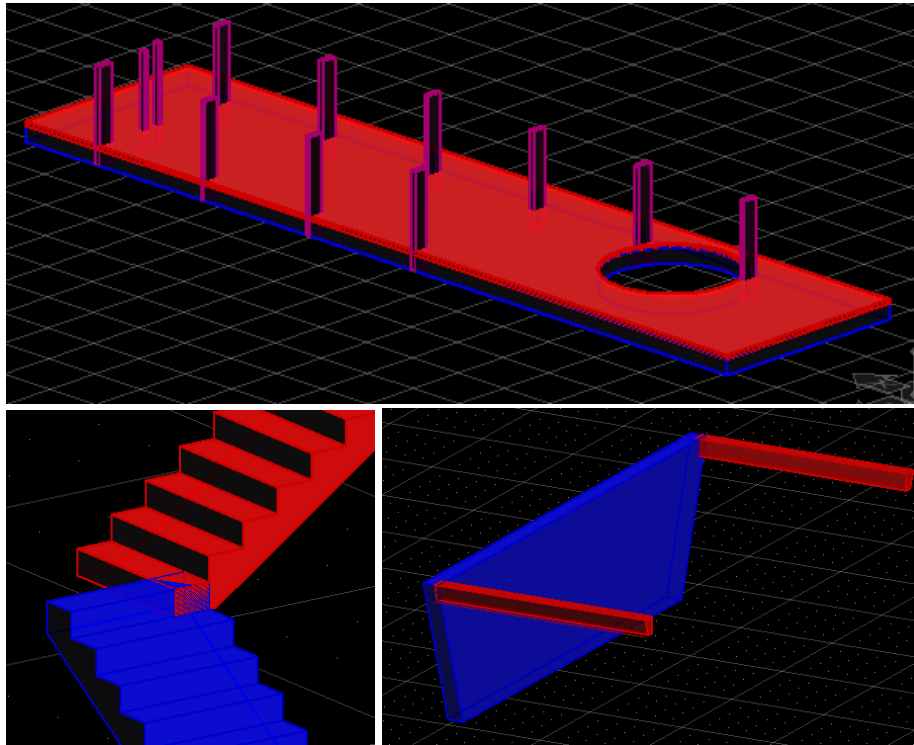


Figura 60 – Visualização em perspectiva de alguns dos conflitos identificados com a ferramenta *clash detection*

Após a identificação dos elementos em conflito, realizou-se uma alteração manual de forma a evitar a sobreposição de material. Relativamente a este processo importa destacar que, para o conflito entre os pilares e as lajes, é importante ter presente, as consequências que qualquer alteração irá provocar nos desenhos obtidos. Recordando a Figura 54 do item 5.1, os pilares estão representados a tracejado precisamente por atravessarem a laje. Caso se pretenda manter esta representação, o comprimento dos pilares deve ser mantido inalterado, modelando-se uma abertura na laje. Esta opção vai no entanto entrar em conflito com as regras de extração de quantidades anteriormente apresentadas, que estipulam que os pilares devem ser contabilizados entre as faces superiores das vigas ou lajes.

No seguimento das conclusões obtidas relativamente à extração de quantidades, podem ser adotadas duas soluções: as lajes são alteradas de forma a evitar a sobreposição com os pilares de forma a obter a visualização de forma correta, em detrimento da precisão das quantidades extraídas (sendo que o valor global dos volumes continua a ser o correto, existindo limitações apenas ao nível das quantidades discriminadas por objetos), ou se determina um *workaround*, dividindo o pilar em dois elementos com a mesma *part*, mas cuja nomenclatura permita, durante a extração de quantidades, eliminar o material em excesso que não deve ser contabilizado. No caso de estudo optou-se pela primeira solução, uma vez que o objetivo da presente secção é apenas o de demonstrar as capacidades de identificação de conflitos e a transmissão das atualizações entre o modelo e os elementos produzidos a jusante. Assim sendo, uma vez corrigidos os problemas apresentados, utilizou-se uma vez mais a ferramenta *clash detection*, observando-se a eliminação total dos conflitos identificados.

A aplicação do processo de extração de quantidades revelou que os resultados obtidos se mantiveram praticamente inalteráveis, verificando-se uma redução de 1m^3 de betão nos elementos do tipo Laje. Esta reduzida variação põe em evidência o facto de muitas das simplificações assumidas se revelarem adequadas, resultando em erros com uma ordem de grandeza de expressão reduzida no resultado final.

5.5 Desenhos de pormenorização de armaduras

Durante a apresentação do caso de estudo não foi introduzida qualquer informação no modelo relativamente a armaduras. Na realidade, o ABD não permite a modelação paramétrica deste tipo de elementos [4]. A integração do ABD num fluxo de trabalho que permita obter representações e quantidades de armaduras obriga à utilização de uma outra ferramenta da Bentley denominada *Integrated Structural Modeling* (ISM). Esta aplicação pretende realizar uma ligação entre os vários *softwares* da Bentley, permitindo utilizar o mesmo modelo paramétrico para realizar análises de elementos finitos no STAAD ou no RAM, ou pormenorizar os elementos de betão no ProStructures. Utilizando o ISM como ligação é possível por exemplo exportar o modelo paramétrico para os programas FEM da Bentley, realizar a análise estrutural, e devolver os resultados ao ABD. Este fluxo é em tudo semelhante ao que se procurou alcançar no presente trabalho. A vantagem do processo descrito está na capacidade tecnológica, limitada aos programas da Bentley, que permite ultrapassar muitos dos problemas de interoperabilidade que foram identificados. Parte da informação que o ISM devolve ao ABD diz respeito às necessidades de armaduras dos elementos, calculadas através dos *softwares* FEM. Por sua vez, o ABD processa essa informação permitindo a sua visualização nos desenhos extraídos.

Outro fluxo possibilitado por esta aplicação passa pela exportação do modelo paramétrico para o programa de pormenorização 3D da Bentley, o ProStructures. Neste *software* é possível realizar a pormenorização adequada (com base na informação obtida da análise FEM), e reportar desenhos automáticos e mapas de ferros. Nenhuma destas opções foi objeto de estudo na presente dissertação, uma vez que estes *softwares* não fazem parte das ferramentas disponíveis no ambiente empresarial em que o trabalho se insere. Contudo, é possível afirmar que este tipo de soluções, apresenta, regra geral, resultados que são pouco satisfatórios no que diz respeito à qualidade dos *outputs* produzidos. Este tipo de soluções (de pormenorização automatizada) está disponível no mercado já há algum tempo. A reduzida disseminação destes programas é sintomático das limitações que apresentam, na qualidade dos *outputs* produzidos.

Efetuada a exposição relativamente à obtenção automática de desenhos, e às várias ferramentas disponibilizadas pelo ABD, parece viável a integração destes resultados em processos clássicos de pormenorização em ambiente CAD. Contudo, devido à relevância que esta etapa apresenta, em termos de custos e volume de trabalho durante um projeto, é importante que, no futuro, sejam abordados métodos de integração deste tipo de ferramentas, nos processos obtidos no presente trabalho.

