



**João Pedro de Castro Parreira**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Implementação BIM nos processos organizacionais em empresas de construção – um caso de estudo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor João Carlos Gomes Rocha de Almeida

Arguente: Prof. Doutor António Aguiar Costa



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março de 2013**





**João Pedro de Castro Parreira**

Licenciado em Engenharia Civil

## **Implementação BIM nos processos organizacionais em empresas de construção – um caso de estudo**

Dissertação para obtenção do Grau Mestre em  
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Nuno Cachadinha, Professor Doutor, FCT-UNL



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Março de 2013**



‘Copyright’ João Pedro de Castro Parreira, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor



## **AGRADECIMENTOS**

Esta dissertação de mestrado reuniu um grande número de contributos e apoios. Para tornar este trabalho possível participaram várias entidades, colegas de profissão, familiares e amigos. Os quais, gostaria de destacar:

O Professor Doutor Nuno Cachadinha, por ter aceitado ser o orientador desta tese e com isso ter dedicado muitas horas de apoio e incentivo.

Os colegas da empresa Urban360, José Clemente e Pedro Pina. Só recorrendo à sua competência, conhecimentos e disponibilidade para trabalhar em equipa, foi possível realizar o trabalho de modelação BIM em tão curto espaço de tempo.

Toda a equipa de mestrados Francisco Martins, João Belas, João Grazina, João Patacas, Paulo Tabor-da, Pedro Berto e Pedro Gomes, que se revelaram um apoio importante e de grande companheirismo.

À empresa Stap e aos seus profissionais (Eng.º Vítor Cóias, Eng.º José Costa, Eng.º Frederico Lopes, Sr. João Cruz, Sr. José Papança e Sr. José Ricardo) por terem acreditado neste trabalho e colaborado ativamente no seu desenvolvimento e execução prática.

Por fim a todos os amigos e familiares, que se viram privados em alguns momentos da minha presença para dedicar-me em exclusivo à dissertação e que mesmo assim, mostraram o seu apoio incondicional.





## RESUMO

No decorrer dos tempos, a indústria da construção tem sido desafiada com projetos cada vez mais dinâmicos, complexos e exigentes ao nível dos custos e prazos. O método tradicional de gestão da construção já não é suficiente para garantir, de forma eficiente, o cumprimento das exigências da indústria. O *Building Information Modeling* (BIM) permite a mudança deste paradigma, na busca de maior produtividade e competitividade das várias partes interessadas da indústria AEC.

Atualmente é fundamental que as empresas incluam a tecnologia BIM no seu planeamento estratégico, já que se prevê, num futuro próximo, alterações profundas na legislação do sector e nos métodos de gestão tradicionais. É assim de grande interesse o estudo desta tecnologia no sector empresarial e como as suas funcionalidades e potencialidades poderão interagir com outros processos organizacionais tradicionais.

Este trabalho propõe uma abordagem de implementação BIM em empresas de construção, tendo em conta a interoperabilidade organizacional ao nível dos processos internos, da troca de informação e dos sistemas de informação (SI) BIM ou tradicionais, tanto contabilísticos como de gestão da construção. Para suportar a integração BIM, é apresentado um mapeamento tipo *Business Process Modeling Notation* (BPMN) e realizada uma análise *Value Stream Mapping* (VSM), num caso de estudo, para comparação de dois cenários organizacionais diferentes, um que caracterizado pelo método tradicional (MT) utilizado nas últimas décadas e o outro pela tecnologia BIM.

Com o método proposto (MP), as alterações promovidas à estrutura organizacional da empresa resultaram em ganhos relevantes de eficiência nos principais processos operacionais de suporte ao planeamento e coordenação, deteção de conflitos, orçamentação, gestão das compras e fornecedores e controlo financeiro.

**Termos chave:** *Building Information Modeling*, Implementação BIM, Gestão da Construção, TIC, SI, AEC



## ABSTRACT

Currently the AEC industry has been challenged with projects progressively more dynamic, complex and demanding in terms of costs and deadlines. The traditional method of construction management is no longer sufficient, to effectively ensure compliance with industry requirements. BIM allows changing this paradigm, searching for greater productivity and competitiveness of the AEC industry stakeholders.

At the present time it is crucial that companies include BIM in their strategic planning, as expected, in the near future, major changes in the legislation of the sector and the traditional management methods. Therefore is of great interest to study this technology in the business sector and how its features and capabilities may interact with other traditional organizational processes.

This study proposes an approach to implement BIM in construction companies, taking into account organizational interoperability at the level of internal processes, exchange of information and information systems (IS) or traditional BIM, both accounting and construction management. To support the integration of BIM, it's presented a BPMN and a VSM analysis, with a case study for comparing two different organizational scenarios, one characterized by the traditional method used in recent decades and another integrating BIM technology.

With the proposed method, the changes made to the organizational structure of the company, resulted in significant efficiency gains in key operational processes to support planning and coordination, conflict detection, budgeting, purchasing and supplier management and financial control.

**Keywords:** *building information modeling*, BIM Implementation, Construction Management, IS, AEC



## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

2D – duas dimensões

3D – três dimensões

4D – 3D + tempo

5D – 3D + tempo + custos

AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção

AGCA - Associated General Contractors of America

ATLAS - Abbreviated Test Language for All Systems

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

BIM – Building Information Modeling ou Building Information Model

BPMN - Business Process Modeling Notation

CAD – Computer-Aided Design

CC – Conceção Construção

CCC – Conceção Concurso Construção

CIB - International Council for Research and Innovation in Building and Construction

CIC - Computer Integrated Construction Research Program

DO – Dono de Obra

ERP - Enterprise Resource Planning

IAI - International Alliance for Interoperability

IDM - Information Delivery Manual

IFC - Industry Foundation Classes

IPD - Integrated Project Delivery

IRMA - Inter-countries Research for Manufacturing Advancement

ISO - International Standards Organization

ISTforCE - Intelligent Services and Tools for Concurrent Engineering

MEP – Mechanical, Electrical and Plumbing

MQ – Mapa de Quantidades

MP – Método Proposto

MT – Método Tradicional

NBS - National Building Specification

NIBS - National Institute of Building Sciences

NIST - National Institute of Standards and Technology

PMBOK – Project Management Body of Knowledge

SIGE - Sistema Integrado de Gestão Empresarial

STEP - Standard for the Exchange of Product Model Data

TIC - Tecnologia de Informação e Comunicação

ToCEE - Toward a Concurrent Engineering Environment

VSM – Value Stream Mapping

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVAÇÃO.....	1
1.2. PROBLEMÁTICA .....	1
1.3. QUESTÃO CENTRAL DE INVESTIGAÇÃO.....	2
1.4. HIPÓTESES DE ESTUDO .....	3
1.5. OBJETIVOS .....	3
1.6. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	3
<b>2. ESTADO DO CONHECIMENTO .....</b>	<b>1</b>
2.1. ENQUADRAMENTO BIM.....	1
2.2. INTEROPERABILIDADE .....	4
2.3. MÉTODO TRADICIONAL DE GESTÃO DA CONSTRUÇÃO E MODELO BIM .....	6
2.4. PARTES INTERESSADAS CHAVE DA AEC .....	9
2.5. TIC TRADICIONAIS E BIM .....	10
2.5.1. <i>ArtSOFT</i> ® .....	11
2.5.2. <i>Autodesk</i> ® .....	12
2.5.3. <i>CCS - Candy</i> ® .....	12
2.5.4. <i>VICO SOFTWARE</i> ® .....	14
2.6. RETORNO DO INVESTIMENTO (ROI) .....	15
2.7. IMPLEMENTAÇÃO BIM .....	16
2.8. MAPEAMENTO DE FLUXO E VALOR – MFV OU <i>VALUE STREAM MAPPING</i> - VSM ...	19
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>21</b>
3.1. ESTRATÉGIA.....	21
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	21
3.3. BPMN .....	21
3.4. CASO DE ESTUDO .....	22
3.4.1. <i>Análise VSM</i> .....	22
3.4.2. <i>Modelo BIM</i> .....	23
3.4.3. <i>Metodologia de recolha de dados</i> .....	24
3.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	24
<b>4. MÉTODO PROPOSTO .....</b>	<b>25</b>
4.1. DESCRIÇÃO DO CASO DE ESTUDO .....	25

4.1.1.	<i>Estrutura organizacional da empresa</i> .....	25
4.1.2.	<i>Obra</i> .....	26
4.2.	MAPEAMENTO BPMN.....	28
4.2.1.	<i>Estado Presente</i> .....	29
4.2.2.	<i>Estado Futuro</i> .....	31
4.3.	IMPLEMENTAÇÃO DO MP EM CONTEXTO DE OBRA.....	36
4.3.1.	<i>Criação do Modelo BIM</i> .....	36
4.3.2.	<i>Análise VSM</i> .....	39
<b>5.</b>	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	<b>61</b>
5.1.	DISCUSSÃO DA GENERALIZAÇÃO DO MP .....	61
5.2.	MAPEAMENTO DOS PROCESSOS BPMN – MP .....	61
5.3.	UTILIZAÇÃO BIM. COMPARAÇÃO VSM ENTRE O MT E O MP .....	62
5.3.1.	<i>Modelação BIM</i> .....	63
5.3.2.	<i>Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas</i> .....	63
5.3.3.	<i>Compatibilização de projetos e deteção de conflitos</i> .....	63
5.3.4.	<i>Medições do projeto de execução e MQ</i> .....	64
5.3.5.	<i>Autos de Produção</i> .....	64
5.3.6.	<i>Esclarecimentos, erros e omissões</i> .....	65
5.3.7.	<i>Coordenação de subcontratados e pormenorização para aprovisionamento</i> ...	65
5.3.8.	<i>Aprovisionamento e notas de encomenda</i> .....	66
5.3.9.	<i>Atualização do Modelo (as-built)</i> .....	66
5.3.10.	<i>Controlo de alterações e análise de valor</i> .....	66
5.4.	CONDICIONANTES E LIMITAÇÕES ENCONTRADAS .....	67
5.5.	ROI.....	68
5.6.	TESTEMUNHOS .....	70
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>71</b>
6.1.	CONTRIBUIÇÕES DO ESTUDO .....	71
6.2.	LIMITAÇÕES DO ESTUDO .....	72
6.3.	FUTUROS CAMPOS DE PESQUISA .....	73
<b>7.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>75</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>79</b>



## ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 2.1 - COMPARAÇÃO ENTRE 2D E 3D BIM..	8
QUADRO 2.2 - LISTA DE APLICAÇÕES RELEVANTES PARA A DISSERTAÇÃO.	11
QUADRO 3.1 – PADRÃO DE TEMPOS DE DESPERDÍCIOS.	23
QUADRO 4.1 - USO BIM PARA O MP.	31
QUADRO 5.1 – RESUMO DE MELHORIAS NO FUNCIONAMENTO DOS DEPARTAMENTOS INTERNOS RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO MP.	67
QUADRO 5.2 – REQUISITOS MÍNIMOS DE <i>HARDWARE</i> DE UTILIZAÇÃO DA APLICAÇÃO <i>REVIT®</i> .	69
QUADRO 5.3 - ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DO MP FACE AO MT.	70



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - COMUNICAÇÃO NO (A) MODELO TRADICIONAL (ESQUERDA) E (B) MODELO BIM (DIREITA). . . . .	2
FIGURA 2.2 - ESQUERDA - ÍNDICE DE PRODUTIVIDADE NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO E EM OUTRAS INDÚSTRIAS. DIREITA - EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE MATÉRIAS-PRIMAS. . . . .	3
FIGURA 2.3 – VALOR DA DOCUMENTAÇÃO – COMPARAÇÃO ENTRE O MT E O MÉTODO BIM. . . . .	7
FIGURA 3.1- ESQUEMA DA ESTRATÉGIA SEGUIDA <i>ACTION RESEARCH</i> . . . . .	21
FIGURA 4.1- ESQUERDA – VISTA GERAL DO EDIFÍCIO DEVOLUTO. DIREITA – ALÇADO NORTE DO EDIFÍCIO DEVOLUTO, ZONA DA CHAMINÉ DE ALVENARIA DE PEDRA. . . . .	27
FIGURA 4.2 - ESQUERDA – DEMOLIÇÕES NO SEGUNDO PISO (PAREDES, PAVIMENTO E COBERTURA). DIREITA - ANTIGA ESTRUTURA DE MADEIRA DE SUPORTE DA CÚPULA. . . . .	27
FIGURA 4.3 - ESQUERDA – SUBSTITUIÇÃO DA ANTIGA ESCADA DE MADEIRA POR ESCADA METÁLICA. DIREITA - NOVA ESTRUTURA METÁLICA DE SUPORTE DA CÚPULA. . . . .	28
FIGURA 4.4 - ESQUERDA – FOSSO DO ELEVADOR. DIREITA - NOVA ESTRUTURA METÁLICA. . . . .	28
FIGURA 4.5 - BPMN - MAPA DE PROCESSOS PRÉ-BIM (INTRAORGANIZACIONAL) . . . . .	29
FIGURA 4.6 - BPMN - MAPA DE PROCESSOS PÓS-BIM (INTRAORGANIZACIONAL). . . . .	35
FIGURA 4.7 - IMAGENS DO MODELO BIM 3D FASE DE LEVANTAMENTO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. . . . .	36
FIGURA 4.8 - IMAGENS DO MODELO BIM 3D FASE DE DEMOLIÇÃO PARCIAL DO EDIFÍCIO EXISTENTE. LADO ESQUERDO ELEMENTOS A DEMOLIR. LADO DIREITO ELEMENTOS A MANTER. . . . .	36
FIGURA 4.9- IMAGENS DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. ESPECIALIDADE FUNDAÇÕES E ESTRUTURA. . . . .	37
FIGURA 4.10 - IMAGENS DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. ESPECIALIDADE ARQUITETURA. . . . .	37
FIGURA 4.11- IMAGEM DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. SISTEMAS AVAC. . . . .	38
FIGURA 4.12 - IMAGEM DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SERVIÇO DE INCÊNDIO. . . . .	38
FIGURA 4.13 - IMAGEM DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS DOMÉSTICAS E PLUVIAIS. . . . .	38
FIGURA 4.14 - IMAGEM DO MODELO BIM 3D FASE DE REABILITAÇÃO DO EDIFÍCIO EXISTENTE. INSTALAÇÕES ESPECIAIS. . . . .	39
FIGURA 4.15 - VSM DO ESTADO PRESENTE (PRÉ-BIM). . . . .	40
FIGURA 4.16 – CONFLITOS DETETADOS NO MT - ESQUERDA – PLANTAS SOBREPOSTAS DE ARQUITETURA E ESTRUTURA. DIREITA – INCONSISTÊNCIA ENTRE AS INFORMAÇÕES DO PROJETO RELATIVAMENTE À INCLINAÇÃO (2%) E A ALTURA DAS CAIXAS DE VISITA. . . . .	41

FIGURA 4.17 – ARTICULADO DO DONO DE OBRA - IMAGEM RETIRADA DO <i>SOFTWARE CANDY-CCS®</i> ...	42
FIGURA 4.18 – AUTO MENSAL DE QUANTIDADES PRODUZIDAS - IMAGEM RETIRADA DO <i>SOFTWARE CANDY-CCS®</i> .....	42
FIGURA 4.19 – CONFLITOS NÃO DETETADOS NO MT - TUBAGENS A SAIR FORA DA COBERTURA. ....	45
FIGURA 4.20 - VSM DO ESTADO FUTURO (PÓS-BIM).....	48
FIGURA 4.21 - INTERFACE DO <i>AUTODESK REVIT®</i> PREPARADO PARA INTERPRETAÇÃO GRÁFICA.....	50
FIGURA 4.22 - PORMENOR 3D DAS INSTALAÇÕES ESPECIAIS <i>AUTODESK REVIT®</i> . ....	50
FIGURA 4.23 – IMAGEM DO BROWSER DO <i>AUTODESK REVIT®</i> .....	51
FIGURA 4.24 - INTERFACE DO <i>AUTODESK REVIT®</i> DA FERRAMENTA DE DETEÇÃO DE COLISÕES.....	52
FIGURA 4.25 - INTERFACE DO <i>AUTODESK REVIT®</i> DA FERRAMENTA DE DETEÇÃO DE COLISÕES. ....	52
FIGURA 4.26 - INTERFACE DO <i>AUTODESK REVIT®</i> DA FERRAMENTA DE DETEÇÃO DE COLISÕES.....	53
FIGURA 4.27 - INTERFACE DO <i>AUTODESK REVIT®</i> DA FERRAMENTA DE DETEÇÃO DE COLISÕES.....	53
FIGURA 4.28 - ESQUERDA – MAPA DE VOLUME DE DEMOLIÇÃO DE PAREDES. DIREITA – QUANTIDADES DE AÇO POR PISO. ....	54
FIGURA 4.29 – TABELA DE QUANTIDADES E % DE TRABALHO REALIZADO EXTRAÍDA AUTOMATICAMENTE PELA FERRAMENTA <i>MATERIAL TAKEOFF</i> DO <i>AUTODESK REVIT®</i> PARA REPRESENTAR O AUTO MENSAL DA ESTRUTURA METÁLICA. ....	54
FIGURA 4.30 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO PROGRESSO DA OBRA EM 3D (A VERDE O CONCLUÍDO DA ESTRUTURA METÁLICA À DATA). ....	55
FIGURA 4.31 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA 3D DE ZONA COM ELEVADA DENSIDADE DE TUBAGENS. ....	55
FIGURA 4.32 – FASEAMENTO DA OBRA NO <i>AUTODESK REVIT®</i> . EDIFÍCIO EXISTENTE, DEMOLIÇÕES E EDIFÍCIO REMODELADO.....	56
FIGURA 4.33 - ABAIXO – LINHA DE CORTE EM PLANTA. CIMA – VISTA AUTOMÁTICA GERADA.....	57
FIGURA 4.34 – RENDER EM ZONA ESPECÍFICA DO EDIFÍCIO <i>AUTODESK REVIT®</i> . ....	58
FIGURA 4.35 - RENDER EM ZONA ESPECÍFICA DO EDIFÍCIO <i>AUTODESK REVIT®</i> . ....	58
FIGURA 5.1 – GRÁFICO RESUMO COMPARATIVO DOS RESULTADOS VSM DO MT E MP. ....	62
FIGURA 5.2 – BARREIRAS À IMPLEMENTAÇÃO ATUAL DE BIM NA AEC EM PORTUGAL. ....	68
FIGURA 8.1- LEGENDA DE ÍCONES UTILIZADOS NO MAPEAMENTO BPMN .....	79
FIGURA 8.2- LEGENDA DE ÍCONES UTILIZADOS NO MAPEAMENTO DE FLUXO E VALOR (VSM).....	79

## 1. INTRODUÇÃO

A relutância da AEC em adotar novas tecnologias já é há muito conhecida. Só recentemente começou a incluir no seu planeamento estratégico a adoção da tecnologia *Building Information Modeling*, em grande parte devido ao uso por parte de arquitetos e engenheiros projetistas. Esta tendência crescente é visível um pouco por todo o mundo, prevendo-se alterações legislativas profundas no setor.

### 1.1. Motivação

A funcionalidade do BIM tem uma vertente de ferramenta de desenho e conceção da arquitetura, estrutura e instalações especiais e outra de análise estrutural, energética, deteção de conflitos, 4D (calendarização e faseamento), 5D (estimativa de custos), pré-fabricação e 6D (manutenção e operação após a sua construção) (Cerovsek, 2011). Estas funções representam um novo modelo em alternativa ao modelo tradicional ultrapassado baseado em informação desconexa e inconsistente e de pouca colaboração entre equipas. Em empresas de construção pode melhorar substancialmente o *workflow* (ou produtividade) dos processos operacionais e administrativos nas áreas de produção, compras, contabilidade, qualidade e contribui para a redução de desperdícios em sede e obra.