Capítulo 6 - Conclusões e trabalho futuro

6.1 Conclusões

As capacidades BIM disponibilizadas pelo ABD, e demonstradas no trabalho realizado, permitem uma elevada automatização dos processos associados à extração dos *outputs* normalmente produzidos durante o projeto de estruturas. No entanto, para uma adequada e eficaz aplicação das ferramentas apresentadas, é necessário desenvolver uma organização da informação que possibilite a aplicação das ferramentas de automatização, e que simultaneamente garanta o controlo sobre o resultado final. Considerando o fluxograma BIM proposto inicialmente, é possível concluir que:

- A integração entre o programa de modelação paramétrica e o programa de cálculo estrutural, com as ferramentas utilizadas no presente trabalho, não é eficazmente conseguida. As limitações encontradas podem ser ultrapassadas com novos avanços na área da informática, nomeadamente em relação aos formatos de transferência de informação. Verifica-se no entanto que é possível utilizar o modelo paramétrico como base para a criação do modelo analítico, reduzindo a necessidade de reproduzir informação;
- A capacidade de extração de desenhos a partir do modelo paramétrico facilita a gestão da informação do projeto e garante a conformidade entre os elementos projetados e a documentação gráfica. A redução da necessidade de atualização dos desenhos e a elevada qualidade dos *outputs* obtidos com o ABD aumenta consideravelmente a produtividade desta atividade e facilita a gestão da documentação gerada. Contudo, o elevado número de definições que controlam a obtenção dos elementos desenhados, juntamente com as limitações identificadas ao nível do desenho das armaduras, tornam o processo de extração complexo. É fundamental a criação de rotinas de trabalho e a definição de uma estrutura organizada de ficheiros que incremente a produção de telas finais e que permita a realização de operações CAD sem a perda dos automatismos BIM;
- A obtenção de quantidades de materiais é claramente uma propriedade que se revela mais eficiente tendo-se verificado algumas limitações pouco relevantes. O facto da informação obtida ser dividida por tipos de objetos permite a sua gestão na forma de tabela. Este formato é o mais adequado para a análise e manipulação deste tipo de informação. Contudo a correção dos resultados depende do processo de modelação, sendo necessário estabelecer um compromisso entre a produtividade da modelação, o grau de automatização dos processos e o rigor da informação obtida.

6.2 Proposta de Implementação

O trabalho desenvolvido permite demonstrar que, apesar de não ser possível a aplicação direta do fluxograma proposto, este pode ser simplificado, continuando a atingir-se uma melhoria considerável na produtividade dos processos de trabalho relacionados com o dimensionamento estrutural. Esta simplificação resultou na elaboração do fluxograma apresentado no Anexo 5, onde se

pretende acomodar as limitações identificadas ao longo do presente trabalho. A utilização do modelo paramétrico para o dimensionamento estrutural fica limitada a um fluxo de informação incompleto e unidirecional. Desta limitação resulta a impossibilidade da realização do processo iterativo inicialmente previsto, sendo necessário recorrer aos métodos não automáticos de trabalho, nomeadamente no que respeita à atualização do modelo BIM de acordo com os requisitos estruturais obtidos do programa FEA. Os processos inerentes à extração de desenhos e de quantidades de materiais apresentam igualmente algumas limitações, sobretudo relativamente às armaduras dos elementos de betão. É por isso necessário recorrer a sistemas de traçado computacional para realizar o processo de pormenorização das armaduras. Esta operação deve no entanto ser realizada sem prejuízo da automatização da atualização dos desenhos, obtidos do modelo BIM.

Os processos então expostos de uma forma genérica, devem ser elaborados tendo em conta as capacidades e limitações apresentadas ao longo do trabalho. Assim, e numa ótica de contribuição para o desenvolvimento e disseminação de processos BIM na Engenharia Civil, foi desenvolvido o organograma apresentado no Anexo 6. Esta estrutura propõe uma metodologia de organização dos vários elementos relativos ao ABD, de forma a potenciar as capacidades das ferramentas utilizadas.

A utilização de uma ferramenta BIM de modelação paramétrica, como o ABD, impõe a geração e a manutenção de uma biblioteca de objetos, acessível a vários colaboradores e portanto, utilizada na elaboração de vários empreendimentos em simultâneo. Assim, qualquer alteração que se verifique num determinado projeto, devido às suas especificações, é propagada pelos vários ficheiros ligados à biblioteca. Por este motivo cada empreendimento deve ser iniciado com uma biblioteca própria, afeta apenas ao projeto considerado. Este conjunto de informação deve ser atualizado e enriquecido com base no desenvolvimento dos distintos trabalhos. O processo de atualização dos elementos deve ser efetuado no final de cada projeto, na biblioteca global da empresa, de acordo com as conclusões que se retirem da experiência adquirida, sem afetar os restantes trabalhos já em curso.

Estabelecida a biblioteca, é possível passar à elaboração dos vários modelos BIM. A modelação da totalidade de um empreendimento, apenas num ficheiro não é sustentável. Esta abordagem torna insustentável a definição de objetivos para o modelo e reduz a produtividade do processo de modelação, uma vez que resulta forçosamente na alocação de (apenas) um elemento da equipa ao modelo. Por estes motivos, a metodologia mais adequada deve resultar na produção de vários modelos dentro da mesma especialidade. Desta forma é possível realizar a modelação em simultâneo de vários objetos, que posteriormente podem ser agrupados dentro de um repositório (utilizando a ferramenta *reference*). Para que os vários modelos sejam concordantes no que se refere à sua localização geográfica, é fundamental a definição de uma *seed file*, única e transversal a todos os ficheiros.

Os vários repositórios de informação podem, posteriormente, ser utilizados para a extração de quantidades de materiais, coordenação espacial e extração automática de desenhos, de acordo com os processos descritos no trabalho. Um dos objetivos do BIM está relacionado com o aumento da qualidade do projeto. Nesse sentido, a coordenação entre especialidades é uma etapa essencial para a deteção de incompatibilidades e auxílio ao planeamento. Para o efeito, e recorrendo uma vez mais à ferramenta *reference*, os vários modelos produzidos, internamente ou por colaboradores externos,

podem ser agregados num repositório geral com toda a informação do empreendimento. Neste ficheiro os vários elementos são comparados e as modificações a efetuar são compreendidas e aceites por todos.

O processo de alteração deve no entanto ser realizado nos modelos desagregados de forma a propagar todas as alterações aos elementos a jusante. A partir do repositório criado são extraídas as quantidades de materiais, e os desenhos. A informação extraída, relativamente às quantidades de materiais, é facilmente tratada através do Excel, permitindo elaborar de forma fácil e automática as listas de quantidades de trabalho, desde que a biblioteca e respetivas definições sejam estruturadas de forma correta. Os desenhos extraídos apresentam a garantia de conformidade com o modelo produzido, eliminando problemas de gestão da informação. Esta garantia é no entanto limitada aos elementos modelados, sendo necessário recorrer a métodos tradicionais CAD para o desenho e a extração de quantidades relativamente às armaduras. A desagregação dos desenhos no organigrama apresentado pretende disponibilizar os vários documentos 2D em ficheiros separados para o processamento manual deste tipo de informação. Desenvolvimentos futuros dos programas utilizados ou o recurso a softwares diferentes que não foram abordados, são situações que podem justificar a alteração da estrutura proposta.

6.3 Desenvolvimentos futuros

O estudo de ferramentas e métodos alternativos é essencial para a melhoria dos processos propostos. Numa primeira fase, o estudo mais pertinente a efetuar será a **utilização de programas de pormenorização de armaduras automáticos e a sua integração nos processos apresentados**. Este tipo de soluções contribui não só para um aumento de produtividade, como permite reduzir consideravelmente a necessidade de realizar um processamento CAD tradicional nos outputs BIM, melhorando a gestão da informação do projeto.

Outra área de investigação pertinente está relacionada com a **melhoria do algoritmo de análise cluster utilizado**. A produção de um código VBA que permita realizar uma análise *cluster* cujo método de controlo seja a distância entre os elementos (por oposição ao número de *clusters* a determinar), pode contribuir para o aumento de produtividade deste processo.

O ABD é um *software* de modelação paramétrica no sentido em que contém uma biblioteca de elementos que podem ser manipulados para servir as necessidades do projeto. Contudo, este programa não permite a criação de elementos paramétricos que não façam já parte desta biblioteca. Referem-se por exemplo a elementos de geometria mais complexa e que saem do âmbito das estruturas porticadas constituídas por lajes, vigas, pilares e paredes. Nesse sentido, o **estudo de ferramentas de produção de objetos paramétricos e a sua compatibilidade com programas de modelação** como o ABD, pode contribuir para o enriquecimento da biblioteca e reduzir problemas de transferência de informação. Este estudo pode também contribuir para a automatização do processo de extração de desenhos, uma vez que a representação bidimensional é uma das características mais importantes na parametrização de objetos. Alternativamente, o ABD permite a **aplicação de informação paramétrica (Datagroup e Parts) a objetos tridimensionais simples do Microstation**.

A utilização deste tipo de elementos pode aumentar consideravelmente a produtividade do processo de modelação, devendo por isso também ser objeto de estudos futuros.

Como se observou, a extração de quantidades de certos elementos, sobretudo no que diz respeito às cofragens, apresenta limitações na qualidade dos resultados obtidos. Por este motivo, **o estudo da interoperabilidade entre o ABD e programas com outras funções específicas** pode contribuir largamente para o aumento da qualidade dos resultados obtidos. Finalmente, o trabalho realizado centrou-se na aplicação de processos BIM tendo como objetivo o aumento da produtividade de um gabinete de projeto, sem ter sido realizada uma ligação às necessidades dos intervenientes externos como o empreiteiro ou o dono de obra. Sendo o BIM um processo colaborativo transversal a todas as equipas afetas ao projeto, **a integração das necessidades dos restantes intervenientes e o estudo dos processos de partilha de informação entre estes** é extremamente importante para o desenvolvimento do BIM em toda a indústria AEC.

O presente trabalho centrou-se na busca de ganhos em produtividade e gestão da informação ao nível interno de uma empresa. Esta opção foi tomada devido ao reduzido nível de implementação BIM no mercado nacional, o que dificulta o estudo de soluções colaborativas BIM de nível IV. A disseminação do BIM está dependente, por um lado, da concretização de evidências dos ganhos de produtividade destas metodologias para as empresas, e por outro, do aumento da necessidade de atualização dos vários atores da indústria. Espera-se que o presente trabalho contribua para esta primeira questão, aumentando o nível de conhecimento destas metodologias. Relativamente à necessidade de atualização dos atores, é necessário destacar a importância do dono de obra. Uma imposição nos cadernos de encargos dos vários projetos, da utilização de processos colaborativos BIM, é uma condição essencial para a implementação do BIM na indústria AEC. No entanto, o dono de obra necessita de encontrar motivações que resultem nesta imposição, nomeadamente melhorias no que diz respeito à gestão e manutenção das suas infraestruturas, ou reduções nos custos globais das empreitadas.

O recurso a metodologias BIM tem de ser apoiado numa forte componente tecnológica. Com a aplicação do algoritmo VBA efetuada no presente trabalho, e com o estudo realizado sobre a interoperabilidade entre o modelo BIM e o modelo FEM, compreende-se facilmente a importância da informática num processo BIM. A adaptação dos fluxos de trabalho tradicionais a esta nova maneira de trabalhar significa uma mudança de paradigma, na qual a Informática tem um papel fundamental. Neste sentido, uma empresa de Engenharia Civil com uma forte componente tecnológica, apresenta-se em condições muito mais favoráveis ao pleno desenvolvimento do trabalho colaborativo BIM.

Finalmente, a elaboração de normas e a standardização, a nível nacional ou comunitário, é essencial para a disseminação de metodologias BIM, estabelecendo uma plataforma comum de comunicação entre os vários intervenientes. Esta normalização deve ser acompanhada por uma revisão dos normativos legais em vigor no que diz respeito aos direitos e responsabilidades de cada interveniente, que devem ser mais propícios ao trabalho colaborativo.

A adoção de metodologias BIM significa uma alteração de paradigma na indústria AEC. Espera-se que a exposição efetuada contribua para a disseminação de processos BIM nas empresas do setor, demonstrando o impacto que estes podem ter e os possíveis contributos em termos de

qualidade e produtividade no projeto. Simultaneamente, é fundamental que fiquem claros os obstáculos naturais à implementação de um conceito tão abrangente, e fortemente dependente das capacidades tecnológicas disponíveis.

Referências Bibliográficas

Publicações

- [1] - Bell, H. et al. (2008) - *IFD Library White Paper*, Building SMART.
- [2] - Bentley (2014) – *Building Help, AECOSim Building Designer and Microstation Help Files*
- [3] - Bergin, M. S. (2011) – *History of BIM*, Architecture Research Lab, Disponível em: <http://www.architectureresearchlab.com/arl/2011/08/21/bim-history/>
- [4] - Davies, N. (2012) – *Practical Architectural modelling with AECOSim Building Designer*, Bentley Institute Press
- [5] - Dias, L. A. (2012) – *Organização e Gestão de Obra*, Apontamentos de aula, Instituto Superior Técnico
- [6] - Eastman, C. (1975) – *The use of computers instead of drawings in building design* – Publicação, AIA Journal
- [7] - Eastman, C. et al. (2011) – *BIM Handbook, a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons Inc.
- [8] - Fonseca, M. S. (2008) – *Regras de Medição na Construção*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- [9] - Goldstein, B. M. et al. (1998) *A Brief History of Early Product Data Exchange Standards*, U.S. Department of Commerce, Disponível em: http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=20801
- [10] - Jernigan, F. (2008) – *Big BIM little BIM: the practical approach to building information modeling: integrated practice done the right way*, 4SitePress
- [11] - Nielsen, A. K. et al. (2010) – *Structural Modelling and analysis using BIM tools*, The School of Civil Engineering, Aalborg University. Disponível em: <http://projekter.aau.dk/projekter/files/32688467/structuralmodelleringandanalysisusing-bim-tools.pdf>
- [12] - Parreira, J. P. (2013) - *Implementação BIM nos Processos Organizacionais em Empresas de Construção um caso de estudo*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [13] - Patacas, J. L. (2012) – *Metodologia para o Suporte de Processos Colaborativos na Indústria da Construção baseada em Interoperabilidade e BIM*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- [14] – Rosenberg, T. L. (2007) – *Building Information Modeling*, Roetzel & Andress. Disponível em: https://www.academia.edu/1283324/Building_Information_Modeling
- [15] - Schwartz, J. (2010) – *Building Information Modeling: Instructional interfacing information for SDS/2 Detailers*, Design Data Building Solutions, Disponível em: http://content.dsndata.com/docs/support/packages/BIMandSDS2_Issue_1.pdf
- [16] – Shaeffer R. E. (1992) – *Reinforced Concrete: Preliminary Design for Architects and Builders*, McGraw-Hill
- [17] - Silva, J. S. (2013) – *Princípios para o Desenvolvimento de Projetos com Recurso a Ferramentas BIM – Avaliação de melhores práticas e proposta de regras de modelação para projectos*