A influência BIM começa a refletir-se nas agências de regulação e entidades governamentais, como por exemplo, no Reino Unido onde investimentos acima de €5M são obrigados a recorrer a este tipo de metodologia. Paul Morrell, *Chief Construction Advisor* do Governo do Reino Unido, definiu o ano de 2016 como o ano em que esta tecnologia se tornará obrigatória para todos os concursos públicos (Knutt, 2012). Na Finlândia e Dinamarca, desde 2007 que é obrigatória a utilização, em qualquer obra pública, de *Industry Foundation Classes* (IFC), o formato internacional não proprietário para modelos BIM, registado na *International Standardization Organization* (ISO) (Taborda e Cachadinha, 2011). Esta tendência crescente é visível um pouco por todo o mundo, prevendo-se alterações legislativas profundas no setor.

Também a maneira como os contratos são geridos e administrados está a sofrer alterações, com a adoção de novos modelos de contrato, tal como o *Integrated Project Delivery* (IPD). Este modelo tem ganho popularidade à medida que o BIM tem vindo a ser cada vez mais uma aposta estratégica de vários investidores públicos e privados (Eastman *et al.*, 2011). Este considera uma colaboração efetiva entre o dono, o arquiteto/projetista e construtor desde o início ao fim do projeto.

### 1.2. Problemática

O BIM e o IPD representam uma rotura com modelo de gestão da construção tradicional. O modelo tradicional tende em focar a maior parte do esforço durante a fase de construção, nesta altura, muita da conceção já foi desenvolvida, mas o *input* da equipa de construção sobre custos e prazos

pode ainda levar a grandes alterações. No BIM e IPD a integração da informação promove uma maior colaboração e uma interação antecipada entre elementos da equipa, ou seja, à medida que estes trabalham mais próximos durante a fase de conceção têm maior habilidade em minimizar os impactos nos custos, e de um modo gradual, à medida que o projeto entra em fase de execução. Enquanto os projetistas continuam a ser o foco das fases iniciais, empreiteiros, fabricantes e fornecedores passam a colaborar e apoiar para melhorar a execução e expedição da construção (Yang, 2009).

Para o sucesso do BIM, é necessário um elevado grau de interoperabilidade entre sistemas de informação (SI), visto que, todos os elementos chave acedem ao mesmo modelo de informação independentemente da aplicação que utilizam. É por isso que surgiram grupos como o *National BIM Standard Project* que estão a trabalhar na normalização de regras para esta tecnologia o que permitirá facilitar a integração de dados de diferentes aplicações (Kymmell, 2008).

Por trás das vantagens do BIM está uma elevada complexidade e um contexto socioeconómico bastante rígido e pouco sensível à mudança, o que leva a alguns atores da indústria encontrarem grandes dificuldades de implementação. Isto porque, em parte, os seus esforços foram baseados em falhas de compreensão do conceito e inadequado planeamento, o que, aliado a outros fatores, levam a um desencorajamento de uma gestão eficiente de recursos, servindo de entrave à necessidade de inovação. A transição de um processo tradicional bastante enraizado no 2D ou 3D em CAD para uma nova abordagem de modelos construtivos BIM requer mais do que a aquisição de *Software* e formação. Ao permitir que o empreendimento seja representado por elementos "inteligentes", a alteração dos processos de planeamento, construção e operação/manutenção de qualquer infraestrutura ou empreendimento leva a alterações relevantes ao nível da própria estrutura organizacional das empresas (Babic *et al.*, 2010).

Para facilitar esta mudança é essencial a definição de um método, onde deve ser incluído o levantamento e mapeamento dos processos internos pré-existentes, a definição de objetivos de utilização BIM que acrescentem valor à organização e a inclusão nos processos operacionais existentes da tecnologia BIM e das relações departamentais resultantes.

Apesar de existirem várias propostas e linhas de orientação para a implementação de BIM, estas abordam essencialmente a implementação do ponto de vista do projeto e da interoperabilidade entre entidades externas, havendo espaço de desenvolvimento nas relações dentro das próprias organizações, em particular nas empresas de construção, onde as relações e processos internos são bastante complexos.

### **1.3. Questão Central de Investigação**

Este estudo pretende apoiar a implementação BIM e enquadra-se no âmbito da indústria AEC, em particular nas empresas de construção. Incide na inclusão nas suas operações correntes desta nova tecnologia, tendo por base a interoperabilidade ao nível de processos e dados, dando resposta à seguin-

te questão central de investigação, como suportar a implementação BIM ao nível dos processos operacionais pré-existentes de gestão da produção, na área da reabilitação?

#### **1.4. Hipóteses de Estudo**

Neste estudo serão consideradas as seguintes hipóteses de estudo:

- ✓ A tecnologia BIM estrutura, simplifica e sistematiza os processos internos em pequenas e médias empresas de construção;
- ✓ O BIM pode ser implementado em reabilitação sem o modelo ser desenvolvido na fase de conceção do projeto;
- ✓ A colaboração entre equipas internas na empresa é melhorada pela utilização de dados de informação resultantes do BIM.

#### **1.5. Objetivos**

Os principais objetivos deste estudo passam pelo mapeamento de processos colaborativos entre órgãos internos e implementação no terreno para avaliação do seu impacto financeiro e adequabilidade à estrutura de pequenas e médias empresas de construção.

#### **1.6. Estrutura da Dissertação**

A estrutura da dissertação está dividida em seis partes. O presente capítulo serve de abordagem à motivação de investigação, clarifica o espaço existente na Academia e a qual a principal contribuição para a indústria. Inclui a definição dos objetivos e hipóteses de estudo consideradas.

O segundo trata do enquadramento do estado atual do conhecimento na problemática identificada no capítulo 1 através de revisão bibliográfica.

No terceiro capítulo é apresentada a metodologia de investigação seguida para o cumprimento dos objetivos definidos.

No quarto capítulo é proposto o método, baseado na análise ao capítulo 2, que permitirá responder à questão central de investigação.

No quinto é aplicado o método proposto e são analisados os resultados avaliando-se de que forma é que os resultados obtidos respondem às hipóteses de estudo definidas

Por último, o sexto capítulo apresenta o balanço e as conclusões finais, de até que ponto os objetivos indicados na introdução foram alcançados. Inclui, a recomendação para futuras linhas de investigação.





## 2. ESTADO DO CONHECIMENTO

### 2.1. Enquadramento BIM

O que significa BIM? BIM pode ser referido como *Building Information Modelling* ou *Building Information Model*. O primeiro aplica-se ao desenvolvimento e uso da aplicação informática de modelação para simular a construção e operação de uma infraestrutura. O segundo é o resultado do primeiro e trata-se do produto ou representação digital inteligente de um conjunto de dados estruturados que constituem uma infraestrutura, onde vistas e dados podem ser extraídos consoante as necessidades e expectativas dos utilizadores e partes interessadas (AGCA, 2006).

Com BIM, a mudança de paradigma é acentuada face à abordagem tradicional uma vez que este assenta em processos obrigatoriamente mais colaborativos e obriga a uma elevada transparência contrastando com o MT. O BIM como ferramenta serve o intuito de manipulação de modelos BIM e apresenta duas importantes características, a primeira é que o modelo da construção é constituído por elementos paramétricos 3D que representam a realidade (física) dos componentes, as suas relações e outros dados não geométricos, a segunda é que diferentes vistas do modelo resultam de uma única fonte o que permite a sincronização, para que uma alteração numa vista do modelo seja refletida em outras e integradas num modelo único (alçados, cortes, vistas 3D, lista de quantidades. O BIM pode envolver várias utilizações para além da ferramenta de desenho, conceptualmente pode ser abordado como ferramenta, plataforma e ambiente. A ferramenta trata de uma aplicação de tarefas específicas como o desenho do modelo, deteção de conflitos, visualização, calendarização, estimativa de custos,.. Como plataforma é uma aplicação, normalmente de conceção, que gera informação para múltiplas utilizações onde os dados primários do modelo são armazenados e suportados por uma plataforma. O ambiente integra a ferramenta e a plataforma num conjunto de políticas e práticas de suporte à informação com vista à automatização de dados (Eastman *et al.*, 2011).

O BIM impulsiona uma nova metodologia de documentar e conceber que está a mudar a maneira em como se projeta e gere a construção. Ainda assim o BIM está numa fase prematura e em evolução constante. Será necessário uma abordagem de procura de melhoria contínua e aperfeiçoamento do conhecimento, só isso, permitirá tirar partido de todas as suas potencialidades. O BIM permite avaliar o desempenho das equipas e uma considerável melhoria na sua coordenação permitindo às partes interessadas assertividade na tomada de decisão com base em informação muito mais coerente, consistente e rigorosa que nos modelos tradicionais. As vantagens na gestão da comunicação inerentes ao BIM estão presentes na Figura 2.1, onde é possível verificar os canais de comunicação existentes no modelo tradicional comparativamente com o modelo BIM. Em (a) os canais de comunicação, e portanto, de possível conflito são  $28 (n(n-1)/2)$ , sendo  $n$  o numero de entidades), enquanto no modelo (b)

existem apenas 8 canais de comunicação reduzindo para cerca de 1/3 as potenciais falhas de comunicação (Eastman *et al.*, 2011).

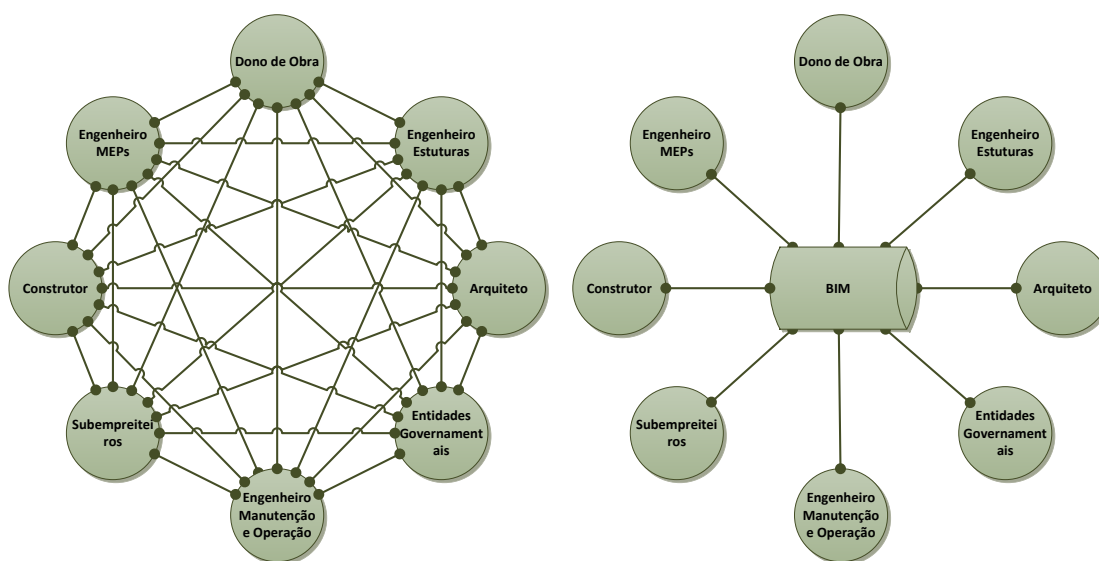


Figura 2.1 - Comunicação no (a) modelo tradicional (esquerda) e (b) modelo BIM (direita). (Eastman *et al.*, 2011).

O valor ganho para as várias partes interessadas de um modelo único é a compilação de dados fiáveis e acessíveis partilhados ao longo de todo o ciclo de vida da construção.

A indústria da construção civil enfrenta uma crise generalizada por todo o mundo resultado da sua incapacidade em acompanhar tecnologicamente outras indústrias nomeadamente nos níveis de eficiência, eficácia e sustentabilidade. Nesta medida o aumento de eficiência e produtividade, que por sua vez reduz custos e potencia lucros é algo que esta indústria pouco ou nada conseguiu evoluir. Globalmente, cerca de 40% das matérias-primas produzidas são consumidas pela indústria da construção (Figura 2.2) (Wagner, 2002). Da análise à Figura 2.2, nos EUA assim como na Europa, pode dizer-se que o consumo é três vezes superior ao conjunto das restantes indústrias, o que, sem considerar o aquecimento global, nos leva a concluir que não é possível suportar a crescente tendência do consumo de matérias-primas. Com o elevado peso da indústria da construção civil, não é possível inverter esta tendência sem implementar uma cultura de fazer "mais com menos". O sucesso em garantir esse feito vai depender em se a indústria como um todo vai conseguir produzir infraestruturas de elevada qualidade a um baixo custo, com menos consumo de energia e mais fáceis de reabilitar ou adaptar a uma nova utilização (Eastman *et al.*, 2011).

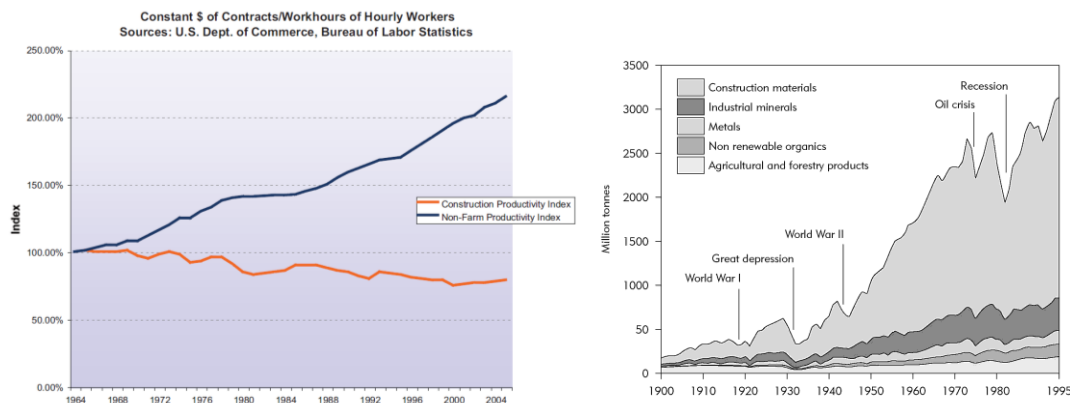


Figura 2.2 - Esquerda - Índice de produtividade na indústria da construção e em outras indústrias.(McGraw-Hill Construction, 2010). Direita - Evolução do consumo de matérias-primas. (Wagner, 2002).

Comparativamente com a indústria da agricultura e se considerarmos o crescimento populacional que durante a segunda metade do séc. XX aumentou cerca de 80%, será que a necessidade de terras de cultivo também aumentou na mesma proporção? A resposta é não, pelo contrário até existiu um ligeiro decréscimo, o que significa que se conseguiu uma duplicação da oferta ao mercado com os mesmos recursos conseguindo um elevado ganho de produtividade. Esta comparação parece ser bastante importante face à semelhança destas duas indústrias (Wagner, 2002).

Considerando outras indústrias como a automóvel e a aviação existem duas grandes diferenças que favorecem estas indústrias na evolução tecnológica. Uma delas é a existência de monopólios o que a leva à dependência de uma ou duas empresas que ditam as regras e controlam toda a cadeia de fornecimento sem precisar de capital para o fazer. Ambas as indústrias beneficiam de uma produção em ambiente de fábrica, conseguindo um grande controlo sob a qualidade do processo de fabrico, a tecnologia e capital que pode ser aplicado, o fornecimento e qualificação do trabalho em si (Babic *et al.*, 2010) (Eastman *et al.*, 2011).

Por outro lado a indústria da construção é altamente fragmentada, existem milhões de clientes, utilizadores e fornecedores (Eastman *et al.*, 2003; Babic *et al.*, 2010). Têm ainda, uma componente altamente local ou regional limitando os consumidores ou donos de obra nas suas opções. Note-se que grande parte da atividade desta indústria é realizado no local tornando difícil a sua coordenação e controlo, está condicionada pelas condições meteorológicas e apesar do aumento de equipamento e maquinaria disponíveis nos últimos anos, continua a ser sobejamente um processo artesanal. Neste ambiente, o máximo que as organizações podem fazer é otimizar as suas operações muitas vezes em detrimento da eficiência e produtividade global do produto final (Eastman *et al.*, 2011).

Mas será isto suficiente para justificar o porque do insucesso tecnológico quando comparada com outras indústrias. São assim tantas as diferenças entre a construção civil e a própria agricultura, ambas não estão altamente fragmentadas, lidam com indivíduos de um nível educacional bastante baixo, inconstantes níveis de esforço de trabalho, pouca sistematização e semelhante exposição às condições meteorológicas. Nenhuma destas características impediu o rápido aumento da produtividade

na agricultura. Então porque que razão a indústria da construção não evoluiu da mesma maneira? Vários autores como Eastman e Sacks sugerem que a principal razão, ao contrário das outras, prende-se com a falta de informação e dados estatísticos sobre a produtividade o que a coloca a construção numa situação de significativa desvantagem. Se algo tão fundamental não pode ser medido, então é impossível medir o efeito na produtividade (bom ou mau) de alterações ou aperfeiçoamento da tecnologia, habilitações, boas práticas ou métodos de produção (Eastman *et al.*, 2011). Quando o impacto da inovação não consegue ser medido, é menos provável que aconteça. Logo, o que é dito relativamente à indústria da construção e do seu conservacionismo e resistência à mudança, é resultado de uma generalizada falta de informação credível o que a leva a um estágio de desenvolvimento mais lento (Sacks e Eastman, 2003; Eastman *et al.*, 2011).

## **2.2. Interoperabilidade**

A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de troca de dados entre aplicações distintas e de implementar e gerir relações colaborativas entre membros de um projeto multidisciplinar (Wagner, 2002). Na AEC a falta de interoperabilidade pode levar a valores de 3 a 4 % dos custos do investimento global da construção, sendo que 2/3 destes são devidos à introdução manual de dados entre aplicações e duplicação de funções e tarefas. A produtividade na construção decresceu significativamente nas últimas quatro décadas, cerca de 20% (Figura 2.2) (McGraw-Hill Construction, 2007). Na sua origem estão dificuldades em abandonar o modelo tradicional e a falta de comunicação e colaboração em projetos cada vez mais complexos, com menores prazos e maior exigência de qualidade (Bryde *et al.*, 2013). Os construtores e donos de obra mais inovadores e sofisticados já depararam com estes novos processos e começam a exigir uma maior operacionalidade entre as equipas e *Software*, melhores ferramentas, menos alterações e menos dúvidas no terreno. Refira-se que, nos EUA 49% dos donos de obra estão a exigir a utilização do BIM nos seus projetos e que 47% dos profissionais da indústria da construção escolhem o BIM pela sua propensão em melhorar a comunicação, o planeamento e controlo dos projetos ao longo do seu ciclo de vida (McGraw-Hill Construction, 2010).

Cada ferramenta BIM possui a sua própria linguagem, no entanto, em ambiente colaborativo é essencial a partilha e troca de dados entre aplicações. Nos últimos anos, a necessidade de atingir um maior nível de integração de TIC levou ao desenvolvimento de modelos de integração como o IRMA, ATLAS, ToCEE, ISTforCE, entre outros (Gökçe *et al.*, 2007). Na linha destes projetos de investigação surgiu a metodologia ISO 10303 - *Standard for the Exchange of Product Model Data* (STEP) com o objetivo de fornecer mecanismos para a descrição de dados de produto ao longo do ciclo de vida do produto, independentemente do sistema utilizado (Patacas, 2012). O STEP é uma metodologia de âmbito industrial que aplicada à indústria AEC resultou na definição de modelos de dados IFC (Eastman *et al.*, 2011). A interoperabilidade ao nível da ferramenta pode ser conseguida através da utilização de IFCs, transferindo entre aplicações distintas, dados que representam os elementos do modelo e as suas relações. Promovido pela *International Alliance for Interoperability* (IAI) desde 1995 é um modelo

essencial para a implementação BIM (NIBS, 2007). No entanto, a necessidade de documentar os processos e requisitos de informação que ocorrem na indústria entre as várias partes interessadas só poderá estar completo se for aliado a uma metodologia do tipo ISO 29481-1:2010 - Information Delivery Manual (IDM) (IAI, 2012). Refira-se que existem ainda outras metodologias neste âmbito como o *Georgia Tech Process to Product Modeling* e o *Cross-Organizational Business Processes* (Patacas, 2012).

O IDM apresenta-se como uma metodologia aberta para documentar os vários processos da indústria AEC baseada na descrição das várias trocas de informação que ocorrem entre os vários intervenientes nesses processos. Os seus resultados podem ser utilizados como guias de procedimentos para os intervenientes que participam nos processos definidos (Berard e Karlshoej, 2012). O IDM foi inicialmente pensado para ser utilizado com o modelo de dados IFC, no entanto, pode ser adaptada a outros modelos de dados abertos, ou ser utilizada sem estar ligada a modelos de dados (Patacas, 2012).

De forma a possibilitar trocas de informação entre as partes interessadas é necessário ter em conta o formato que suporta as trocas de informação, a especificação de qual a informação a ser trocada e quando essa troca deverá ocorrer e o entendimento comum de qual a informação trocada (IAI, 2007). O IDM é constituído essencialmente por mapas de processos, requisitos de troca e partes funcionais (IAI, 2010). A realização de IDMs pode fornecer uma referência dos vários processos existentes na indústria AEC que podem ser posteriormente integrados em aplicações baseadas em BIM e linhas de orientação na implementação BIM (IAI, 2010; Berard e Karlshoej, 2012). Pode ser considerado tanto um produto documental como uma metodologia para modelar processos através do *Business Process Modeling Notation* (BPMN). Este tipo de mapa de processos descreve o fluxo de atividades para um determinado processo e permite a compreensão das atividades e dos intervenientes envolvidos e a ligação entre os vários requisitos de troca específicas dos utilizadores (OMG, 2012). Apesar das suas várias limitações, é a metodologia adequada a esta dissertação, já que constitui um método para a organização de processos na indústria AEC, podendo os seus resultados serem utilizados pelos vários intervenientes da indústria, com o objetivo de sistematizar e melhorar processos existentes.

Apesar de todas estas iniciativas pretenderem garantir interoperabilidade entre sistemas e entidades, do facto da indústria AEC gastar biliões a cada ano em torno desta questão, pouco de significativo tem adiantado. A normalização é considerada um instrumento chave na inovação, no entanto, os modelos IFC, por exemplo, não apresentam ainda maturidade suficiente que garanta o cumprimento dos três papéis de interoperabilidade, confiança e comparabilidade. Contribui ainda para o agravamento as várias heterogeneidades entre as mais variadas TIC utilizadas pelas várias partes interessadas, juntamente com adaptabilidade necessária para operar nesta indústria da AEC (Gökçe *et al.*, 2007; Grilo e Jardim-Gonçalves, 2010; Cerovsek, 2010).

### 2.3. Método Tradicional de Gestão da Construção e Modelo BIM

Geralmente, as empresas de construção disponibilizam serviços através de concursos públicos ou privados para a execução de um determinado projeto no qual serão responsáveis pela gestão da construção recorrendo a um misto de "fazer" e "comprar" (subcontratar), designado regime de conceção-concurso-construção (CCC). Por outro, lado existem também construtores que assumem a elaboração do projeto e a execução da obra, num regime de conceção-construção (CC). Outros oferecem ainda serviços para além da execução da construção, ou seja, operação e manutenção das infraestruturas.

Durante a fase de concurso e no decorrer da construção, o processo tradicional de gestão da construção, do ponto de vista das empresas de construção, passa por várias áreas chave. Estas áreas de gestão têm como referência institutos como o *Project Management Institute* (PMI), que definem um conjunto de boas práticas e linhas de orientação de projetos seguidos em grande parte por toda a indústria da AEC, o PMBOK®. As áreas chave comuns à maior parte das empresas, são constituídas por várias áreas de conhecimento. A gestão da integração, que constitui as ações de integração e consolidação entre todas as áreas. A gestão do âmbito, que passa pela recolha dos requisitos do cliente e sua análise, como por exemplo desenvolver e preparar para a execução as peças desenhadas e outros documentos que representam o projeto de execução. A gestão do tempo, do custo e das compras, que passam por elaborar uma programação detalhada da obra e do estaleiro (calendarização e cargas de recursos), desenvolver planos de segurança e saúde, consultar o mercado para subcontratação e provisionamento de todo o tipo de trabalho, materiais e equipamento e ainda estimar os custos previstos para controlo financeiro da obra. A gestão da qualidade, que trata do cumprimento dos requisitos de acordo com as especificações. E por fim, a gestão da comunicação, que envolve a distribuição e armazenamento da informação necessária a todas as partes interessadas no decorrer da construção (NIST, 2004; PMI, 2008; Bryde *et al.*, 2013).

As TIC estão presentes nestes principais processos e operações chave de orçamentação, planeamento e calendarização, controlo de custos, contabilidade e compras. Para tarefas relacionadas com o projeto de execução, como orçamentação e planeamento, partem usualmente de documentação desligada dos modelos 2D do projeto ou mesmo 3D em CAD o que torna uma atividade de elevada dependência de imputação manual onde desperdício e o retrabalho são frequentes. Mais relevante se torna quando o construtor é envolvido numa fase tardia, perdendo-se a mais-valia que poderia introduzir de numa fase inicial de conceção, onde a sua experiencia seria fulcral nas alterações. No MT, a perda de valor ao longo das várias fases do projeto e durante a passagem de informação de umas entidades para as outras, é evidente (Figura 2.3). Essa perda, leva a que seja necessário um esforço adicional na adequação da informação em cada fase, um desperdício evitável com métodos baseados em BIM e IPD (Eastman *et al.*, 2011).

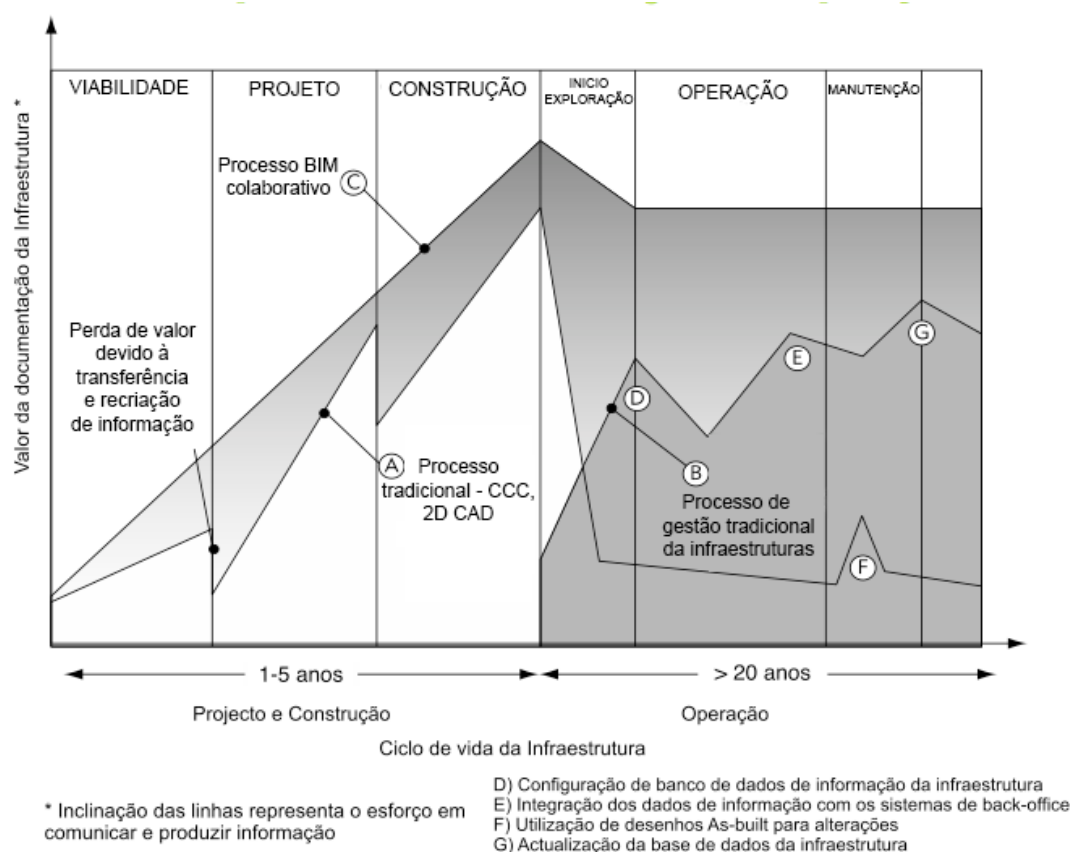


Figura 2.3 – Valor da documentação – Comparação entre o MT e o Método BIM. (Eastman *et al.*, 2011).

Desde os desenhos realizados manualmente ao desenho assistido por computador (CAD) nada alterou na génese do processo de desenho do projeto mantendo-se tradicionalmente desconectado, não passando de um conjunto de linhas. Num processo 2D as implicações de alterações num elemento do projeto, não podem ser vistas num ambiente 2D, tem de ser imaginadas e não podem ser replicadas para as outras peças desenhadas de um modo automático. Num processo baseado em BIM a tecnologia e as ferramentas permitem a visualização e colaboração em 3D, para além disto existe um elevado potencial de informação que pode ser explorada, analisada, sincronizada e ligada parametricamente (Quadro 2.1). Por exemplo, na pré-fabricação de estruturas de betão, está demonstrado, que a prática de desenho 2D pode causar erros com custos aproximados de 1% relativamente ao custo da construção (Sacks e Eastman, 2003).

Quadro 2.1 - Comparação entre 2D e 3D BIM. (Eastman *et al.*, 2011).

<b>PROCESSO 2D</b>		<b>PROCESSO BIM</b>
Faseado e linear	Concepção/Projeto	Concorrente e interativo
Papel 2D	Peças Desenhadas	3D digitais orientados para o objeto e paramétrica
Analisado de um modo moroso em 2D	Análise de alternativas de projeto/ Análise de Valor	Analisado instantaneamente em 3D
Lento e detalhado	Revisões do projeto	Expedito e automático
Sobreposição de desenhos	Compatibilização de projeto	Automatic clash detection
Desenhos 2D	Desenhos de execução na obra	Desenhos 2D e perspectivas
Reunidos mas nunca realmente finalizados. Realizados no fim da execução.	Documentos e telas finais	Modelos inteligentes para operação e instruções de manutenção. Atualizados constantemente ao longo da obra
Stand alone activities	Planeamento	Atividades ligadas ao modelo BIM
Análise de cenários limitados	Sequência/ faseamento da obra	Extensa capacidade de avaliação, simulação e detecção de colisões

Os processos BIM mais comuns são utilizados para a interpretação e visualização, clarificação do âmbito (ou caderno de encargos), coordenação das especialidades, detecção de colisões, validação dos desenhos, planeamento da construção e faseamento. Atualmente a maioria dos projetos são desenhados em 2D, por isso, para a utilização BIM, estes têm de ser convertidos em BIM 3D, estimando-se que este investimento inicial ronde os 0,1 a 0,5% dos custos totais de construção (sem considerar custos com software e formação). Na conversão do MT para o BIM é necessário considerar as seguintes atividades (CIC, 2010):

- ✓ Determinar o nível de detalhe (isto afeta a quantidade de informação necessária introduzir no modelo);
- ✓ Estabelecer papéis e responsabilidades;
- ✓ Montar um modelo integrado das várias disciplinas;
- ✓ Estabelecer métodos de troca de ficheiros e formatos;
- ✓ Criar um servidor e repositório partilhado para os desenhos;
- ✓ Estabelecer um processo de revisão e aprovação dos desenhos para confirmar que o desenho não apresenta conflitos ou erros;
- ✓ Implementar rotinas de verificação da qualidade do modelo.

Quando se analisa o modelo de gestão da construção tradicional e os desperdícios e associados à falta de preparação e planeamento torna-se evidente que o BIM é uma solução a considerar. De acordo com entidades de referência internacional, tais como o *International Council for Research and*



*Innovation in Building and Construction* (CIB), na construção tradicional os custos totais de falhas de conceção e execução ou custos da não-qualidade representam 5 a 10% do valor do empreendimento (CIB, 1993). Estudos no âmbito nacional demonstram que as empresas construtoras portuguesas apresentam valores bastante próximos desses (Parreira e Cóias, 2008; Almeida, 2011). Assim revela-se de grande interesse para a AEC, em particular, às empresas de construção, a implementação BIM, já que este tipo de tecnologia pode ser uma ferramenta de redução substancial destas falhas.

## 2.4. Partes interessadas chave da AEC

O Dono de Obra (DO) pode recolher vários benefícios ao utilizar BIM promovendo a entrega de projetos com maior qualidade e desempenho económico, já que facilita a colaboração, reduz erros e alterações levando a um aumento da fiabilidade do processo de entrega (Eastman *et al.*, 2011). Durante a conceção e execução o DO tem elevadas necessidades de informação sobre o orçamento e prazos de execução, assim como informação sobre operações e manutenção da infraestrutura após a sua construção (McGraw-Hill Construction, 2007).

Na fase de conceção os Projetistas (arquitetos e engenheiros de especialidades) desenham a solução de acordo com os requisitos e expectativas do DO. A informação a disponibilizar ao DO, por parte da equipa de arquitetura, é constituída por dados relacionados as características físicas e funcionais do empreendimento, sendo os planos e desenhos constantemente atualizados ao longo do ciclo de vida do projeto. Os engenheiros projetistas por sua vez geram dados relacionados com o cálculo e conceção das infraestruturas e analisam as suas características. A integração das especialidades é a vantagem BIM suportando um novo fluxo de informação mais colaborativo e com menos desperdício, servindo de base para o detalhe posterior necessário para a execução do projeto (NIST, 2004).

As empresas de Construção, que tanto podem entrar numa fase de inicial de conceção (IPD) ou após o lançamento do concurso, geralmente geram dados relacionados com a calendarização, quantidades produção, estimativas de custo, e após o arranque da execução, atualizam e reportam essa informação DO ou fiscalização (Eastman *et al.*, 2011).

A baixa maturidade desta tecnologia na AEC leva a que na sua grande maioria as equipas de projeto não optem por este modelo e muitas vezes é o próprio construtor que assume a modelação. Consequentemente as empresas de construção líderes estão elas próprias a criar os seus modelos para suportar a coordenação, deteção de conflitos, orçamentação e gestão das compras e fornecedores (AGCA, 2006; McGraw-Hill Construction, 2007; Eastman *et al.*, 2011). Para os construtores a redução dos erros de desenho utilizando a deteção de conflitos é dos pontos fortes do BIM visto que a deteção automática é um método bastante eficiente para identificação, de objetos que ocupem o mesmo espaço, próximos demais para adequado acesso, insolação, segurança, manutenção, ou seja quaisquer condicionalismos que se queiram considerar. A vantagem da automatização 3D sobre o método tradicional (MT) de deteção de conflitos manual com desenhos 2D é evidente, sendo que, o sistema baseado no BIM permite ao construtor seletivamente verificar conflitos entre sistemas, como os mecânicos,

estruturais e arquitetônicos. Para uma boa análise de conflitos, o construtor deve garantir um nível de detalhe apropriado e suficiente que permita identificar elementos mecânicos, estruturais, arquitetônicos e outros elementos (Lee *et al.*, 2012). Existem dois tipos de tecnologia de detecção de conflitos disponíveis no mercado. Uma faz parte das aplicações de modelação BIM a outra são aplicações específicas que integram a linguagem BIM mas com ferramentas próprias de análise. Em regime de concepção-construção (ou IPD) a orçamentação pode ser desenvolvida durante o processo de desenho e concepção obtendo-se com a sua evolução estimativas gradualmente mais rigorosas, o que ajuda a identificar problemas e alternativas podem ser consideradas numa fase inicial (Eastman *et al.*, 2011)

À medida que as infraestruturas e os componentes da construção se vão tornando mais complexos, num ambiente colaborativo e orientados para a pré-fabricação os Subcontratados e Fornecedores são sujeitos à necessidade de recorrer à tecnologia e métodos baseados em BIM que os apoiem no processo de detalhe do projeto, fabricação, na garantia da conformidade do produto e na comunicação com construtor e outras especialidades. (Babic *et al.*, 2010). Num ambiente colaborativo a informação que geram é relacionada com os produtos de construção (fichas técnicas, de segurança, garantias e futura manutenção), custos, datas de fornecimento e os avanços das atividades de construção a seu cargo (Sacks e Eastman, 2003).

## **2.5. TIC Tradicionais e BIM**

O conhecimento sobre TIC, BIM ou tradicionais, é essencial para que seja possível a integração entre dados e processos operacionais, permitindo aumentar os graus de eficiência. Existe um elevado número de fornecedores de aplicações BIM disponíveis no mercado os três principais são a Autodesk® (Revit), Graphisoft® (Constructo) e Bentley® Architecture. No Quadro 2.2 é apresentada uma lista genérica de aplicações BIM e de gestão utilizadas no âmbito desta dissertação. Cada aplicação possui a sua própria linguagem, no entanto, em ambiente colaborativo é essencial a partilha e troca entre aplicações havendo assim a necessidade de dois tipos de *schemas*, um interno e outro externo, para harmonizar com outras aplicações (interoperabilidade, como por exemplo os IFCs) (Cerovsek, 2011).

Na subsecção seguinte são apresentadas algumas considerações sobre as TIC consideradas relevantes neste trabalho. Procurou-se responder às seguintes perguntas: em que cenários podem ser utilizados? Para que servem? Quais as principais limitações? Principais custos e benefícios.

Quadro 2.2 - Lista de aplicações relevantes para a dissertação.