de estruturas, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

[18] - Smith, D. (2010) – *eOptimizing Performance and Profitability – Building Information Modeling*, BuildingSMART alliance.

[19] - Tarrafa, D. G. (2012) – *Aplicabilidade Prática do Conceito BIM em Projeto de Estruturas*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra.

[20] - Underwood, J. et al. (2010) – *Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies*, Information Science Reference IGI Global

[21] - Vasconcelos, T. (2010) – *Building Information Model – Avaliação do seu potencial como solução para os principais atrasos e desperdícios na construção portuguesa*, Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

[22] - Wix, J. et al. (2010) – *Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods*, buildingSMART

Sites:

[23] - American Institute of Architects: <http://www.aia.org/> consult. em 05-03-2015

[24] - American Institute of Steel Construction: <http://www.aisc.org/content.aspx?id=26044> consult. em 06-03-2015

[25] - ANGL: <http://anglconsulting.com/greatest-risk/> consult. em 27-03-2015

[26] - Architecture Engineering and Construction, AECbytes: <http://www.aecbytes.com/feature/2012/Global-BIM.html> consult. em 06-03-2015

[27] - Autodesk: <http://knowledge.autodesk.com/support/revitproducts/learnexplore.html> consult. em 27-03-2015

[28] - Autodesk: http://www.autodesk.com/products/robotstructuralanalysis/overview?_ga=1.107733056.332955216.1427113282 consult em 20-05-2015

[29] - Autodesk: <http://www.autodesk.pt/products/autocad/overview> consult. em 20-05-2015

[30] - Autodesk: <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview> consult. em 20-05-2015

[31] - Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/vault-family/overview> consult. em 20-05-2015

[32] - Autodesk : http://images.autodesk.com/adsk/files/acad_dxf0.pdf

[33] - Autoridade Nacional de Comunicações: http://www.anacom.pt/streaming/anexo2_analise_clusters.pdf?contentId=1070331&field=ATTACHED_FILE consult. 07-05-2015

[34] - Bentley: <http://www.bentley.com/en-US/Products/STAAD.Pro/> consult. em 20-05-2015

[35] - Bentley: <http://www.bentley.com/enUS/Products/RAM+Structural+System/> consult. em 20-05-2015

[36] - Bentley: <http://www.bentley.com/enUS/Products/microstation+product+line/> consult. em 20-05-2015

- [37] - Bentley: <http://www.bentley.com/enUS/Products/AECOsims+Building+Designer/> consult. em 20-05-2015
- [38] - Bentley: <http://www.bentley.com/enUS/Products/projectwise+cloud+collaboration/> consult. em 20-05-2015
- [39] - BIMclub: <http://bimclub.pt/index.html> consult. Em 24-11-2014
- [40] - BIMforum: <http://bimforum.com.pt/> consult. Em 24-11-2014
- [41] BIMserver: <http://bimserver.org/> consult. em 20-05-2015
- [42] – BIMTaskGroup: <http://www.bimtaskgroup.org/>
- [43] - buildingSMART organization: <http://www.buildingsmart-tech.org/> consult. Em 03-05-2015
- [44] - buildingSMART: <http://www.en.buildingsmart.kotisivukone.com/3> consult. Em 05-03-2015
- [45] - buildignSMART: <http://www.buildingsmarttech.org/ifc/IFC2x4/beta1/html/ifcsharedbldglements/lexical/ifcwall.htm>
- [46] - Collaborative Design Education using BIM: <http://codebim.com/resources/history-of-building-information-modelling/> consult. 31-03-2015
- [47] - Computer World: <http://www.computerworld.com/article/2593623/apdevelopment/application-programming-interface.html>
- [48] - Computers & Structures Inc: <http://www.csiamerica.com/products/sap2000> consult. em 20-05-2015
- [49] - Computers & Structures Inc: <https://wiki.csiamerica.com/display/sap2000/Import+CIS2+into+SAP2000> consult. em 10-01-2015
- [50] - Computers & Structures, Inc: <https://wiki.csiamerica.com/download/attachments/9535879/IGES%20import%20and%20export.pdf?version=1&modificationDate=1337970835059&api=v2>
- [51] - Computers & Structures, Inc: <https://wiki.csiamerica.com/display/kb/Frame+properties+in+database+tables>
- [52] - Computers & Structures, Inc: <https://wiki.csiamerica.com/display/sap2000/Import+IFC+into+SAP2000>
- [53] - Computers & Structures, Inc: <https://wiki.csiamerica.com/display/sap2000/Import+DXF+into+SAP2000> consult. 26-03-2015
- [54] - Computers & Structures, Inc: <https://wiki.csiamerica.com/display/sap2000/Import+DWG+into+SAP2000> consult. 26-03-2015
- [55] - Construction Architecture and Design: <http://www.cadaddict.com/2013/02/listofexisting-bim-standards.html>
- [56] - COREnet: https://www.corenet.gov.sg/integrated_submission/bim/BIM_Guide.htm consult. em 05-03-2015
- [57] – Daniel Davies: <http://www.danieldavis.com/macleamy/>
- [58] – Graphisoft: <http://www.graphisoft.com/archicad/> consult. em 20-05-2015
- [59] - Infrarati: <https://infrarati.wordpress.com/2013/06/19/datacentersblendingbimdcimcmdb-etc/>

- [60] – InnoVaaxis: http://innovaaxis.blogspot.pt/2014_08_01_archive.html
- [61] - International Organization for Standardization: <http://www.iso.org/iso/home.html> consult. em 22-05-2015
- [62] - National Institute of Standards and Technology: <http://www.nist.gov/el/msid/infotest/stee-lvis.cfm> consult. em 06-03-2015
- [63] - Neilson: <http://www.neilson.co.za/k-means-cluster-analysis-in-microsoft-excel/>
- [64] - Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção: <http://www.ptpc.pt/> consult. em 24-11-2014
- [65] - PraticalBIM: <http://practicalbim.blogspot.pt/2013/06/ifcwhatisitgoodfor.html> consult. em 22-05-2015
- [66] - Shoegnome: <http://www.shoegnome.com/2013/01/31/therearefourbimflavors/> consult. 27-03-2015
- [67] - Shoegnome: <http://www.shoegnome.com/2013/02/05/primarybenefitsofbim/> consult. em 27-03-2015
- [68] - Solibri: <http://www.solibri.com/products/solibri-model-viewer/> consult. em 20-05-2015
- [69] - Tekla: <https://campus.tekla.com/forum/news/4bimfactsstructuralengineersshouldtake-look-at> consult. em 06-03-2015