Fornecedor	Nome do Produto	Função
Autodesk	Revit Architecture	BIM - Modelação 3D
	Revit MEP	BIM - Modelação 3D
	Revit Structure	BIM - Análise estrutural e Modelação 3D
Vico	Vico	Modelação 4D e 5D
CCS	Candy	Gestão de Projetos - Planeamento, Orçamentação e controlo
Artsoft	Artsoft	ERP

### 2.5.1. ArtSOFT®

O *ArtSOFT*® é um Sistema Integrado de Gestão Empresarial (SIGE) ou *Enterprise Resource Planning* (ERP), que regista os dados dos processos de uma organização. Este registo compreende a perspetiva funcional (processo: finanças, contabilidade, recursos humanos, produção, comercial, compras, etc.) e a perspetiva sistêmica (transações, informações de gestão e de apoio à decisão). É uma plataforma que integra os diversos departamentos de uma empresa, possibilitando a automatização e armazenamento de todas as informações do negócio. Da análise realizada a esta aplicação destacam-se os seguintes módulos relevantes a esta dissertação (Artsoft, 2012):

- ✓ **Gestão comercial** - Controlo da gestão documental da empresa direta ou indiretamente relacionada com a atividade de compra e venda de bens e serviços. Serve para a análise da informação de apoio à decisão gerada pelos vários utilizadores, das várias direções, como por exemplo: a automatização dos movimentos contabilísticos gerados pela gestão documental, como ordens de produção, faturação ou encomendas;
- ✓ **Contabilidade** - trata a gestão contabilística empresarial (geral, analítica e centros de custo) como por exemplo: a utilização de chaves de repartição para centros de custo; e a adaptação a planos oficiais (financeiros, públicos, estrangeiros, etc.);
- Recursos Humanos** - este módulo permite gerir e processar a informação referente aos recursos humanos da organização, como por exemplo: a atualização automática de remunerações com cálculo de retroativos; a parametrização da estrutura departamental; e a divisão das remunerações por locais de trabalho / centros de custo;
- ✓ **Análise Financeira / Tesouraria** - disponibiliza informação, nomeadamente a posição económico-financeira da mesma;
- ✓ **Aprovação de Documentos** - permite usar circuitos de aprovação documental baseados no circuito real utilizado na empresa, garantindo o cumprimento dos circuitos documentais previamente definidos.

Em média e com os serviços referidos acima os custos deste tipo de *software* rondam os 25k€/anuais de acordo com o valor de tabela do fornecedor.

### 2.5.2. Autodesk®

As aplicações *Autodesk Revit*® foram concebidas especificamente para incluir a tecnologia BIM, apoiando os profissionais da construção a projetar, construir e manter edifícios. Combina as capacidades do *Revit Architecture*®, do *Revit MEP*® e do *Revit Structure*® e apresenta as seguintes funcionalidades (Autodesk, 2012):

- ✓ Associatividade bidirecional - as alterações em qualquer parte do projeto são refletidas no modelo que é automaticamente atualizado;
- ✓ Componentes paramétricos - componentes de construção reais que permite trabalhar com mais pormenor e exatidão;
- ✓ Tabelas - precisas e utilizando informação do modelo atualizada.
- ✓ Pormenores - permite criar, editar e partilhar bibliotecas de pormenores para um melhor alinhamento com as normas;
- ✓ Colaboração - permite o trabalho simultâneo no mesmo projeto e a partilha através do *Revit Server*®;
- ✓ Visualização de projetos - Comunica com clareza o objetivo do projeto com as ferramentas de "renderização" integradas.
- ✓ Interoperabilidade - Importa, exporta e associa os seus dados aos formatos mais relevantes do setor, incluindo o DWG™, DXF™, DGN e o IFC.

Prevê-se que dentro de algum tempo se tornará num sistema de conta *online* e que, sem qualquer pagamento adicional, cada utilizador terá 3GB de armazenamento e a habilidade de ver e partilhar ficheiros BIM (Rubenstone, 2012). De acordo com o revendedor, o valor de tabela pode variar numa primeira ativação entre os 5 aos 15 k€ em função do pacote de produtos comprados, acrescido de um valor de atualização anual de cerca de 1k€/utilizador.

### 2.5.3. CCS - Candy®

O *Candy*® é um sistema integrado de gestão de projetos, desenvolvido para a indústria da construção. Trata-se de uma ferramenta de apoio à orçamentação, planeamento e controlo da produção. Este Sistema Integrado de Planeamento e Gestão é constituído pelos módulos de orçamentação, Controlo de Produção, Planeamento pelo Método do Caminho Crítico, análises e previsões de *Cashflow*.

O módulo de Orçamentação apresenta as seguintes funcionalidades:

- ✓ Orçamentação analítica com base nos rendimentos dos recursos;
- ✓ Bases de dados de preços unitários de artigos e recursos;
- ✓ Importação de mapas de quantidades eletrónicos;
- ✓ Folha de cálculo de preços compostos em formato livre;

- ✓ Análise de recursos e valores;
- ✓ Análise de produtividade e desperdícios;
- ✓ Análise de propostas e bases de dados de subempreiteiros e fornecedores;
- ✓ Propostas alternativas;
- ✓ Editor de relatórios e exportação de dados;
- ✓ Integração com o planeamento e *cashflow*.

O módulo de Planeamento tem como principal objetivo planear o projeto, registar a programação concluída e fazer a integração com a orçamentação para fornecer previsões de quantidades, custo/valor e análise de *Cashflow*. Apresenta as seguintes funcionalidades:

- ✓ Planeamento orientado para a construção;
- ✓ Gráficos de barras e de espaço-tempo, no ecrã;
- ✓ Calendários;
- ✓ Base de dados de recursos;
- ✓ Nivelamento de recursos;
- ✓ Monitorização do progresso;
- ✓ Registo do progresso executado;
- ✓ Calendarização *long lead* e *information schedule*;
- ✓ Integração com a orçamentação, o controlo de produção e o *cashflow*.

Por último o módulo de controlo de produção permite a continuidade entre a proposta orçamental e a execução da obra. Apresenta as seguintes funcionalidades:

- ✓ Utilização da informação do orçamento;
- ✓ Análise de variações de preços unitários;
- ✓ Análise detalhada das estruturas de codificação;
- ✓ Controlo de subempreitadas;
- ✓ Previsões de valores finais e por executar;
- ✓ Múltiplos tipos de quantidades;
- ✓ Modelos de documentos personalizados;
- ✓ Editor de relatórios e exportação de dados;
- ✓ Previsões a partir da integração com o planeamento;
- ✓ Reconciliação de custos reais e estimados.

Tem, ainda, um diversificado conjunto de utilitários dedicados à Indústria de Construção, tais como, Registo de Custos, Gestão de Arquivo de Desenhos, Base de Dados de Subempreiteiros e de Fornecedores, Reconciliação de Custos Estimados e Reais, Gestão da Informação em Obra e Diagramas de Espaço-Tempo (Timelink, 2012). Os custos médios deste Software são divididos por uma primeira ativação no valor de 500€ e depois num valor de atualização anual de cerca de 1.5k€/utilizador.

#### 2.5.4. VICO SOFTWARE®

Trata-se de uma aplicação de gestão da construção integrada para empreiteiros que potencia os modelos 3D BIM para modelos 4D e 5D. É compatível com aplicações como o *Revit*®, *Tekla*®, *Archicad*®, *CAD-Duct*®, ficheiros em formato IFC, *SketchUp* e *3D DWG files*. A filosofia desta aplicação assenta nas seguintes soluções (Vico Software, 2012):

- ✓ A **Visualização 3D**, que permite a organização e visualização dos modelos relacionados com o empreendimento (arquitetura, estrutura e MEP).
- ✓ A **Deteção de Conflitos**, que numa fase inicial é crítica para uma execução contínua do trabalho nas frentes. O *Vico Office Constructability Manager* é um produto específico para este fim que disponibiliza uma solução integrada para a deteção de conflitos e coordenação para que as equipas possam identificar e resolver problemas na fase de planeamento.
- ✓ A **Preparação do Mapa de Quantidades** (*Vico Takeoff Manager - QTO*) deriva das divisões de quantidades por localização do modelo BIM que resultam em estimativas e calendarizações mais precisas.
- ✓ A **Calendarização e Controlo da Produção 4D** é a solução combinada entre o *Vico LBS Manager*, *Vico Schedule Planner*, *Vico Production Controller* e *Vico 4D Manager*. O *LBS Manager* permite a divisão do modelo em partes mais pequenas e mais facilmente geridas. O que vai permitir a atribuição de equipas por localização e otimizar o processo de coordenação e sequência de trabalho das especialidades. Estas localizações servem depois para as medições de quantidades de áreas específicas e a calendarização das mesmas. O *Schedule Planner* utiliza um método baseado num fluxo de trabalho contínuo para as diferentes especialidades, combinando as quantidades por localização com equipas e a sua taxa de produtividade. O *Production Controller* mede o trabalho realizado em cada localização e compara com o valor planeado. O *4D Manager* permite a visualização do faseamento construtivo aumentado a comunicação e trabalho de equipa com as outras partes interessadas.
- ✓ A **Orçamentação 5D** é composta pelo *Cost Planner* e *Cost Explore*. O primeiro baseado no conceito de custo *target* promove um ambiente de comparação de versões de estimativas essenciais para o controlo global do projeto. O segundo, utilizando o QTO, permite a composição dos preços discriminados por itens, localização, etc. e ligadas ao modelo BIM sendo automaticamente atualizadas. À medida que o detalhe do modelo aumenta ou a informação sobre os preços e produtividade é conhecida são conhecidas são compostas estimativas mais precisas. Permite avaliar os impactos de alterações e análises de valor de um modo eficiente.

- ✓ O **Reporte** consiste na gestão dos modelos e versões para a partilha de informação entre a equipa e os vários departamentos para entrega de relatórios de progresso, cargas de recursos, alterações aos projeto e outros relatórios customizados.

## 2.6. Retorno do Investimento (ROI)

A ideia de que BIM é apenas para os grandes projetos e empresas é contrariada pelo número crescente de pequenas-médias empresas que demonstram o retorno do seu investimento. No entanto, tanto nas grandes como na pequenas-médias empresas, existe a preocupação no que toca ao nível do investimento necessário que permita garantir que os benefícios conseguidos sejam superiores aos custos envolvidos (NBS, 2012).

A expectativa é de que o BIM permitirá não só reduzir as falhas do modelo tradicional como também aumentar a produtividade e eficiência das atividades envolvidas no processo de conceção, construção e operação e manutenção. Recentemente foram questionados donos de obra, arquitetos, engenheiros e construtores com o objetivo de determinar o real valor do BIM para utilizadores e não utilizadores. Neste é referido que 87% dos especialistas estão a experimentar valores de ROI positivos, sendo outro facto curioso que, 62% de entidades que mediram o ROI concluíram que o aumento da produtividade é superior a 10%. Os dados apresentados no relatório, indicam que 2/3 dos utilizadores das ferramentas BIM vêem um retorno positivo no seu investimento e destes 1/4 afirmam que o ROI é superior a 50%. Considerando o conjunto de entidades chave na AEC são os construtores que reportam resultados mais positivos (71%). Apesar do BIM ter sido inicialmente desenvolvido com o enfoque nos projetistas e sendo algo relativamente novo para os construtores, estes reconhecem cada vez mais o valor acrescentado por esta tecnologia (McGraw-Hill Construction, 2009).

Ao longo destes últimos anos foram realizados bastantes casos de estudo sobre o ROI, que a tecnologia BIM permite alcançar.

A *Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering* (CIFE) baseada em 32 grandes projetos realizado em BIM indica benefícios como (Kunz e Fischer, 2012):

- ✓ Redução em 40% de trabalhos não orçamentados,
- ✓ Erro na estimativa dentro dos 3%;
- ✓ Redução em 80% no tempo de orçamentação
- ✓ Economia de 10% do valor de contrato resultantes da resolução de conflitos
- ✓ Redução de 7% no tempo de projeto

Na *Holder Construction Company*, Atlanta, Georgia foram realizados dois casos de estudo. O primeiro, um Hotel em Atlanta, Georgia, intitulado *Hilton Aquarium*, num projeto de 37M€ onde foi estimada uma economia de 0,2M€ correspondentes a 590 deteções de conflitos resolvidos antes da construção e evitando meses de atrasos e custos associadas. O segundo, um empreendimento comercial *One Island East Project*, projeto de 240M€ onde foram detetados 2.000 conflitos o que assumindo uma proporção idêntica ao caso anterior corresponderia a cerca 0,8M€ (Azhar *et al.*, 2008).

Apesar dos estudos referidos anteriormente serem importantes para uma análise custo-benefício, de implementação BIM numa empresa, a maior parte dos resultados levam a uma interpretação um pouco vaga por omitirem detalhes de cálculo do ROI, como a recolha dos dados e métodos de análise. Já um estudo conduzido por *Lee et al* (2012) sobre o ROI na implementação BIM num projeto de reabilitação urbana intitulado "*D3 City project*" conduziu a conclusões bastantes consistentes sobre o ROI. Neste estudo considerou-se a probabilidade de deteção dos erros utilizando o MT concluindo-se que o ROI variava entre 20 a 100%, se consideramos apenas custos diretos dos erros (*Lee et al.*, 2012).

Com base nestes valores rapidamente se conclui a sua grande viabilidade já que os custos de implementação rondam em média 1% do valor da construção (AGCA, 2006).

## 2.7. Implementação BIM

A AEC terá na implementação BIM um incentivo para maior transparência onde os lucros das empresas irão aumentar, impulsionando positivamente a reputação do setor. Os donos de obra terão de reconsiderar novos modelos contratuais e métodos de trabalho.

O BIM *framework* é benéfica para a Academia e para a Indústria gerando conhecimento, *templates* e ferramentas que podem auxiliar na implementação e aprendizagem BIM numa linguagem comum. Pode ser dividida em três dimensões (Succar, 2008):

- ✓ Os campos (*fields*) identificam os principais atores e dividem-se na área da tecnologia, processos e regulamentos;
- ✓ Os níveis (*stages*) de maturidade representam o que as partes interessadas precisam de implementar gradualmente e vai desde um estado pré-BIM, antes da implementação BIM, passando pelo nível de simples modelação do objeto, à colaboração e interação entre algumas partes interessadas (modelo colaborativo), até à integração total numa plataforma comum, resultando no IPD que integra pessoas, sistemas, áreas de negócio e práticas de comunicação.
- ✓ Por fim, a última dimensão trata da aplicação de diferentes disciplinas (*Lenses*) gera vistas de análise distintas no domínio BIM de acordo com a disciplina a que diz respeito (arquitetura, estrutura, redes de águas, sistemas de incêndio, sistemas de gás, AVAC, etc..).

Existem várias propostas e linhas de orientação de implementação BIM sendo a mais completa definida no programa de investigação da associação *Computer Integrated Construction*. Este, apesar de ser uma importante referência foca principalmente a implementação do ponto de vista do projeto, do gestor de projeto e da interoperabilidade entre entidades externas (CIC , 2010).

Num modelo BIM (3D), o primeiro passo é definir o que queremos do modelo, por exemplo, apenas visualização, extrair dados (e quais?), acrescentar dados, propriedades ou simplesmente discriminar os elementos de construção de modo a permitir que sejam representativos da execução da



construção. Dependendo em como se vai utilizar o modelo e da sua consistência, pode ser necessário refinar antes de se começar a utilizar, já que, raramente o modelo da fase de projeto, está de acordo com as necessidades do construtor (por exemplo dividir a laje de modo a simular juntas de dilatação ou subdividir as camadas de reboco e tijolo numa parede de alvenaria). Devido a isto, as construtoras têm vindo a desenvolver de uma forma estruturada e operacional os seus próprios modelos de construção dado que arquitetos e construtores idealizam o modelo de modos completamente diferentes. Construtores encontram maior valor nos modelos por eles criados, especificamente para a gestão do processo de construção (Salman Azhar, 2008).

O modelo BIM (4D/5D), seja o *software* da modelação inicial seja outra aplicação, vai permitir a ligação dos objetos do modelo ao software de calendarização e orçamentação. Diferentes programas de modelação trabalham com diferentes programas de planeamento e orçamentação. As principais partes interessadas podem ver (virtualmente) a construção a ser executada atividade por atividade e avaliar vários cenários *what if* de modo a garantir um uso mais eficiente de recursos.

A manutenção do modelo durante a fase de desenho e construção requer alguém responsável pela gestão do modelo colaborativo. À medida que cada entidade faz alterações é necessário em primeiro lugar estabelecer uma rota de aprovações e correr uma análise de deteção de colisões e erros. A clarificação das responsabilidades é um ponto fulcral, já que apesar da tecnologia BIM alterar radicalmente a forma de trabalhar das equipas, não muda as responsabilidades tradicionais do ponto de vista técnico, ético e social. O diálogo entre projetistas e construtores é a base do processo de submissão do projeto e ambos confirmam a validade do modelo e a sua interpretação antes da fase de compras e aprovisionamento. Trata-se de um diálogo mais complexo que permite otimizar custos e reduzir prazos, no entanto, o desenvolvimento do modelo por parte dos construtores requer a aprovação dos projetistas (Eastman *et al.*, 2003).

A tecnologia BIM permite dispor a informação em formato eletrónico, substituindo os métodos tradicionais de impressão de documentos. A extração de informação do modelo pode ser bastante vantajosa, veja-se por exemplo, um fabricante de estrutura metálica a quem é fornecido um modelo BIM com as definições geométricas, localização e propriedades do material, consegue rapidamente processar o pedido com a informação rigorosa extraída do modelo (Babic *et al.*, 2010).

O processo natural de alterações ao longo do ciclo de vida do projeto deve ser acomodado pela tecnologia BIM e até mesmo otimizado. A gestão das alterações tornar-se de fácil análise, mais transparente e organizada entre partes interessadas. Para garantir isto, é necessário que esteja definido um plano de comunicação onde todos os envolvidos garantam um modelo atualizado e sincronizado.

As responsabilidades no âmbito BIM variam em função das partes interessadas. Para os Construtores o processo de coordenação já é uma responsabilidade, sendo que o BIM não acrescenta tarefas neste âmbito, apenas facilita e otimiza. Às equipas de projetistas é exigido um maior esforço de integração e colaboração entre projetos. As entidades regulamentares devem estar preparadas para quando for apropriado adotar novas metodologias. Os DOs devem conhecer o valor de BIM e aceitar a partici-

pação nos custos de investimento necessários à sua implementação. Por último, as empresas de fornecimento de *software*, *hardware* e *networking* devem facilitar a integração total da tecnologia através do desenvolvimento de métodos para os vários membros da equipa de projeto para lançarem e atualizarem os dados sob sua responsabilidade, ou seja, garantir a interoperabilidade (AGCA, 2006; Wong *et al.*, 2009).

Na adaptação ao BIM cada membro deve contribuir com a sua informação e perceber a importância da sua qualidade. A implementação BIM envolve várias partes interessadas com diferentes âmbitos, expectativas e necessidades, que convergem no final para um objetivo comum de execução eficaz e eficiente de um empreendimento. Já que todos potencialmente podem beneficiar, todos devem suportar os custos inerentes ao uso e implementação desta tecnologia.

Geralmente, no decorrer da implementação existe um custo inicial necessário e uma perda de produtividade associada, enquanto se obtém os recursos necessários, e à medida que se evolui na curva de aprendizagem. Os construtores que ultrapassam a fase inicial, em média entre 6 a 8 meses, experienciam benefícios, incluindo aumento de produtividade, redução dos custos de garantias, redução de erros no terreno e por algum tempo uma vantagem competitiva à medida que o mercado atinge maturidade na utilização da tecnologia BIM. As principais barreiras incluem incerteza sobre matérias legais, aversão à mudança, custo de investimento inicial, tempo necessário de aprendizagem e falta de suporte da gestão de topo (AGCA, 2006).

No plano de implementação os principais pontos a serem abordados são os seguintes (NIBS, 2007):

- ✓ Identificação dos objetivos, valor estratégico e uso específico da tecnologia;
- ✓ Desenho do processo BIM - garantir que funciona com os processos existentes. Identificar onde os novos processos requerem mudanças na organização. Definir mapas de processo;
- ✓ Troca de informação e colaboração - partilhar informação nas várias fases é crítico para o sucesso, devendo-se garantir que a equipa seja flexível neste âmbito. Utilizar normas sempre que possível para facilitar a conduta de colaboração como a *National Building Information Modeling Standard<sup>TM</sup>* (NBIMS). Definir procedimentos internos;
- ✓ Infraestrutura tecnológica necessária - Requisitos de *hardware*, *software* e *network*. Como estas ferramentas trabalham melhor num ambiente colaborativo, são necessárias medidas que garantam o acesso à internet tanto na sede como no estaleiro de obra. Permitindo a atualização e sincronização do modelo independentemente do local de trabalho. A escolha de aplicações BIM deve ter em conta a simplicidade no uso, funcionalidade, interoperabilidade entre *software*, fornecedor reconhecido com capacidade de suporte, formação e o ambiente organizacional (*hardware*, comunicação entre a equipa e parceiros).

## 2.8. Mapeamento de Fluxo e Valor – MFV ou *Value Stream Mapping* - VSM

O VSM é uma ferramenta de aplicação comum de análise de atividades e dos seus desperdícios nas várias etapas do processo de uma organização. Tem como objetivo o aumento da eficiência das equipas de trabalho reduzindo tempos de ciclo e custos nos processos produtivos (Vonderembse *et al.*, 2006).

Inicialmente criada para as indústrias com características de produção em série, esta ferramenta consiste no mapeamento do fluxo de produção, desde a matéria-prima até ao produto final para o consumidor (Rother e Shook, 1998). Pode ser facilmente adaptada à análise de melhoria de processos internos de qualquer empresa em qualquer processo de negócio.

É aplicada da seguinte maneira (Abdulmalek e Rajgopal, 2007; Clemente, 2012):

- ✓ Seleção de processos que se pretendem tornar mais eficientes;
- ✓ Mapeamento do estado presente dos processos e descrição das suas relações;
- ✓ Análise dos processos identificando problemas e desperdício;
- ✓ Proposta de alterações para melhoria;
- ✓ Desenho de um estado futuro;
- ✓ Implementação dos novos processos.
- ✓ Verificação e análise das alterações efetuadas.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Estratégia

A seleção do tema e formulação do problema resultou de um esforço conjunto entre a Universidade Nova de Lisboa e a empresa Stap conseguindo-se uma sinergia entre os objetivos académicos e os interesses e expectativas da indústria.

A estratégia de investigação escolhida e mais adequada ao tema central é baseada na metodologia *Action Research* (Lewin, 1946). Esta permitiu desenvolver soluções para problemas constantes e progressivos através da integração do autor da dissertação na estrutura organizacional da empresa e nas equipas no terreno num trabalho colaborativo envolvendo ainda a sua participação ativa nas alterações resultantes à organização.

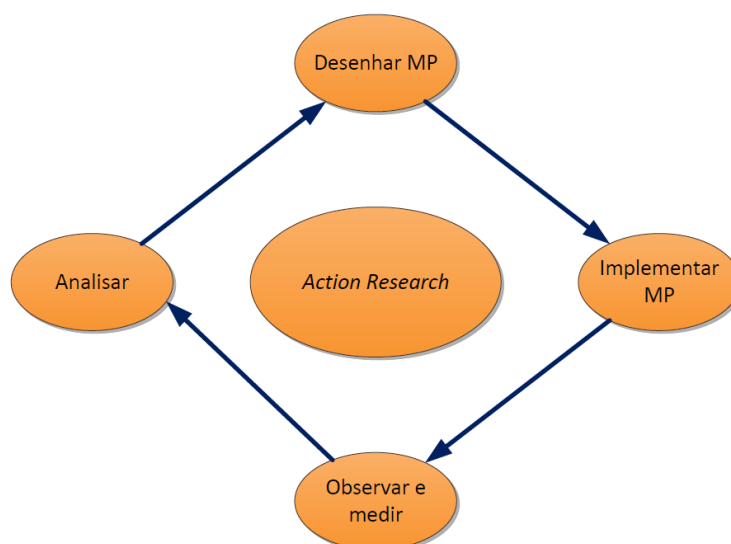


Figura 3.1- Esquema da estratégia seguida *Action Research*.

#### 3.2. Objetivos específicos

- ✓ Mapa de processos organizacionais BPMN (estado presente e futuro);
- ✓ Mapeamento do fluxo de valor (VSM) ao nível de grupos específicos de atividades de planeamento, controlo e execução de obras de reabilitação (estado presente e futuro);
- ✓ Modelação BIM de uma obra em curso com base em projeto 2D.

#### 3.3. BPMN

Foram analisadas as principais normas (*Standards*) e boas práticas de organização e gestão de obras como por exemplo as normas ISO9001, PMBOK® e vários outros autores com diferentes áreas de formação e experiência. A própria experiência do autor da dissertação, que conta com cinco anos de

experiência na direção de planeamento e controlo de obra, foi útil no enquadramento e direcionamento do esforço nos pontos mais problemáticos da gestão da construção.

Na sequência da recolha de informação, foram definidas as atividades internas, informação requerida em cada uma delas e a interação organizacional, através do BPMN, para a sistematização de processos de negócio e criação de fluxogramas.

Foi caracterizado o estado presente relativo ao fluxo interno de atividades operacionais/administrativas, existentes no MT, e o estado futuro, através do mapeamento de processos de funcionalidades BIM e da sua integração nos processos pré-existentes do MT. O desenho do estado futuro assentou numa análise ao valor potencial BIM com base nas principais linhas de orientação e referências BIM e na recolha de funcionalidades BIM que substituíssem as tradicionais garantindo maior eficiência e qualidade da informação.

O mapeamento de processos BPMN foi realizado de Janeiro a Março de 2012.

### **3.4. Caso de estudo**

O caso de estudo foi realizado na empresa Stap onde foram implementadas novas atividades nas áreas departamentais de produção, planeamento, contabilidade e qualidade de acordo com o método proposto (MP). Para o efeito foi ainda necessário implementar numa obra específica que reunisse as condições necessárias de aplicação, de duração superior a um ano e com um elevado número de projetos de especialidade envolvidos.

#### **3.4.1. Análise VSM**

Foi utilizado o VSM para analisar um conjunto pré-definido dos processos mais relevantes, para o MT e o MP.

O VSM do estado presente foi realizado considerando o mapa de processos BPMN do MT e através da análise individual das atividades, dos tempos com valor acrescentado, os tempos de desperdício e as condicionantes existentes.

Os critérios para identificação e quantificação dos desperdícios foram definidos previamente para todos os processos, de acordo com o Quadro 3.1:

Quadro 3.1 – Padrão de tempos de desperdícios.

Processos	MT - Tempos de desperdício a registar	MP - Tempos de desperdício a registar
Modelação BIM	-	Resolução de erros específicos de instabilidade do software de modelação. Parametrização adicional. Criação de raiz de famílias ou componentes. Pesquisa de informação de técnicas avançadas de modelação
Preparação de peças desenhadas	Erros de pormenorização. Desenhos complementares adicionais. Integração e compilação das peças desenhadas das várias especialidades inc/ alterações ao projeto.	Definição de características de visualização do <i>software</i> e dos <i>layouts</i> das peças desenhadas.
Compatibilização de projetos e deteção de conflitos	Duração total x % de erros não detetados	Duração total x % de erros não detetados. Correção de conflitos de erros de modelação
Medições do projeto de execução	Erros nas medições do projeto.	Erros nas medições do projeto.
Autos de Produção	Erros nas medições do projeto. Deslocações ao terreno para medição dos trabalhos.	-
Esclarecimentos, erros e omissões	Falta de entendimento comum e de suporte de visualização. Reuniões desnecessárias quando a análise 3D seria suficiente para esclarecer.	-
Planeamento e Coordenação de subcontratados e preparação de consultas - shop drawings	Preparação de desenhos 2D para compilação técnica por especialidades. Medições feitas no terreno com os subempreiteiros para aferir quantidades realizadas.	-
Aprovisionamento e notas de encomenda	Compilação manual e <i>ad hoc</i> de ficheiros Excel® com medições de trabalho a realizar e quantidades de material.	Imputação manual de dados
Telas Finais /Atualização do Modelo e as <i>built</i>	Trabalho de replicar em todas as vistas 2D, as atualizações decorrentes de alterações de projeto	Pesquisa de famílias de elementos específicos para inserção no modelo.

Para que a base de comparação fosse a mesma, assim que foram sendo registados os valores do estado presente, foi simulada, paralelamente a integração das funcionalidades BIM, de forma a otimizar o fluxo de processos e diminuir o desperdício do MT, de acordo com o BPMN do MP, resultando na análise VSM do estado futuro.

Pretendeu-se garantir, que não houvesse interferência entre o MT e o MP, contando a obra, com duas equipas distintas, uma que aplicou o fluxo de processos do MT e outra que aplicou o fluxo de processos do MP.

### 3.4.2. Modelo BIM

Como referido anteriormente foi necessário implementar o método proposto em contexto de produção, ou seja, numa obra específica de reabilitação. Sendo assim, a modelação assentou em duas fases de obra distintas, a primeira consistiu num levantamento do edifício existente e a segunda de modelação da intervenção de reabilitação sobre esse modelo existente. Isto com recurso às peças desenhadas e escritas do projeto de execução, nomeadamente:

- ✓ Arquitetura;
- ✓ Fundações e Estrutura;
- ✓ Sistemas de Desenfumagem e Climatização (AVAC);
- ✓ Rede de Abastecimento de Gás Natural;
- ✓ Rede de Abastecimento de Água e Serviço de Incêndio;
- ✓ Rede de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Pluviais.

Assim, foi compilado um modelo central BIM da obra integrando as disciplinas de arquitetura e especialidades relevantes para o caso, identificadas acima, utilizando a aplicação *Autodesk® Revit® 2013*.

A modelação BIM decorreu entre o período de Julho de 2012 a Março de 2013, tendo sido permanente o acompanhamento da obra e das atividades realizadas em sede.

#### **3.4.3. Metodologia de recolha de dados**

A informação foi recolhida através de observação direta, monitorização das atividades na obra e na sede e reuniões de trabalho com os vários intervenientes. Foram ainda utilizados testemunhos dos colaboradores assim como registos de controlo orçamental da obra, onde foram apontados diariamente, segundo os critérios definidos, os tempos e recursos utilizados nas principais atividades. No caso da recolha de informação nas atividades de compatibilização de projetos foram ainda identificados e registados o número de conflitos detetados no MT e no MP.

#### **3.5. Análise dos resultados**

Depois de implementado o MP integrando BIM nos processos organizacionais avaliaram-se as alterações, a adequabilidade e a vantagem do uso BIM. Esta análise foi feita através da comparação, dos tempos e custos operacionais e administrativos em obra e sede e a qualidade da informação, do MT com o MP.



## 4. MÉTODO PROPOSTO

O presente capítulo pretende descrever a execução das várias etapas definidas na metodologia. Contempla um enquadramento inicial da empresa e da obra no qual o caso de estudo se insere.

Engloba a análise dos processos tradicionais do negócio deste tipo de empresas e apresentação do mapa de processos organizacionais, do estado presente ou MT. Sobre a análise do estado presente é proposto e analisado um novo mapa, representando o estado futuro e integrando a tecnologia BIM.

Por último, é feita a análise da construção do modelo BIM realizado em obra e apresentados os resultados do mapeamento do fluxo de valor (VSM). A metodologia seguida revelou-se de fácil compreensão e implementação prática o que conduziu a resultados positivos de fácil identificação e análise.

### 4.1. Descrição do caso de estudo

Nesta secção é apresentado o caso de estudo em duas vertentes. A primeira num âmbito organizacional e da estrutura operacional da empresa, a segunda, numa vertente de produção e de aplicação prática a uma obra previamente selecionada.

#### 4.1.1. Estrutura organizacional da empresa

A Stap foi fundada em 1980 para exercer atividade no sector da construção e obras públicas. Desde o início que a sua vocação focava a reabilitação, dando especial importância aos trabalhos com elevado grau de especialização e à utilização de materiais novos e tecnologias inovadoras. A empresa realiza obras em todo o território nacional, dispondo de três escritórios localizados em Lisboa, Porto e Portimão.

Ao nível da sua estrutura organizacional a empresa está dividida em quatro áreas distintas. A Área Administrativa e Financeira a qual é constituída pelo departamento de recursos humanos, departamento de informática, comunicação e frota e departamento financeiro (DF). A área comercial que é constituída pelo departamento comercial (DC). A área de produção (DP), constituída por três delegações, Centro, Norte, Sul e ainda o armazém e estaleiro central. Por fim, a área de apoio à gestão constituída pelo departamento de qualidade, segurança e ambiente (DQSA), departamento de planeamento e controlo de gestão (DPC) e departamento de apoio às compras (DAC).

Deste conjunto de departamentos destaque-se para este trabalho os seguintes. O DC, responsável pela gestão de solicitações dos clientes para prestação de serviços no âmbito da atividade da empresa, desde a receção da consulta até à eventual adjudicação da proposta. O DPC, responsável pela preparação e controlo económico das obras colaborando ativamente com o DP, ao qual cabe a direção, execução de obras e a gestão dos recursos e meios afetos. O DF, que garante as obrigações fiscais da empresa e que em conjunto com o DPC, define as naturezas contabilísticas e os centros de custos para

efeitos de controlo de gestão. Por último, o DAC responsável pelo aprovisionamento de bens, incluindo serviços, materiais e equipamentos.

Para o desenvolvimento do trabalho foi necessário analisar os vários processos gerais e procedimentos documentados internamente, nomeadamente:

- ✓ PG.DOC - Gestão documental;
- ✓ PE.S.COM - Comercial;
- ✓ PE.S.PCO - Planeamento, execução e controlo das obras;
- ✓ PE.S.CPR - Compras;
- ✓ PE.S.PRJ - Controlo de projetos;
- ✓ PG.FIN - Gestão financeira.

#### **4.1.2. Obra**

De entre um leque grande de obras em curso na Stap, foi a obra para a C.M. Setúbal, no âmbito do Programa de Regeneração Urbana do Centro Histórico de Setúbal (RESET) intitulada “Refuncionalização do Edifício Círculo Cultural de Setúbal – Casa da Cultura”, que reuniu as condições mais favoráveis à execução deste trabalho. O critério de escolha passou por uma obra cujo início coincidissem com a definição da metodologia, com um prazo previsto de um ano e valor superior a 2M€ e de elevada complexidade ao nível dos projetos de especialidade envolvidos.

O projeto de execução da obra consistia na reabilitação de um edifício devoluto, incluindo várias especialidades como: Arquitetura; Fundações e Estrutura; AVAC; Rede de Abastecimento de Gás Natural; Rede de Abastecimento de Água e Serviço de Incêndio; e Rede de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Pluviais.

O edifício existente estruturalmente era constituído por paredes exteriores em alvenaria de pedra com uma espessura variável de 0,70 a 2 m. A estrutura dos pavimentos do piso 1 e 2 era em barrotes de madeira sobre o qual assentava um soalho em madeira. A estrutura da cobertura era constituída por um sistema de barrotes e ripado de madeira, sobre o qual assentava telha cerâmica Marselha.

A reabilitação do edifício pretendeu criar espaços para uma escola de música, um centro de documentação e divulgação da música popular e de intervenção, um espaço ligado às artes plásticas e galeria de exposições, a casa municipal da juventude, um bar / restaurante e diversos espaços para reuniões, estúdios de gravação e ensaio.



Figura 4.1- Esquerda – Vista geral do edifício devoluto. Direita – Alçado Norte do edifício devoluto, zona da chaminé de alvenaria de pedra.

Da estrutura antiga do edifício foram mantidas as paredes-mestras de alvenaria em pedra e erguida uma nova estrutura interior metálica e de betão armado, assente em maciços de betão armado e microestacas. A cobertura existente foi substituída por outra e assente em asnas metálicas revestida de chapas em cobre. Nos acessos entre pisos, foi mantida a escada existente entre os piso 0 e o piso 1, montada uma nova escada metálica entre o piso 1 e 2, colocado um elevador circular em vidro de acesso a todos os pisos e montadas escadas metálicas exteriores de emergência para evacuação.



Figura 4.2 - Esquerda – Demolições no segundo piso (paredes, pavimento e cobertura). Direita - Antiga estrutura de madeira de suporte da cúpula.



Figura 4.3 - Esquerda – Substituição da antiga escada de madeira por escada metálica. Direita - Nova estrutura metálica de suporte da cúpula.



Figura 4.4 - Esquerda – Fosso do elevador. Direita - Nova estrutura metálica.

A rede de abastecimento de águas foi substituída por tubagens em Polietileno de Alta Densidade (PEAD), Aço Inox AISI 316L e Aço Galvanizado.

A rede de drenagem de águas residuais domésticas foi substituída por material de Policloreto de Vinilo (PVC) enquanto a rede de drenagem de águas residuais pluviais por Polipropileno.

Os sistemas de AVAC são compostos por meio de redes de tubagem em ferro preto, instaladas no interior dos tetos falsos.

As instalações elétricas são constituídas por tubos isolantes para fixar às paredes, tetos ou para embeber em paredes e do tipo ERM para embeber no pavimento.

Nas figuras seguintes apresenta-se um pequeno resumo fotográfico para visualização da obra.

## 4.2. Mapeamento BPMN

O sucesso da implementação está diretamente ligado ao rigoroso levantamento dos processos organizacionais existentes e à determinação e gestão dos requisitos de colaboração. Os requisitos incluem a quantificação e documentação das necessidades e expectativas das partes interessadas, neste caso, dos departamentos internos. Com isto, torna-se essencial mapear os processos organizacionais internos da organização e identificar a troca de informação (extração de dados) que ocorre entre departamentos. Como referido na metodologia, para se conseguir a integração BIM na organização, foi necessário

distinguir dois cenários. O estado presente, relativo ao fluxo interno de atividades operacionais/administrativas, existentes no MT, e o estado futuro, relativo à inclusão de funcionalidades BIM que acrescentam valor aos processos internos.

#### 4.2.1. Estado Presente

No estado presente (Figura 4.5) o mapa de processos pretende representar as relações internas organizacionais existentes, em empresas de construção, através de um levantamento dos procedimentos internos operacionais, normas de certificação de qualidade ISO e das boas práticas recomendadas na literatura.