Anexos

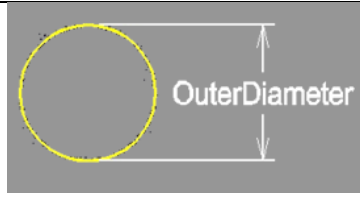
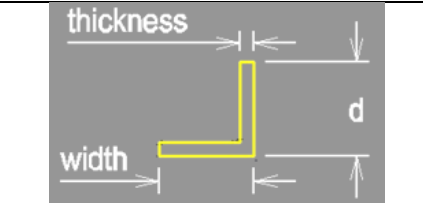
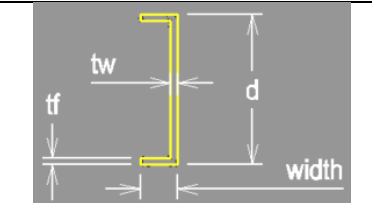
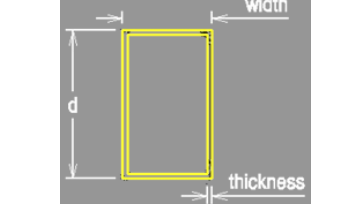
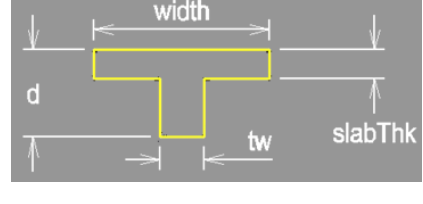
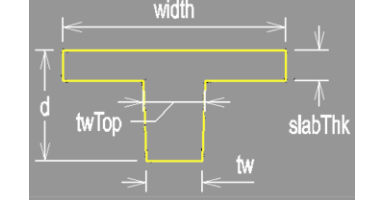
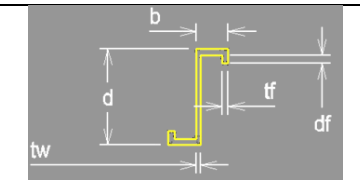
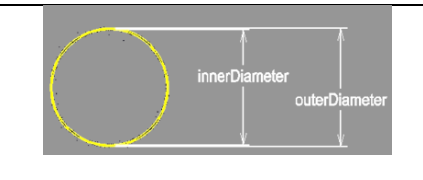
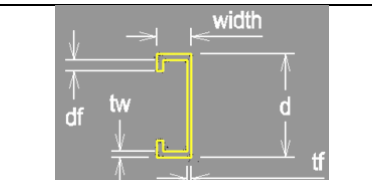
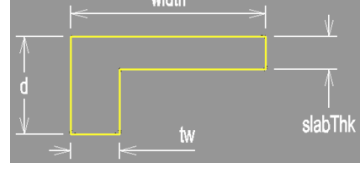
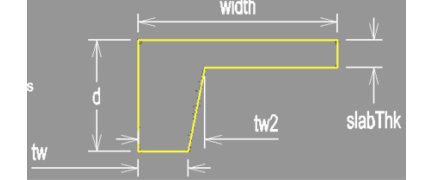
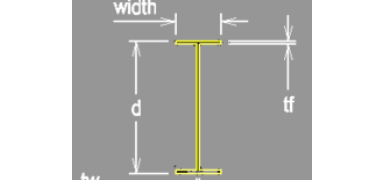
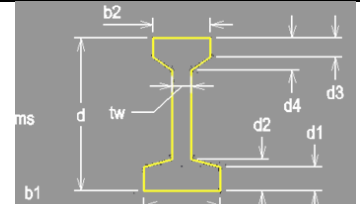
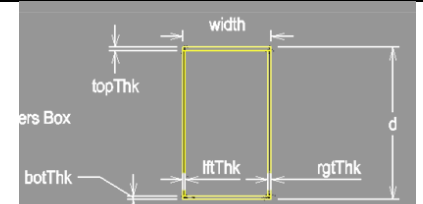
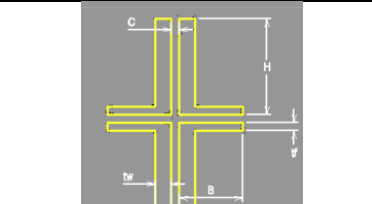
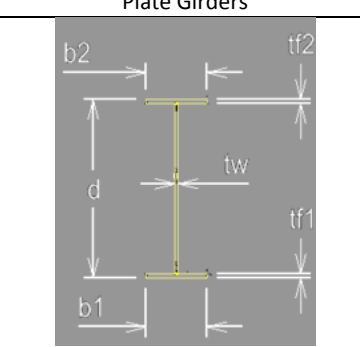
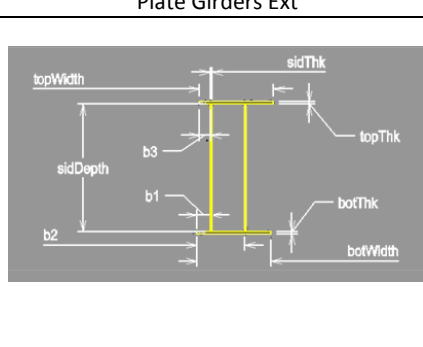
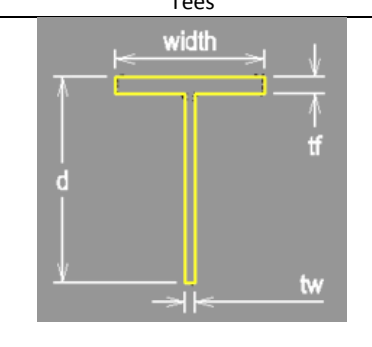
Anexo 1 – Listagem de softwares com certificação IFC

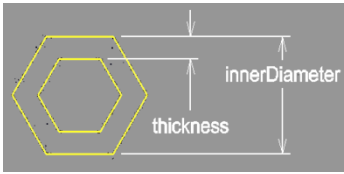
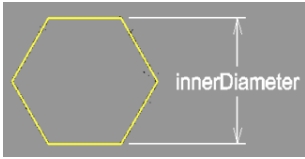
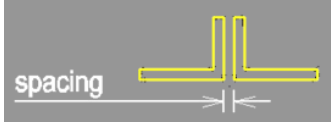
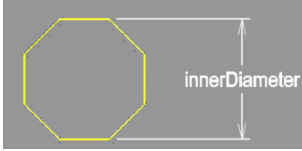
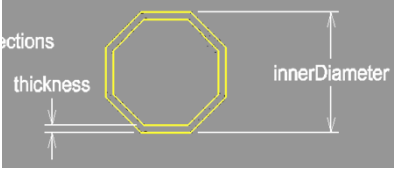
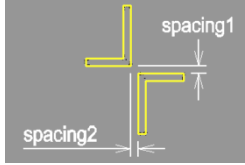
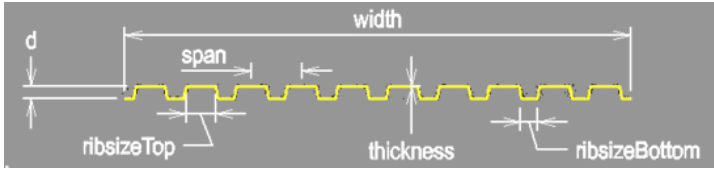
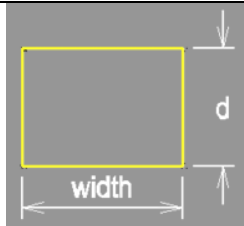
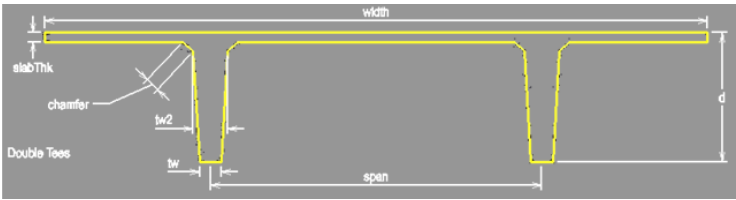
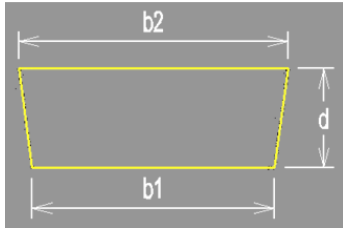
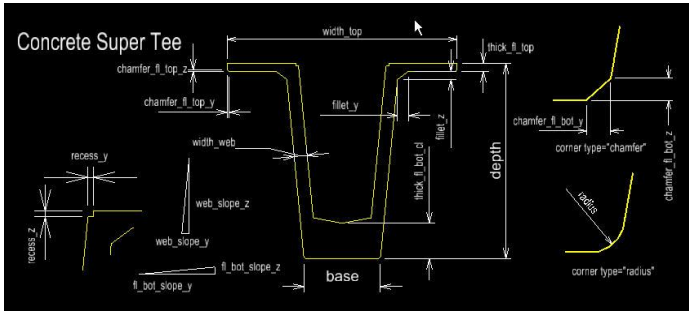
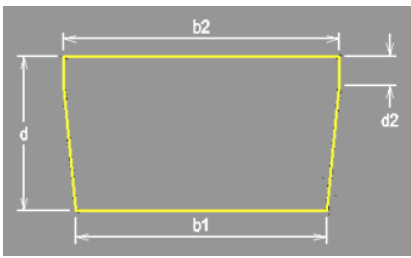
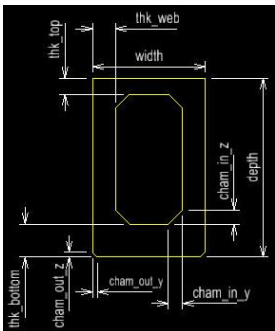
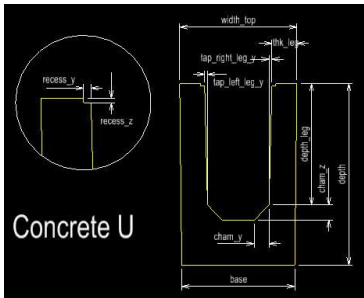
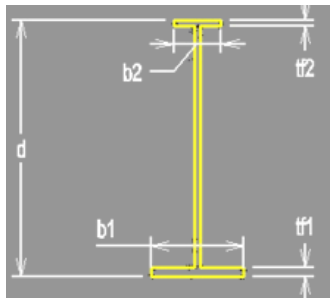
Participants of the official building SMART IFC2x3 Coordination View Certification Process				
Software Developer	Software Application	Exchange Requirement	Export/Import	Status
4Projects Ltd.	4Projects	-	Import	In progress
Aconex BIM Cloud	Aconex	-	Import	In progress
Archimen	Active3D	-	Import	In progress
Autodesk	Advanced Steel	Structural	Export	In progress
Autodesk	AutoCAD Architecture	Architecture	Import & Export	Export: certified Import: in progress
Autodesk	AutoCAD MEP	BuildingServices	Export	In progress
Autodesk	Revit Architecture	Architecture	Import & Export	Export: certified Import: in progress
Autodesk	Revit MEP	BuildingService	Import & Export	Export: certified Import: in progress
Autodesk	Revit Structure	Structural	Import & Export	Export: certified Import: in progress
Autodesk	Revit LT	Architecture	Import & Export	Export certified Import: in progress
Bentley Systems	AECOSim Building Designer	Architecture, BuildingService, Structural	Import & Export	Certified
Cad-Quality	CADiE Sähäkkä	-	Import	In progress
DICAD Systeme GmbH	STRAKON	-	Import	In progress
Data Design System	DDS-CAD MEP	BuildingService	Export	Certified
Design Data	SDS/2	Structural	Import & Export	Export: certified Import: in progress
Dlubal Software GmbH	RFEM/RSTAB	-	Import	Certified

Participants of the official building SMART IFC2x3 Coordination View Certification Process

Software Developer	Software Application	Exchange Requirement	Export/Import	Status
ETU Software GmbH	HottCAD 4	-	Import	In progress
FirstInVision	CasCADos / P3cad	Architecture	Import & Export	In progress
Gehry Technologies	Digital Project	Architecture	Import & Export	In progress
Glodon Software	Glodon Takeoff for Architecture and Structure	Architecture, Structural	Import & Export	Import: certified Export: in progress
Graphisoft	ArchiCAD	Architecture	Import & Export	Certified
International Training Institute ITI	Benchmark	BuildingService	Export	In progress
Kymdata Oy	CADS Planner	BuildingService	Export	In progress
NEMETSCHKE Allplan	Allplan	Architecture	Import & Export	Certified
NEMETSCHKE BIM+	BIM+	-	Import	In progress
NEMETSCHKE, Vectorworks, Inc.	Vectorworks	Architecture	Import & Export	Certified
NEMETSCHKE Scia	Scia Engineer	Structural	Import & Export	Certified
Progman	MagiCad	BuildingService	Export	In progress
RIB	Arriba CA3D	Architecture	Export	In progress
RIB	iTWO	-	Import	Certified
Seokyoung Systems	NaviTouch	-	Import	Certified
Solibri	Solibri Model Checker	-	Import	Certified
Solideo Systems	ArchiBIM Server	-	Import	Certified
Tekla	Tekla Structures	Structural	Import & Export	Certified
think project!	think project! Collaboration cloud	-	Import	In progress
Trimble Germany	Plancal nova	BuildingService	Import & Export	Export: certified Import: in progress
VIZELIA	Facility on line	-	Import	In progress