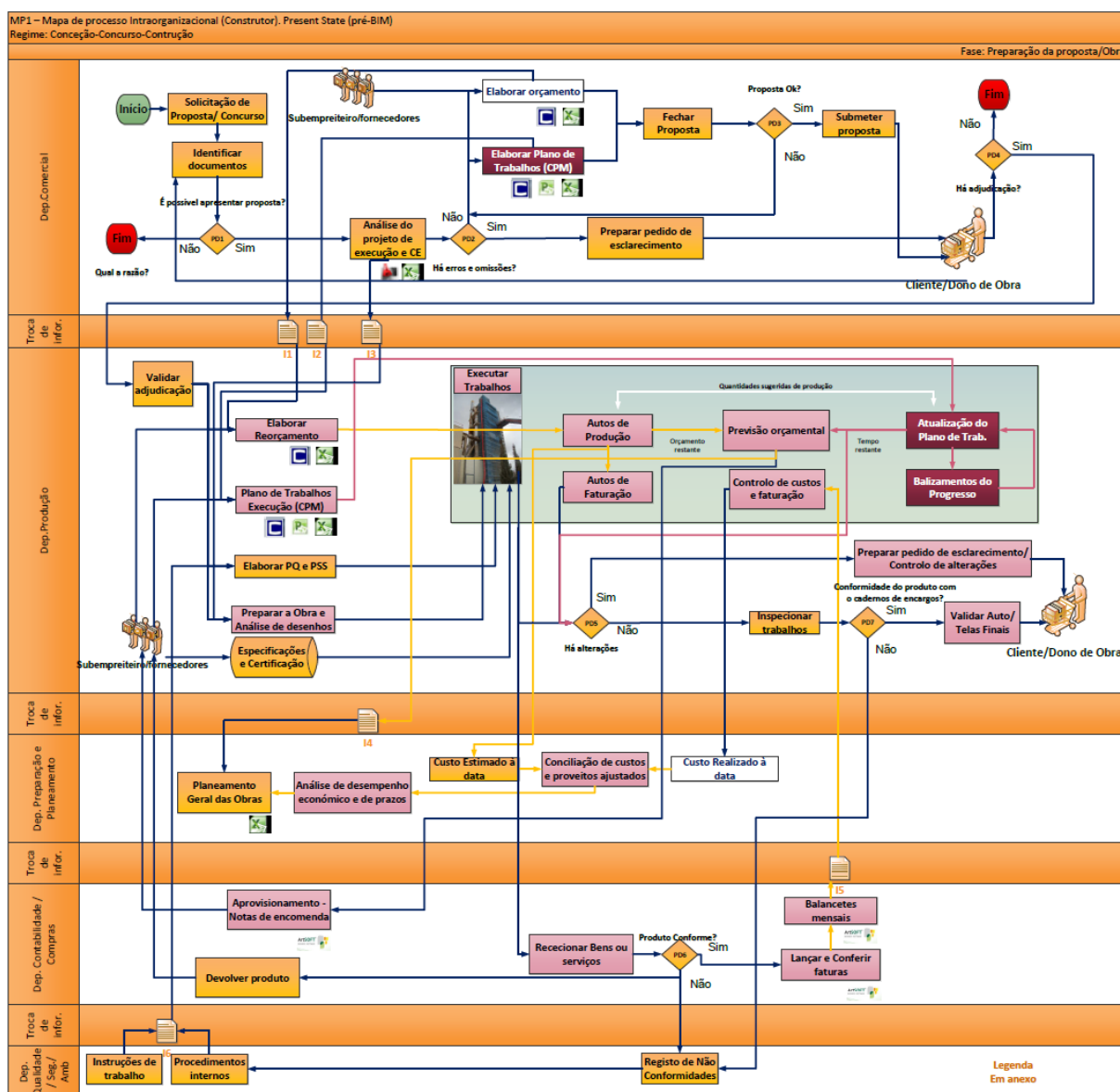


Figura 4.5 - BPMN - Mapa de Processos pré-BIM (intraorganizacional)

Neste setor da AEC, inicialmente é feita uma solicitação externa de proposta ou a submissão a um concurso, de carácter privado ou público, que é tratado pelo DC. Assim é atribuído ao processo uma equipa responsável pela elaboração da proposta, que, utilizando *software* específico, prepara o orça-

mento através da constituição de fichas de preços com os recursos necessários à execução dos trabalhos (consultando diversos fornecedores e subempreiteiros especializados). Neste processo é também elaborado o plano de trabalhos (PT), para efeitos de concurso, assim como os correspondentes cronogramas de recursos, exigidos no programa de concurso.

Caso exista adjudicação, a informação compilada na fase do concurso, é passada para a DP, como por exemplo, o articulado com custos previstos e valores de venda, o PT com gráficos de barras e o projeto de execução. No período decorrido entre a adjudicação e o início dos trabalhos, o DP valida a adjudicação e nomeia um diretor de obra, que em conjunto com o responsável do DPC planifica o desenvolvimento de atividades, prevendo as necessidades de mobilização de meios, consultas a realizar aos fornecedores e o aprovisionamento de recursos. Na fase de preparação da obra, o DPC nomeia um preparador de obra para que conjuntamente com o diretor de obra e restante equipa de produção iniciem o processo de preparação de peças desenhadas para execução, compatibilização de projetos e esclarecimentos de dúvidas, erros e omissões.

Geralmente, do seguimento dos procedimentos específicos de planeamento de obras, são constituídos dois documentos essenciais à gestão tradicional da obra (que resultam da informação anterior cedida pelo DC):

- ✓ PT para a execução;
- ✓ Reorçamento,

Estes, ao serem integrados levam a previsões orçamentais e a cronogramas de mão-de-obra, equipamento e materiais.

O PT pode ser realizado recorrendo a software tipo *CCS Candy*<sup>®</sup>, ou equivalente, definindo as sequências das atividades, assim como o tipo de ligação existente, de modo a simular no programa o processo produtivo. O reorçamento consiste numa reavaliação, por parte da direção de obra, dos recursos que cada artigo do mapa de quantidades (MQ) necessita para ser executado, constituindo se possível uma base mais concreta do que a do orçamento que deu origem à proposta. O aprovisionamento dos recursos necessários à execução da obra são da responsabilidade do DAC que faz a expedição de notas de encomendas, lança e confere as faturas dos bens rececionados em obra.

O diretor de produção valida o reorçamento e o PT, que será deixado a cargo da DPC, permanecendo até à conclusão da obra como uma referência constituindo a *baseline* para acompanhamento do desenvolvimento da obra. A sua alteração só será permitida em casos devidamente justificáveis.

Iniciada a obra e logo que seja definida uma estimativa de custo e prazo, deve ser estipulada a previsão orçamental como base de comparação para a avaliação do avanço da obra. Mensalmente são elaborados vários documentos e relatórios, desde os custos e benefícios mensais e acumulados, aos desvios verificados de prazos e custo. Cabe ao DPC o envio mensal dos balanceamentos das obras, extraídos do ERP, aos respetivos diretores, com os custos reais considerados na contabilidade da empresa, sendo que, cabe à direção de obra comunicar os necessários ajustamentos aos custos ou aos proveitos para uma análise correta dos resultados económicos.



No decorrer da obra, são medidas as quantidades de trabalho realizado, à data e previsto à conclusão, para a elaboração dos autos mensais de produção. São ainda registados trabalhos a mais ou a menos consoante a execução real do projeto assim o determine.

No controlo mensal, o valor estimado para as quantidades realizadas é então comparado com os custos reais mensais, assim como os desvios relativos aos prazos do PT. Ainda decorrente do controlo mensal são enviadas para a DF as faturas a emitir aos clientes.

#### 4.2.2. Estado Futuro

A análise ao valor potencial BIM e os principais processos a implementar no MP são identificados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Uso BIM para o MP.

Uso	Potencial de Ganhos	Descrição
Peças desenhadas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Atualizar automaticamente as peças desenhadas por extração direta do modelo 3D paramétrico;</li> <li>✓ Aumentar a comunicação entre equipas de construção e projeto.</li> </ul>	Utiliza o modelo para extração de peças desenhadas com componentes 2D e 3D para serem utilizadas na frente de obra durante a construção.
Coordenação	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Maior precisão e eficiência, que no MT, na utilização de desenhos 2D;</li> <li>✓ Reduzir custos e tempos de operação;</li> <li>✓ Coordenar o projeto através de um modelo;</li> <li>✓ Eliminar conflitos no terreno.</li> </ul>	É realizada a deteção automática de conflitos entre os vários projetos de especialidades. Apoia o processo de coordenação do trabalho no terreno, já que antecipa a deteção de problemas antes da construção ou instalação.
Registo de dados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Compilar registos históricos;</li> <li>✓ Reduzir disputas e contestações (validação do produto pela comparação das especificações expectáveis do modelo com o produto final entregue);</li> <li>✓ Apoiar a gestão da manutenção e suporte da modelação de projetos de reabilitação ou renovação da infraestrutura;</li> <li>✓ Garantir a conformidade dos produtos rececionados.</li> </ul>	O modelo 3D contém a descrição precisa das condições físicas e ambientais de uma infraestrutura e dos seus elementos arquitetónicos, estruturais, mecânicos e outros equipamentos. Com atualização contínua do modelo e a capacidade de armazenar mais informação, o modelo apresenta a descrição precisa do espaço com ligação a informação como os números de série, garantias e histórico de manutenção de todos os componentes da infraestrutura. Pode conter ainda especificações dos componentes ( <i>as-built</i> ) que permite ao dono de obra monitorizar o projeto relativamente à conformidade do produto e validar autos de faturação e formalizar a receção do produto.
Planeamento da exploração e utilização do estaleiro da obra	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Identificar conflitos críticos de espaço e tempo;</li> <li>✓ Verificar se os métodos construtivos previstos são exequíveis;</li> <li>✓ Apoiar a preparação e organização do estaleiro e frentes de obra ao longo do progresso da construção;</li> <li>✓ Simular a utilização de instalações temporárias, áreas de montagem e entregas de material para todas as fases da construção.</li> </ul>	O modelo 4D é usado para representar graficamente, simultaneamente elementos permanentes e temporários com a calendarização das atividades de construção. Pode incluir recursos de mão-de-obra, materiais e associadas entregas e a localização do equipamento. Como os componentes do modelo 3D estão diretamente ligados à calendarização, a visualização do planeamento e dos recursos podem ser analisados ao longo de diferentes espaços temporais e físicos.
Planeamento da sequência construtiva	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Melhorar entendimento comum da programação da construção e das datas chave;</li> <li>✓ Melhorar o aprovisionamento e compras.</li> <li>✓ Antecipar a deteção conflitos entre frentes de trabalho;</li> <li>✓ Aumentar a capacidade de análise de soluções para resolução de conflitos;</li> <li>✓ Aumentar a produtividade e diminuir o desperdício</li> </ul>	O modelo 4D é usado para planejar efetivamente as fases de construção. É uma ferramenta importante de visualização e comunicação. Permite apoiar a implementação de planos de monitorização e prevenção de segurança e ambiente em obra.
Estimativa de quantidades e de custos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Automatizar a estimativa de quantidades e custo;</li> <li>✓ Aumentar capacidade de cumprimento do orçamento e do prazo;</li> <li>✓ Explorar diferentes opções de projeto mais vantajosas;</li> <li>✓ Reduzir o tempo de orçamentação;</li> <li>✓ Reduzir o tempo de aprovisionamento (<i>procurement</i>).</li> <li>✓ Melhorar as previsões (prazo e custo).</li> <li>✓ Aumentar o controlo sobre as alterações ao projeto.</li> </ul>	O modelo 3D é usado para a extração automática de quantidades de trabalho e estimativa de custos. Este processo permite de um modo eficiente ver o impacto de alterações, de modo a promover um melhor desempenho económico. Extração de desenhos para compras e quantidades em cada especialidade ou tipo de trabalho de modo a facilitar aprovisionamentos e encomendas.

Neste quadro (4.1), o uso BIM é focado nas peças desenhadas, na coordenação no terreno, no registo de dados, no planeamento da exploração do estaleiro da obra e das frentes de trabalho, na sequência dos trabalhos e na estimativa de quantidades.

Apesar da tecnologia BIM ser útil logo na fase de concurso, nesta dissertação o enfoque é a sua implementação sobre a fase de produção, ou seja, após a adjudicação.

No estado futuro para o MP (Figura 4.6), o mapa de processos do MT (Figura 4.5) sofre algumas alterações. Inicialmente, tal como no MT, a equipa de produção recebe do DC a proposta e a documentação preparada na fase de concurso (isto no regime CCC). Após a passagem da obra para a produção e no decorrer da reunião de arranque da obra, o DPC nomeia um gestor BIM, responsável pela modelação e quaisquer outros processos associados ao BIM, tais como os dados inerentes às TIC e a infraestrutura de suporte à partilha do modelo entre as várias entidades e equipas.

Segue-se a primeira fase do processo que trata da construção do modelo, que, poderá ser de raiz, através da importação de plantas CAD 2D do projeto de execução, ou se existir modelo BIM, a partir do modelo 3D existente. Esta distinção é importante porque determina o grau de esforço e custos necessários numa fase inicial com impacto direto no ROI. Em qualquer dos casos, é necessário fazer uma revisão aos componentes e avaliar o nível de detalhe (ND) necessário, adequando-o às necessidades do construtor. Neste MP é definido um ND mínimo para se obter os diversos *outputs* previstos, como os relatórios de conflitos, MQ, peças desenhadas 2D e perspetivas 3D e o modelo BIM em IFC. Estes, por sua vez, servirão de *inputs* nos processos de todos os departamentos envolvidos para o desenvolvimento das atividades operacionais e administrativas de gestão da construção.

A definição do ND é importante, dado que, o detalhe do modelo e o método de modelação está diretamente envolvido na qualidade e quantidade de informação extraída do modelo BIM. Assim, é necessário a constituição e utilização das mais variadas famílias e divisão em subcomponentes, por exemplo, a uma família de paredes devem ser atribuídos os subcomponentes como caixa-de-ar, panos de alvenaria, camadas de reboco, pintura e os materiais respetivos, de acordo com o caderno de encargos do projeto em questão. A modelação BIM poderá ser realizada de acordo com diferentes ND, desde que, no mínimo, siga o ND generalizado no MP:

1. Arquitetura - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos de construção, utilizando materiais genéricos com a criação de detalhe dos subcomponentes arquitetónicos). Devem ser modelados os seguintes elementos: paredes (não resistentes), pavimentos (incluindo de escadas), tetos e tetos falsos, vãos (portas, janelas, clarabóias, etc.), coberturas, coretes, equipamentos sanitários e cozinha genéricos;
2. Estrutura - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos de construção, utilizando materiais genéricos com a criação de detalhe dos subcomponentes estruturais). Devem ser modelados os seguintes elementos (com pormenorização de armaduras): pilares, paredes (resistentes), lajes, vigas, escadas, caixa de elevador, elementos de fundação, de suporte de cobertura e de reforço sísmico;
3. Infraestrutura Hidráulica - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos. Devem ser modelados os seguintes elementos: toda a rede de tubagens, acessórios, equipamentos genéricos;



4. Sistema de Incêndio - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos. Devem ser modelados os seguintes elementos: rede de incêndio e acessórios genéricos (central de incêndio de representação genérica);
5. Infraestrutura de Gás - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos. Devem ser modelados os seguintes elementos: toda a rede de tubagens, acessórios, equipamentos genéricos;
6. Infraestrutura de AVAC - tem de incluir as características geométricas exatas dos elementos. Devem ser modelados os seguintes elementos: toda a rede de condutas, acessórios, equipamentos genéricos;
7. Infraestrutura Elétrica - considerou-se que as limitações ao nível do *software* ainda não permitem ganhos substanciais de produtividade. Assim sendo, não foi prevista a modelação das redes elétricas.

O potencial BIM é tanto maior quanto maior for o número e complexidade das especialidades envolvidas, assim como a maturidade em processos BIM dos projetistas, subempreiteiros e fornecedores, já que contribuem diretamente para a construção do modelo.

No decorrer da modelação, a equipa de produção recebe a informação resultante da modelação BIM, como o modelo para visualização e navegação, peças desenhadas 2D e 3D (que podem ser adaptadas às necessidades da obra), mapas de quantidades e relatórios de deteção de conflitos (para que seja dado seguimento à resolução conjuntamente com as outras partes interessadas).

O MP pretende garantir uma maior eficiência na interpretação, análise e medição das peças desenhadas do projeto. A comunicação entre equipas em obra e na sede é centralizada num modelo único da obra e sendo esta a única fonte informação o desperdício, resultante da consulta de peças desenhadas e quantidades desatualizadas é reduzido substancialmente.

Com a informação resultante do PT e do reorçamento, a calendarização de atividades e custos para executar os trabalhos integrados com o modelo 3D permitirá a análise de valor, ou seja, o estudo de soluções economicamente mais vantajosas e a simulação de cenários para apoio e justificação de decisões.

As compras realizadas pelo DAC são suportadas por informações resultantes do modelo, enviadas pelo DP, por exemplo, *shop-drawings* e fichas técnicas para pedidos de cotação de estruturas de betão pré-fabricado e estruturas metálicas, fornecimentos de tubagens e acessórios das várias especialidades, ou até mesmo encomendas de materiais (quantidades e especificação do material). A informação é assim enviada de uma forma mais rápida e normalizada, apresentando um rigor e precisão tal, que permitirá aos subcontratados e fornecedores, o envio da sua proposta num espaço de tempo mais reduzido, com menos dúvidas, mais competitivas e com menos risco de desvios nos custos e prazos assumidos.

Após a adjudicação dos trabalhos subcontratados são realizadas as notas de encomenda pelo DAC. Em obra, a conformidade do produto é assegurada pelo processo de registo de dados, através da

inclusão no modelo das especificações dos componentes como as características e propriedades do elemento a fornecer e instalar. Do ponto de vista do fornecedor e aquando da receção do produto é verificada a conformidade com o definido no modelo e na nota de encomenda.

A validação das quantidades assim como a conformidade do produto, por parte do cliente, assenta na verificação do real executado com o que está definido no modelo. Assim os autos mensais tanto para a faturação ao cliente como para a conferência de faturas dos fornecedores tem como base estas informações extraídas do modelo.

A constante atualização do modelo leva a que no final se consiga obter um modelo *as-built*, que comporta mais informação que as tradicionais telas finais, já que se trata de um modelo 3D com um conjunto de informações adicionais sobre o produto final entregue. Para o cliente este é certamente uma mais-valia, visto que poderá ser utilizado para a manutenção e gestão da infraestrutura (6D).

De referir ainda que, no MP, é importante distinguir os dois principais regimes contratuais em Portugal, CCC ou CC. O primeiro, o mais comum, leva a que a influência nas alterações, a participação e análise de valor do construtor seja reduzida e com isso também o potencial de utilização BIM. No segundo a utilização do BIM é bastante mais vantajosa, visto que é possível a integração numa fase inicial do projeto entre as diversas equipas do construtor, fornecedores, projetistas e dono de obra.

Em suma, o método proposto integra a modelação BIM e a sua operacionalização com os processos pré-existentes, resultando num maior controlo do projeto de execução, dos prazos e custos previstos potenciando um melhor desempenho financeiro da obra.