Anexo 2 – Secções disponíveis na biblioteca do ABD e respetiva parametrização

<p>Solid Rounds</p>  <p>OuterDiameter</p>	<p>Angles</p>  <p>thickness width d</p>	<p>Channels</p>  <p>tf tw d width</p>
<p>Rectangular Hollow Section</p>  <p>width d thickness</p>	<p>Concrete Tees</p>  <p>width d tw slabThk</p>	<p>Concrete Tapered Tees</p>  <p>width d twTop tw slabThk</p>
<p>Zees</p>  <p>b d tf tw df</p>	<p>Circular Hollow Sections</p>  <p>innerDiameter outerDiameter</p>	<p>Channels with Stiffened Flanges</p>  <p>width d tf tw df</p>
<p>Concrete EII</p>  <p>width d tw slabThk</p>	<p>Concrete Tapered Ells</p>  <p>width d tw2 slabThk</p>	<p>I-Shapes</p>  <p>width d tf tw</p>
<p>Precast I Beams</p>  <p>b2 ms d tw d2 d1 d3 d4 b1</p>	<p>Plate Girders Box</p>  <p>width topThk botThk leftThk rightThk d</p>	<p>Korean Stared</p>  <p>H B tw</p>
<p>Plate Girders</p>  <p>b2 tf2 tw d tf1 b1</p>	<p>Plate Girders Ext</p>  <p>topWidth sideThk topThk sideDepth bottomThk bottomWidth b1 b2 b3</p>	<p>Tees</p>  <p>width d tf tw</p>

<p>Hexagon Hollows</p> 	<p>Hexagons</p> 	<p>Double Angles</p> 
<p>Octagons</p> 	<p>Octagon Hollows</p> 	<p>Stared Double Angles</p> 
<p>Roof Decks</p> 		<p>Rectangular Shapes</p> 
<p>Double Tees</p> 		<p>Trapezoids</p> 
<p>Concrete Super Tees</p> 		<p>Tapered Web Rectangles</p> 
<p>Concrete Boxes</p> 	<p>Concrete U Shapes</p> 	<p>Asymmetric Beams</p> 

Anexo 3 – Tabela síntese dos formatos de transferência de informação entre o AECOSim Building Designer e o SAP2000

Extensão	Designação	Tipo de Informação	Tipo de Formato	AECOSim Building Designer V8i SS5		SAP2000 v.16	
				Importação	Exportação	Importação	Exportação
.h	Hidden Line	CAD	Nativo	X			
.hln	Visible Edges	CAD	Nativo		X		
.svg	Scalable Vector Graphics	CAD e Animação	Transferência		X		
.3dm	OpenNurbs - Rhino	CAD e Geometria 3D	Nativo	X			
.dwg	DraWinG	CAD e Geometria 3D	Nativo	X	X	X	X
.dxf	Drawing eXchange Format	CAD e Geometria 3D	Transferência	X	X	X	X
.igs	Initial Graphics Exchange Specification	CAD e Geometria 3D	Transferência	X	X	X	X
.stl	STereoLithography	CAD e Geometria 3D	Nativo	X	X		
.sat	Standard ACIS Text	CAD, Geometria 3D e Animação	Nativo	X	X		
.dgn	DesiGN	CAD, Geometria 3D e Informação Paramétrica	Nativo	X	X		
.jt	JT File	CAD, Geometria 3D e Metadados	Nativo/Transferência	X	X		
.cgm	CGM - Computer Graphics Metafile	CAD, Raster e Texto	Transferência	X	X		
.fbx	FilmBoX	Conteudos Digitais	Nativo/Transferência	X	X		
.obj	Object File	Geometria 3D	Nativo/Transferência	X	X		
.skp	SketchUp	Geometria 3D	Nativo	X	X		
.u3d	Universal3D	Geometria 3D	Transferência		X		
.wrl	Virtual Reality Modeling Language	Geometria 3D	Transferência		X		
.x_t	Parasolid XMT	Geometria 3D	Nativo		X		
.x	Parasolid XMT	Geometria 3D	Nativo	X			
.sdn	Steel Detailing Neutral File	Geometria 3D e Informação Analítica	Transferência			X	X
.cel	MicroStation Cell Libraries	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Nativo	X			
.d	TriForma DocumentFile	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Nativo	X			
.dat	SDNF - Steel Detailing Neutral File	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Transferência		X	X	
.dgnlib	DGB Library Files	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Nativo	X	X		
.exr	Revit Structure	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Nativo			X	X
.ifc	IFC2x3 Architectural Coordination View	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Transferência	X	X	X	X
.ifc	IFC2x3 Facilities Management Handover	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Transferência	X	X		
.ifc	IFC4 Architectural Coordination View	Geometria 3D e Informação Paramétrica	Transferência			X	X