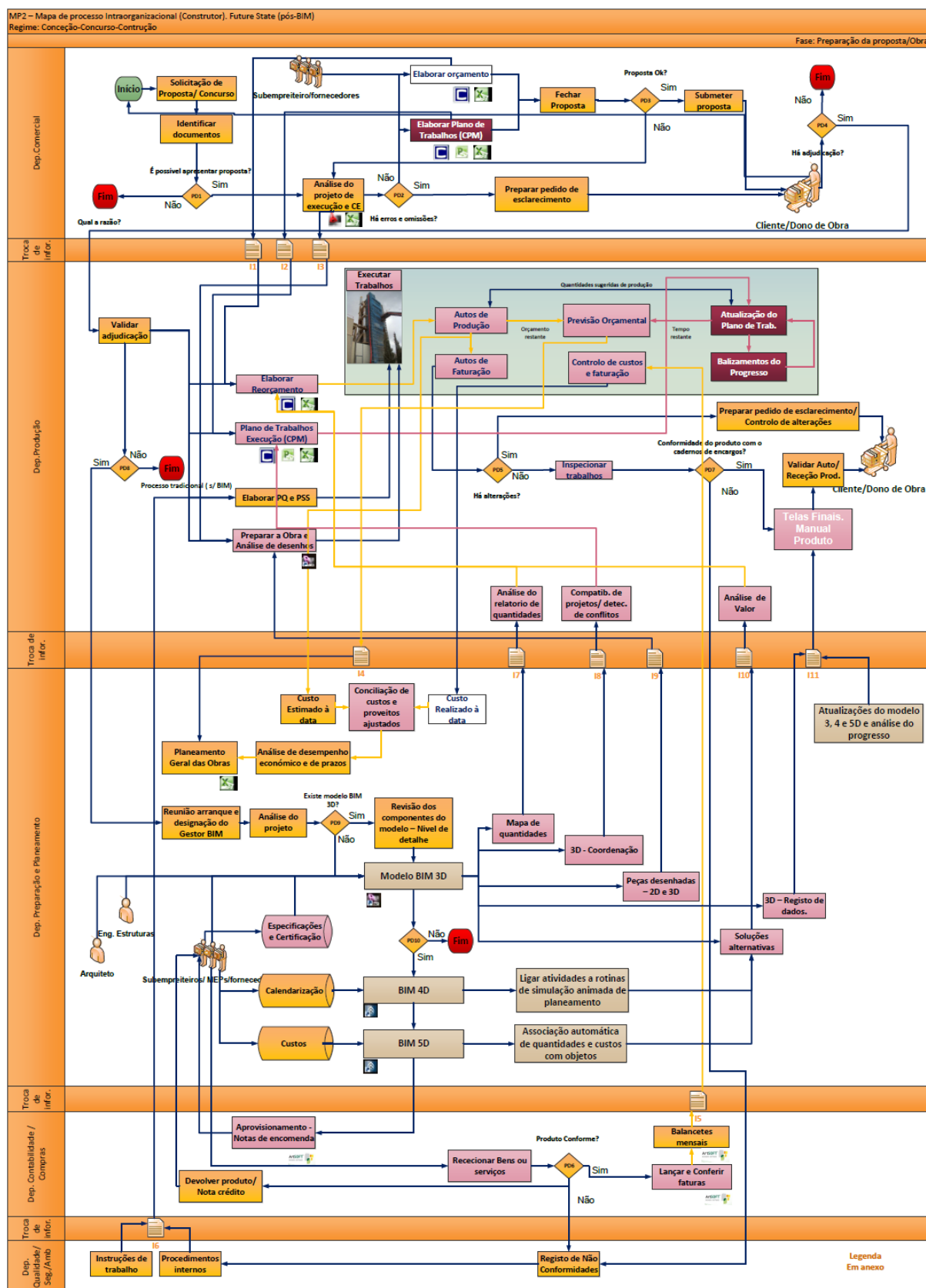


Figura 4.6 - BPMN - Mapa de Processos pós-BIM (intraorganizacional).

### 4.3. Implementação do MP em contexto de obra

#### 4.3.1. Criação do Modelo BIM

Como foi definido na metodologia a ferramenta BIM de modelação escolhida foi o *Autodesk Revit® 2013*.

A criação do modelo BIM foi dividida em três fases de modelação coincidentes com a própria evolução física da obra. Na primeira fase foi modelada a estrutura existente (Figura 4.7), através de peças desenhadas 2D de levantamento geométrico realizadas na fase de conceção do projeto.

Numa segunda fase foi simulada a demolição parcial da estrutura, mantendo alguns elementos da estrutura inicial como se pode ver na Figura 4.8.

Na terceira fase foram introduzidos os novos elementos estruturais e construtivos, como por exemplo sapatas, estacas de fundação, paredes em betão e toda a estrutura metálica e de madeira (Figura 4.9). Após a especialidade de estruturas estar concluída, prosseguiu-se para os restantes elementos que fazem parte do projeto de arquitetura: paredes não estruturais, tetos-falsos, portas, janelas, pavimentos e revestimentos (Figura 4.10).

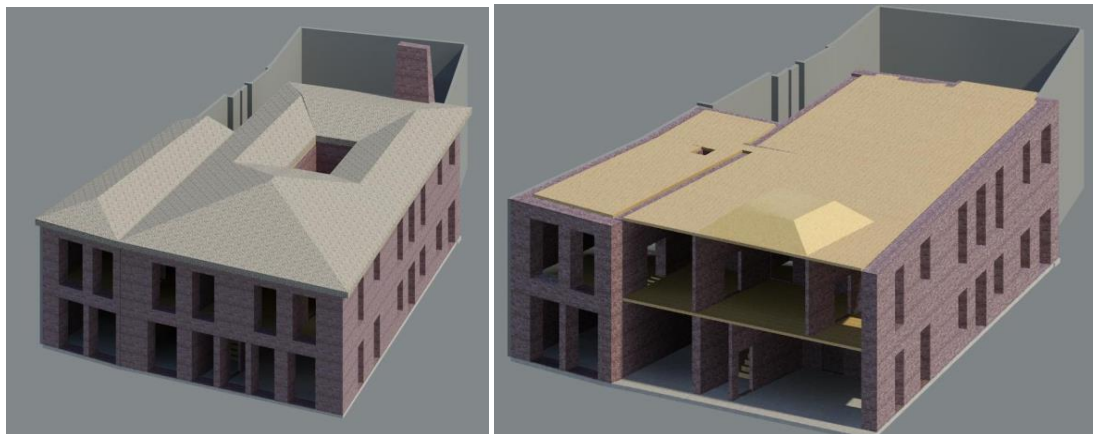


Figura 4.7 - Imagens do modelo BIM 3D fase de levantamento do edifício existente.

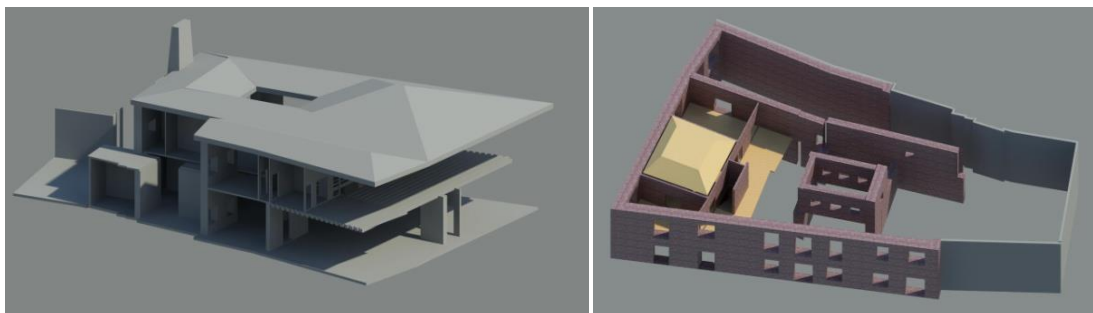


Figura 4.8 - Imagens do modelo BIM 3D fase de demolição parcial do edifício existente. Lado esquerdo elementos a demolir. Lado direito elementos a manter.

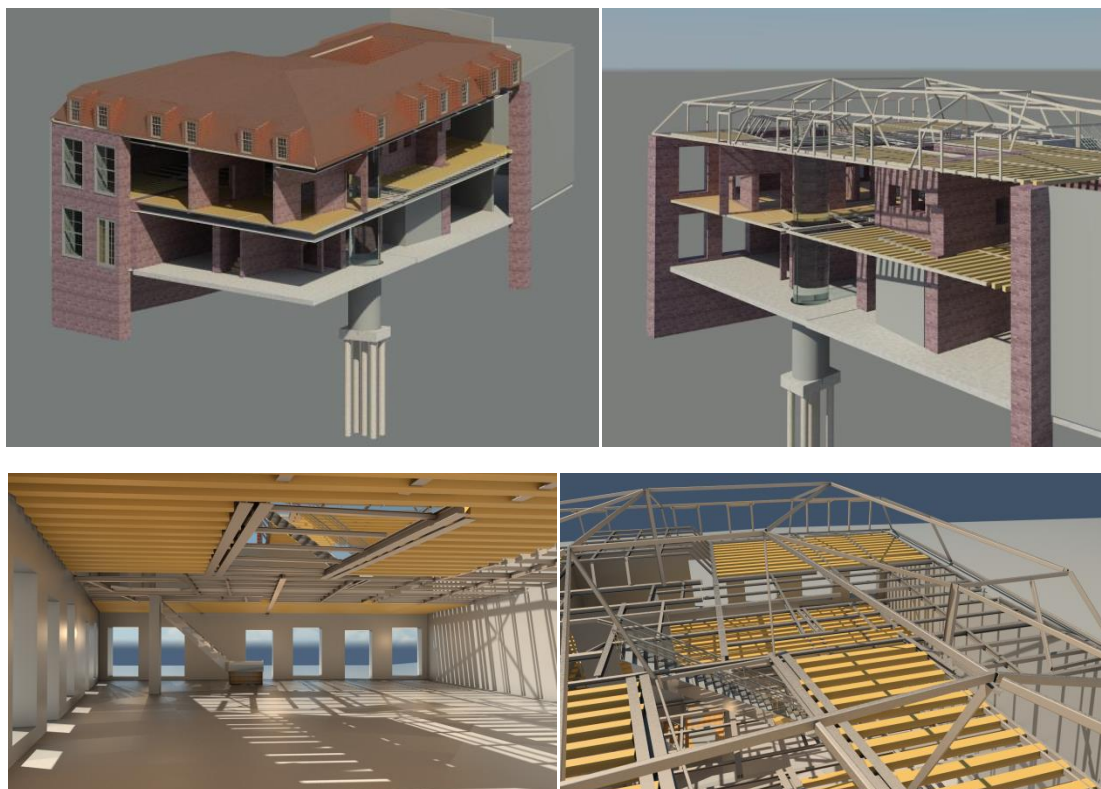


Figura 4.9- Imagens do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Especialidade Fundações e Estrutura.

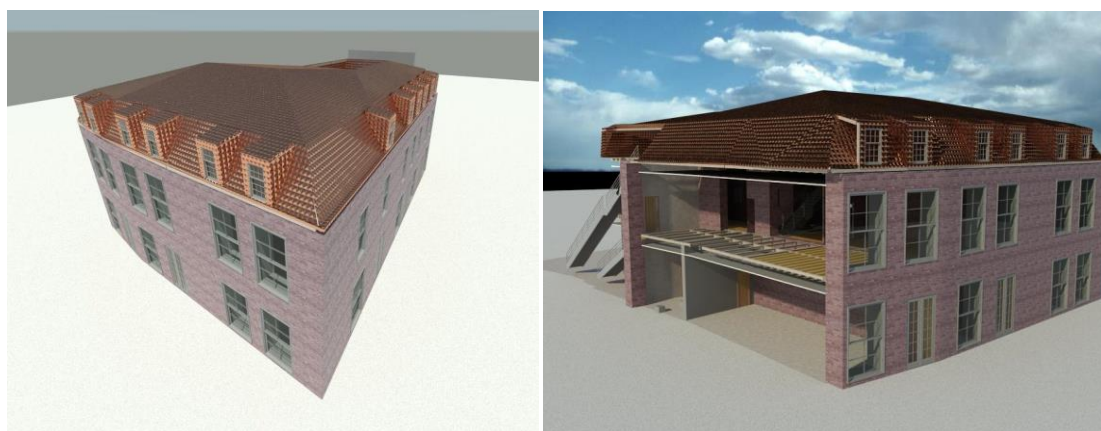


Figura 4.10 - Imagens do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Especialidade Arquitetura.

Finalizada a arquitetura procedeu-se à inclusão das restantes especialidades (Figuras 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14).



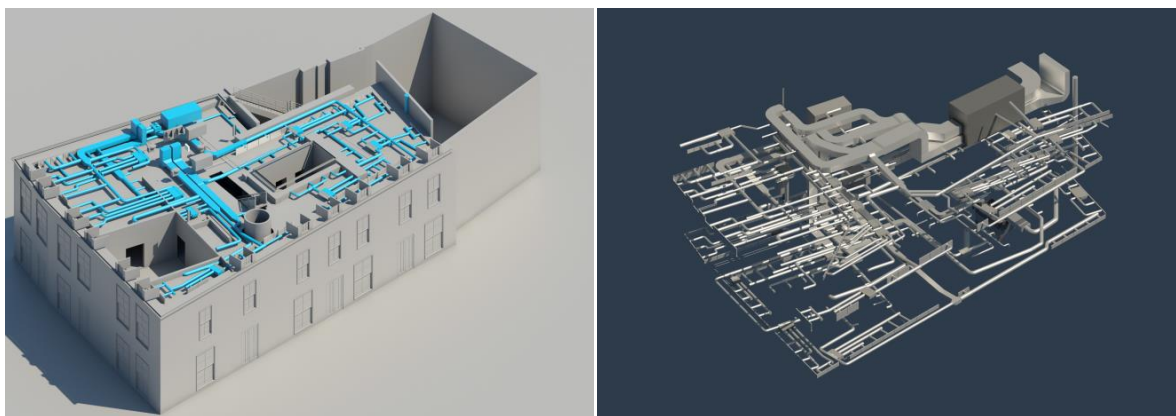


Figura 4.11- Imagem do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Sistemas AVAC.

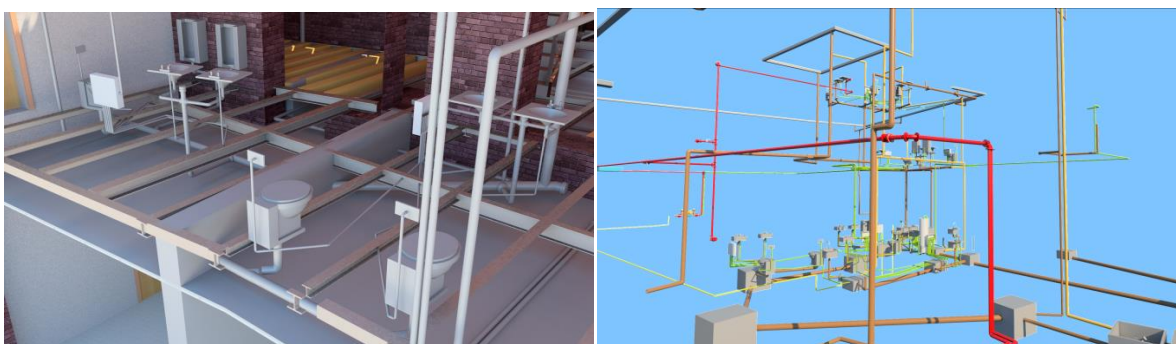


Figura 4.12 - Imagem do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Rede de Abastecimento de Água e Serviço de Incêndio.



Figura 4.13 - Imagem do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Rede de Drenagem de Águas Residuais Domésticas e Pluviais.

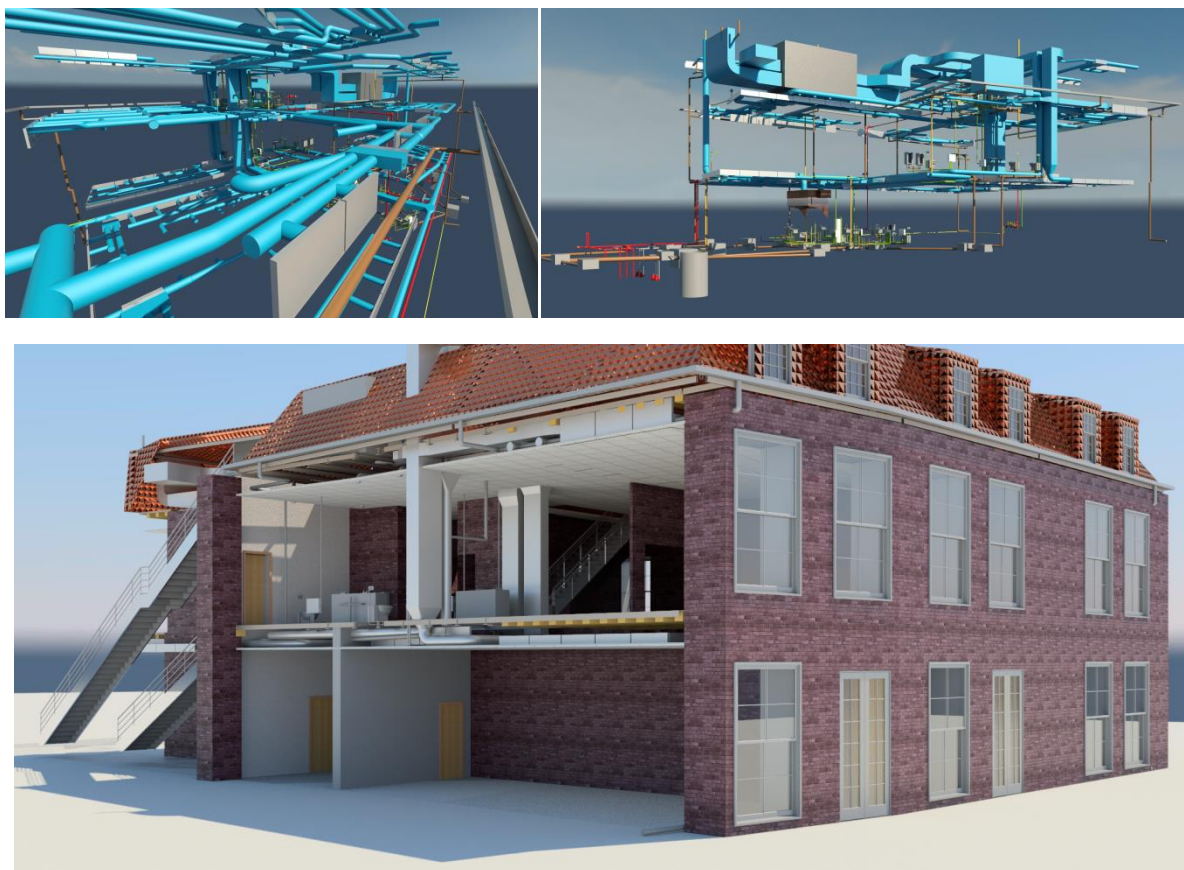


Figura 4.14 - Imagem do modelo BIM 3D fase de reabilitação do edifício existente. Instalações Especiais.

A modelação foi em parte realizada nas instalações da sede e parte no escritório da obra. Complementarmente foram promovidas diversas reuniões de trabalho, com a equipa da construtora, subcontratados, projetistas e arquiteto, para que os principais intervenientes acompanhassem a evolução da construção do modelo e pudessem de alguma forma contribuir para o seu bom desenvolvimento.

A modelação da arquitetura e estrutura foi realizada pelo autor da presente dissertação, enquanto, as outras especialidades foram realizadas pelo Eng.º José Clemente, da empresa Urban360.

#### 4.3.2. Análise VSM

De modo a medir os resultados da implementação no terreno do MP é apresentado, complementarmente, o mapeamento do fluxo de valor (VSM) ao nível de um grupo específico de processos considerados mais importantes (Figura 4.6 - caixas a magenta). Os dois métodos, o MT e o MP - BIM, desenrolam-se em paralelo e com equipas distintas, para que, no final pudessem ser medidos e comparados em contextos idênticos.

Conforme definido na metodologia o processo VSM consistiu em analisar o estado presente (MT) e identificar os processos com maior desperdício. Paralelamente ao MT foi testado o VSM futuro aferindo os resultados da implementação do MP, integrando BIM. A análise foi realizada de modo a registar o tempo de cada uma das atividades, em ambos os métodos.

### 4.3.2.1 Estado presente

Como referido anteriormente, o VSM do estado presente foi baseado no BPMN de um determinado conjunto de atividades do MT.

Foram registados os tempos de cada uma das atividades, através de um procedimento interno da empresa, de registo diário de atividades, em que o apontador da obra e o autor da dissertação registaram as horas das atividades e os tempos considerados como desperdício. Através da observação direta, em cada atividade desenvolvida diariamente, para além do tempo registado eram também identificados os recursos internos e externos envolvidos (Figura 4.15).