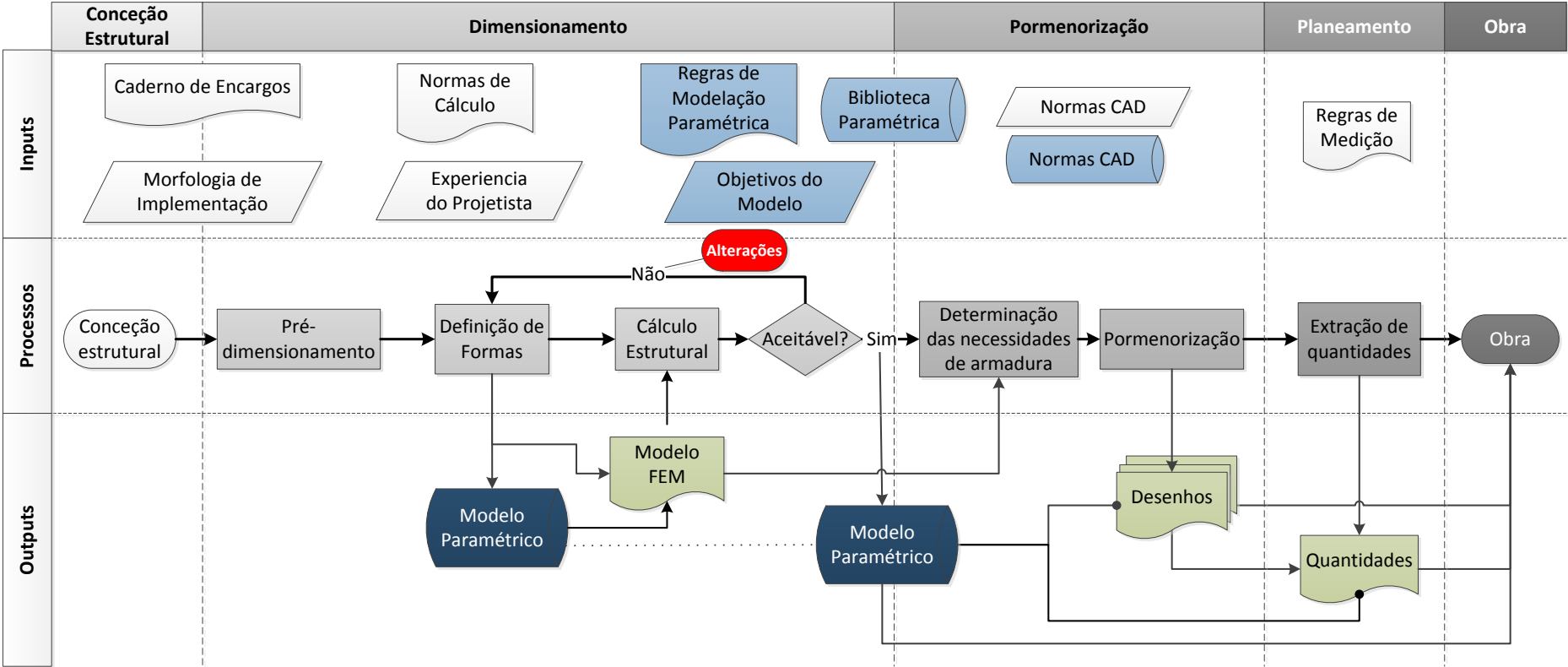
Extensão	Designação	Tipo de Informação	Tipo de Formato	AECOsim Building Designer V8i SS5		SAP2000 v.16	
				Importação	Exportação	Importação	Exportação
.stp	CIS/2 design	Geometria 3D e Metadados	Transferência	X	X		
.stp	CIS/2 manufacturing	Geometria 3D e Metadados	Transferência	X	X		
.dae	Collada - Collaborative Design Activity	Geometria 3D e Renderização	Nativo/Transferência		X		
.3ds	3D Studio	Geometria 3D, Animação e Renderização	Nativo/Transferência	X			
.lxo	luxology	Geometria 3D, Animação e Renderização	Nativo		X		
.tif	Raster Files	Imagens e Informação 2D	Transferência	X			
.gti	Strudl	Informação Analítica	Nativo			X	
.gwb	OasysGSA	Informação Analítica	Nativo	X	X		
.mdb	SAP2000 MS Access Database	Informação Analítica	Nativo			X	X
.mdb	ProSteel Database	Informação Analítica	Nativo			X	
.rss	RAM Structural System	Informação Analítica	Nativo	X	X		
.s2k	SAP2000 textfile	Informação Analítica	Nativo			X	X
.sfc	Frameworks Plus	Informação Analítica	Nativo			X	X
.std	STAAD	Informação Analítica	Nativo	X	X	X	
.tel	Sframe	Informação Analítica	Nativo	X	X		
.stp	CIS/2 analysis	Informação Analítica e Metadados	Transferência			X	X
.ifc	IFC2x3 Structural Analysis View	Informação Analítica e Paramétrica	Transferência			X	X
.ifc	IFC4 Structural Analysis View	Informação Analítica e Paramétrica	Transferência			X	X
.kml	Google Earth File - Keyhole Markup Language	Informação Geoespacial	Nativo		X		
.kmz	Google Earth File - KML Zipped	Informação Geoespacial	Nativo		X		
.shp	Shapefiles	Informação Geoespacial	Transferência	X			
.tab	MapInfo TAB	Informação Geoespacial	Nativo	X			
.s	sheet files	Metadados	Nativo	X			
.xls	SAP 2000 MS Excel Spreadsheet	Metadados	Nativo			X	X
.xml	eXtensible Markup Language	Metadados	Transferência	X			
.xml	eXtensible Markup Language - LandXML	Metadados	Transferência	X			
.rdl	Microstation Redline File	Referências	Nativo	X	X		
.mif	MapInfo Interchange Format	Texto e Formatação Gráfica	Transferência	X			

Anexo 4 – Resultados dos processos de transferência de informação via STAAD e IFC

Tipo de Elemento	Processo de Modelação					Classificação da Transferência			
	Ferramenta proprietária	Características Geométricas	Workarround	GUID	Notas	Classificação		Notas	
						IFC	STAAD	IFC	STAAD
Carregamento	Sim		-			0	2		O carregamento é transferido quase na perfeição, incluindo Load Patterns, Load Cases e Load Combinations.
Condições de Fronteira	Sim		-			0	3		Apenas foram testadas condições limite: encastramentos e apoios simples.
Coordenadas	Sim		-			3	3		
Material	Sim		-			0	2		É criado um material para os elementos lineares to tipo concrete com as definições adequadas e editáveis, e outro material do tipo other para os elementos planos, não editável.
Frame	Sim	Secção constante	-	-	A secção pertence à structural worksheet; Situação geral	1	2	É criada uma secção por cada frame, independentemente de estas partilharem as dimensões	É necessário apenas ajustar os normas das secções
Frame	Sim	Secção constante	-	E0DAFA56-9D34-42DB-9D16-6F3D728C338C	A secção foi adaptada da structural worksheet, aplicando uma rotação em torno do seu eixo	1	0	Perde-se a geometria correta da secção	
Frame	Sim	Secção Variável	-	D8E1DA2B-5120-4F44-8FD3-613666DEF8C5		1	2	Não se consegue manter a informação de que o elemento é de secção variável	Não se consegue manter a informação de que o elemento é de secção variável
Frame	Não	Secção Constante	Aplicação de um corte	0B66F2C5-2429-413C-A675-16D57A1CB8FB	A secção da frame é obtida cortando uma secção de dimensões superiores	1	2	O corte não é transferido	O corte não é transferido
Frame	Não	Secção Constante	Utilização das ferramentas de modelação 3D não paramétricas	71DCDF05-4963-4444-A3C7-B1E1B6D162DA		0	0		

Tipo de Elemento	Processo de Modelação					Classificação da Transferência			
	Ferramenta proprietária	Características Geométricas	Workarround	GUID	Notas	Classificação		Notas	
						IFC	STAAD	IFC	STAAD
Laje	Shape	Retangular	-		Situação geral	2	1		É criada uma secção para cada laje, independentemente delas partilharem as mesmas dimensões
Laje	Shape	Irregular	-	B08285A3-1384-494E-ADE8-9731049E3CC3		2	0		A laje transferida perde vértices, transformando-se num retangulo regular
Laje	Boundary	Irregular	-	114BDA49-C500-4474-B5D7-F7F27189BE24		0	0		
Laje	Flood	Irregular	-	68C8281D-6D6F-465F-ABC9-6A7B139443AD	A laje contem arestas que não são retas	0	0		
Laje	Shape e Abertura	Retangular com Abertura	-	7F768C1C-0596-4965-9D88-B7C09E9F63C3		0	0		A abertura é ignorada
Parede	Sim	Retangular	-		Situação geral	2	0		É necessário exportar o modelo analítico, algo que não é possível criar para as paredes
Parede	-	Trapezoidal	-	0CFF2A98-9BCD-408E-BA8C-A59810BE9529	A parede foi criada aplicando um corte a uma parede modelada com a ferramenta do sistema	1	0	Perde-se a informação relativamente ao corte	É necessário exportar o modelo analítico, algo que não é possível criar para as paredes
Parede	Não	Trapezoidal	Utilização das ferramentas de modelação 3D não paramétricas	D582F750-07B3-4408-83C3-3ECCABADBDBA		0	0		É necessário exportar o modelo analítico, algo que não é possível criar para as paredes
Parede	Sim	Curva	-	4EFEB0BB-8DCA-496C-BA26-7C45BD545320		0	0	A parede é reduzida a uma parte rectangular de comprimento igual ao raio de curvatura	É necessário exportar o modelo analítico, algo que não é possível criar para as paredes
Escadas	Sim		-			0	0		

Anexo 5 – Fluxo de trabalho BIM validado



Anexo 6 – Estrutura de ficheiros do processo BIM via AECOsim Building Designer