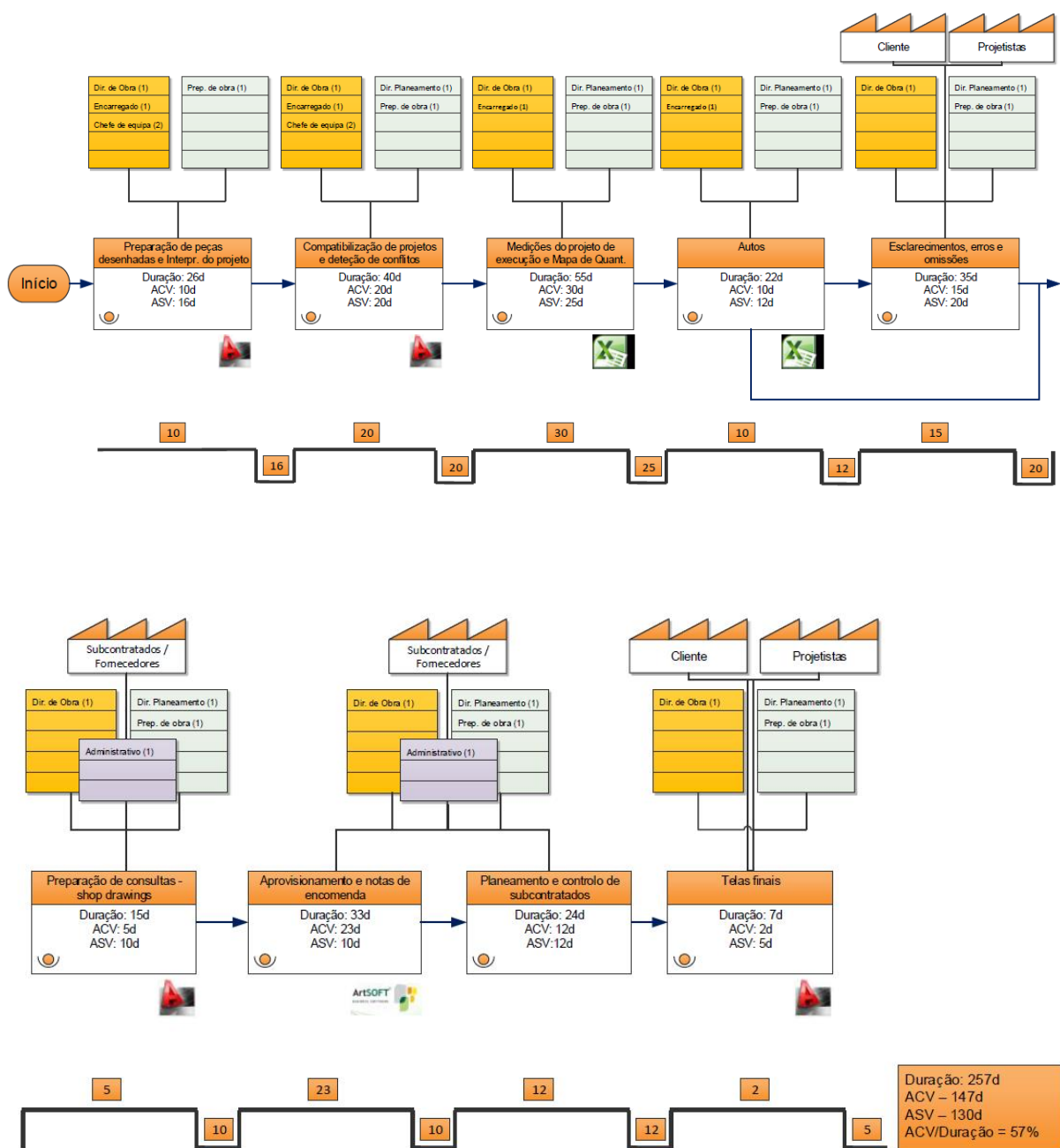


Figura 4.15 - VSM do estado presente (pré-BIM).



#### 4.3.2.1.1 Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas

Neste grupo de processos, foram realizadas reuniões para coordenação dos trabalhos na frente de obra e interpretação do projeto, organizadas e atualizadas as peças desenhadas e ainda pormenorizados elementos construtivos.

Nas reuniões estavam presentes o diretor de obra, o encarregado e os chefes de equipa. Com uma duração média de 3 horas por semana, estas serviram para transmitir às equipas no terreno quais os trabalhos preparatórios a realizar semanalmente.

As peças desenhadas eram acedidas e distribuídas por todos os intervenientes, sendo desenvolvidas pelo preparador de obra, que dedicava parte do seu tempo a esta atividade, garantindo ainda a atualização das peças e o controlo documental.

No total esta atividade registou um valor acumulado de 26 dias.

#### 4.3.2.1.2 Compatibilização de projetos e deteção de conflitos

Neste âmbito, nem se pode dizer que foram compatibilizados os projetos das várias disciplinas, já que, o MT apenas pressupõem uma sobreposição de plantas 2D das várias especialidades, o que torna possível identificar alguns conflitos, no entanto, não todos os que seriam possíveis detetar num ambiente BIM 3D. Esta atividade foi desenvolvida pelas equipas do DP e DPC e registou uma duração total de 40 dias.

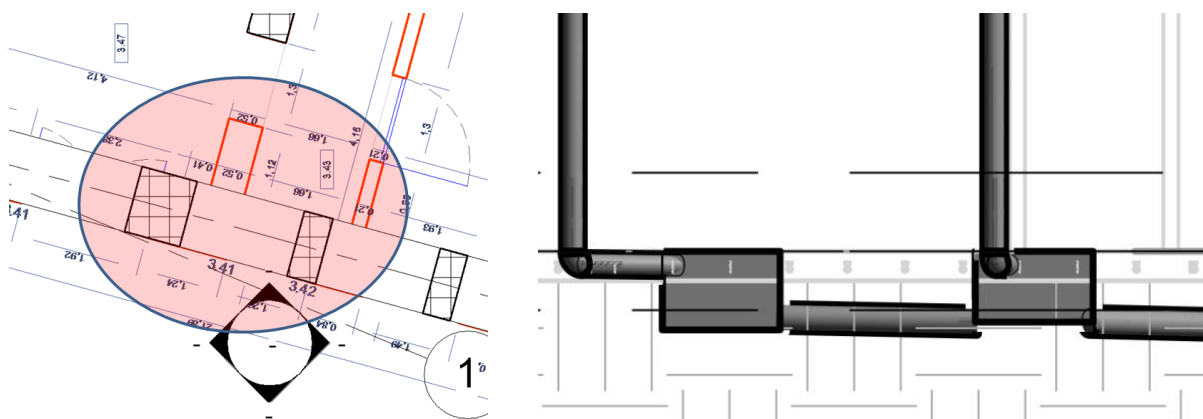


Figura 4.16 – Conflitos detetados no MT - Esquerda – Plantas sobrepostas de arquitetura e estrutura. Direita – Inconsistência entre as informações do projeto relativamente à inclinação (2%) e a altura das caixas de visita.

#### 4.3.2.1.3 Medições do projeto de execução e MQ

Esta atividade consistia na conjugação das medições do projeto em CAD, através das ferramentas de medição do *AutoCAD*<sup>®</sup> (demorou cerca de 33 dias), com a preparação de mapas de quantidades no *software Excel*<sup>®</sup> e *Candy*<sup>®</sup> (22 dias em acumulados). Estes mapas de quantidades foram a base do articulado do dono de obra que apresentava mais de mil artigos.

Esta atividade foi mais intensa nos primeiros três meses, pois foi este o período com maiores alterações e indefinições no projeto, levando muitas vezes à repetição do processo de medição. A atividade era desenvolvida pelo preparador de obra e o diretor de obra.

1.7 Selling bill of quantities									
<div><div></div><div>EditViewTools</div></div>									
<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>									

Figura 4.17 – Articulado do dono de obra - Imagem retirada do software Candy-CCS®.

#### 4.3.2.1.4 Autos de produção

Com a obra em curso, ao fim de cada mês foi realizado o acompanhamento mensal da produção o que englobava medições no terreno e registo do trabalho realizado. Esta atividade foi executada pelo encarregado, preparador e o fiscal de obra.

2.2 Primary Valuation Entry													
Auto 15 - Março: sáb 31 Mar 2012													
L	Item	Bill description	Unit	Bill quantity	Previous Actual qty	Actual Quantity	Previous Claim qty	Claimed Quantity	Previous Paid quantity	Paid Quantity	Final quantity	Actual % Bill	Actual % Final
1	I	Empreitada RESET - Refuncionalização do											
2	1	ESTALEIRO E TRABALHOS PRELIMINARES											
3	1.1	ESTALEIRO											
3	1.1.1	Montagem e desmontagem de todo o equi	un	1.00	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	1.00	90.00	90.00
3	1.1.1.A	Extensão de Estaleiro	un	0	1	1	1	1	1	1	4		25.00
3	1.1.2	Vedação da área do estaleiro com tapu	un	1.00	1	1	1	1	1	1	1.00	100.00	100.00
3	1.1.3	Execução de estrutura de protecção a	m2	89.60	0	0	89.6	89.6	89.6	89.6	0		
3	1.1.4	Elaboração e fornecimento do plano de	un	1.00	1	1	1	1	1	1	1.00	100.00	100.00
3	1.2	TRABALHOS PRELIMINARES											
2	2	DEMOLIÇÕES											
3	2.1	TRABALHOS INICIAIS											
3	2.1.1	Limpeza de entulho diverso no interio	un	1.00	1	1	1	1	1	1	1.00	100.00	100.00
3	2.1.2	Picagem até ao "osso" de todas as par	m²	1,225.44	1,225.44	1,225.44	1,225.44	1,225.44	1,225.44	1,225.44	1,225.44	100.00	100.00
3	2.1.3	Limpeza do terreno no pátio de todo o	m²	88.97	88.97	88.97	88.97	88.97	88.97	88.97	88.97	100.00	100.00
3	2.2	DEMOLIÇÃO E DESMONTE											
3	2.3	ARQUITECTURA											
3	2.4	FUNDAÇÕES E ESTRUTURA NOTA : Todos os a											
3	2.5	INSTALAÇÕES ELECTRICAS											
3	2.6	INSTALAÇÕES DE TELECOMUNICAÇÕES - ITED											
3	2.7	SEGURANÇA INTEGRADA											
3	2.8	SISTEMAS DE DESINFUMAGEM E CLIMATIZAÇÃO											
3	2.9	REDE DE ABASTECIMENTO DE GÁS NATURAL											
3	2.10	REDE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SERVIÇO											
3	2.11	REDE DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS DOM											
3	2.12	DIVERSOS											
3	2.11	TRABALHOS A MAIS											
1	II	Reabilitação das fachadas da Escola Prof											

Figura 4.18 – Auto mensal de quantidades produzidas - Imagem retirada do software Candy-CCS®.

O registo foi feito em papel, sendo depois transcrito para uma folha de cálculo, que por sua vez foi introduzida no *software Candy – CCS* para produzir o auto de produção e de faturação. Em acumulado, esta atividade demorou cerca de 22 dias.

#### **4.3.2.1.5 Esclarecimentos, erros e omissões**

No seguimento das atividades desenvolvidas a montante, de compatibilização e medições do projeto, foram realizados os esclarecimentos e a resolução dos erros e omissões detetados, através do agendamento de reuniões com as principais partes interessadas (projetista, fornecedores e o dono de obra). Em acumulado, esta atividade demorou cerca de trinta e cinco dias relativas a reuniões com entidades externas.

#### **4.3.2.1.6 Preparação de consultas – pormenorizações para aprovisionamento (*shop drawings*)**

A preparação de consultas foi baseada na organização de um conjunto de informações a enviar para o DAC para pedido de cotação a empresas da especialidade. A preparação da documentação foi realizada pelo DP e DPC (diretor e preparador de obra), como por exemplo, peças desenhadas e alguns pormenores específicos, de acordo com o tipo de trabalho a contratar e quantidades a realizar (essencialmente trabalhos a serem subcontratados integralmente).

Em acumulado, esta atividade demorou cerca de quinze dias relativos a todo o processo de preparação e compilação de informação necessária para as consultas ao mercado.

#### **4.3.2.1.7 Aprovisionamento e notas de encomenda**

Com base no conjunto de informações preparadas pelo DP e DPC foram enviados para o DAC os pedidos de aprovisionamento para que pudessem ser feitos os pedidos de cotação e as notas de encomenda respetivas. Esta atividade envolveu administrativos do DAC que recebiam da obra os requerimentos de quantidades de materiais necessários.

Em acumulado, esta atividade demorou cerca de 33 dias relativos à preparação de mapas de medição de trabalhos e materiais, análise de propostas, reuniões de esclarecimento com fornecedores, mapas comparativos de preços e o registo de notas de encomenda.

#### **4.3.2.1.8 Planeamento e controlo de subcontratados**

Neste grupo de atividades, eram realizadas reuniões para coordenação dos trabalhos com os subcontratados, definindo as entradas e saídas na frente de obra das várias especialidades. Os condicionamentos espaciais da obra levaram a um esforço de coordenação muito elevado. As reuniões tinham uma periodicidade semanal e estavam presentes o diretor de obra, o encarregado e os chefes de equipa das várias especialidades.

O controlo do trabalho realizado foi feito através da elaboração de um auto (em ficheiro de *Excel*®) por cada subcontratado onde eram registadas as medições em obra e respetivo valor a faturar do trabalho realizado à data. Esse documento servia de base ao administrativo do DAC para a posterior verificação da faturação recebida na sede e registo no sistema de contabilidade (*Artsoft*®).

No total esta atividade registou um valor acumulado de 24 dias.

#### **4.3.2.1.9 Telas finais**

No final foram reunidas as telas finais dos vários projetos de acordo com as alterações em obra. O preparador de obra encarregou-se de atualizar os vários desenhos 2D, demorando cerca de 7 dias.

#### **4.3.2.2 Avaliação do desperdício do MT**

##### **4.3.2.2.1 Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas**

Durante o período de análise, foram registados na folha de registo diário, cerca de vinte e seis dias gastos nesta atividade, dezasseis dos quais foram considerados desperdício, alguns exemplos disso são descrito a seguir:

- ✓ A inexistência da visualização em 3D e a confusão gerada pela visualização de vários documentos 2D em papel (plantas, alçados e cortes) levava a uma comunicação difícil, morosa e a várias divergências no entendimento do projeto (consideradas evitáveis);
- ✓ Esforço elevado na organização dos *layouts* para consulta digital e impressão em ficheiros diferentes, já que eram cerca de oitenta e nove ficheiros de CAD, armazenados separadamente (trinta e dois de Arquitetura, vinte e oito de fundações e estrutura e vinte e nove de MEP);
- ✓ A dificuldade e complexidade da obra potenciaram a má pormenorização de desenhos 2D, como aconteceu, por exemplo, na estrutura metálica, resultando em várias inconsistências ao nível das dimensões dos elementos, localização e inclinação originando a interrupções no decorrer da execução;
- ✓ Alteração da solução de fundações indiretas preconizada no projeto inicial para fundações diretas (ensoleiramento geral) e a morosidade da atualização de todo o projeto.

##### **4.3.2.2.2 Compatibilização de projetos e deteção de conflitos**

Neste caso, o método de cálculo do desperdício foi um pouco diferente das restantes atividades conforme indicado na metodologia, dada a dificuldade em diferenciar o que seria desperdício ou não. Com isto, optou-se por considerar como desperdício o valor resultante da multiplicação da duração total da atividade (quarenta dias) pela percentagem de erros não detetados no MT (cerca de 50%). Resultado da ocorrência de cento e quatro conflitos na realidade (no terreno, aquando da execução), quando apenas cinquenta foram detetados antecipadamente no MT.

Durante o período de análise, foram considerados vinte dias de desperdício. Alguns exemplos de conflitos não detetados no MT são descritos a seguir:

- ✓ O espaço existente no teto falso do piso dois para passagem de condutas de AVAC era insuficiente, tendo em consideração as dimensões definidas no projeto (só detetável em 3D);
- ✓ A rede de condutas e a unidade de tratamento de ar novo (UTAN - Dimensões Larg. x Comp. x Alt.- 1.880 x 4.860 x 2.460 mm) do sistema de AVAC colidiam com a estrutura da cobertura e em alguns casos atravessavam o próprio revestimento (Figura 4.19).



Figura 4.19 – Conflitos não detetados no MT - tubagens a sair fora da cobertura.

#### 4.3.2.2.3 Medições do projeto de execução e MQ

Durante o período de análise, foram registados cerca de cinquenta e cinco dias gastos nesta atividade, vinte e cinco dos quais foram considerados desperdício, como por exemplo o retrabalho causado por erros na medição, onde faltou medir alguns elementos na estrutura metálica da cobertura. O MT é muito falível já que assenta na medição das várias peças individualmente e somando os valores à medida que é realizada a medição, no caso específico do aço, era medido no desenho por tipo de viga de aço os metros lineares em todos os pisos e depois multiplicado pela área dos perfis e peso volumico do aço.

Detetaram-se erros na estimativa de volume de demolição já que as medições resultaram de uma análise 2D.

#### 4.3.2.2.4 Autos de produção

Este grupo de atividades no MT foi pouco fiável, já que se tratava de um processo bastante fragmentado e sujeito a erros humanos, como se verificou ao longo do acompanhamento da obra. Durante o período de análise, foram registados cerca de vinte e dois dias gastos nesta atividade, doze dos quais foram considerados desperdício, como por exemplo:

- ✓ Sucessivas e por vezes desnecessárias deslocações ao terreno para medições manuais (oito dias em acumulado). Comparativamente com a medição 3D digital foi um processo bastante mais moroso e exposto a erros, daí que todo tempo gasto em medição manual foi considerado como desperdício;
- ✓ Ocorreram ainda várias repetições de medições por dúvidas nos apontamentos manuais em desenhos 2D (quatro dias).

#### 4.3.2.2.5 Esclarecimentos, erros e omissões

Durante o período de análise, foram registados cerca de trinta e cinco dias gastos nesta atividade, vinte dos quais foram considerados desperdício, como por exemplo a necessidade da resolução dos conflitos ser realizada através de reuniões presenciais com os projetistas. Quando não foi por meio de reuniões presenciais, como por exemplo *email*, os tempos de resposta foram muito elevados e a comunicação muito difícil por falta entendimento comum e de suporte de visualização 3D para identificação dos esclarecimentos a prestar.

#### 4.3.2.2.6 Preparação de consultas – pormenorizações para aprovisionamento (*shop drawings*)

Durante o período de análise, foram registados quinze dias nesta atividade, dez dos quais foram considerados desperdício, já que se considerou como desperdício o tempo de manuseamento dos desenhos 2D em vários ficheiros (cerca de cem) para compilação técnica por especialidade. Isto porque, foi trabalho desnecessário, quando confrontado com o MP – BIM, onde a organização do *browser* e filtros por tipo de trabalho permitiria uma seleção dos desenhos por especialidade quase automática e num único ficheiro.

#### 4.3.2.2.7 Aprovisionamento e notas de encomenda

Durante o período de análise, foram registados 33 dias nesta atividade, 10 dos quais foram considerados desperdício, como por exemplo:

- ✓ A maior parte do desperdício resultou da compilação manual e *ad hoc* de ficheiros *Excel*® com medições de trabalho a realizar e quantidades de material a enviar a fornecedores (6 dias).
- ✓ Foi ainda considerado como desperdício alguns pedidos de esclarecimento sobre as peças desenhadas, para os quais foi necessário agendar reuniões, evitáveis caso tivessem sido enviadas perspetivas 3D ou o próprio modelo BIM em IFC para visualização (4 dias).

#### 4.3.2.2.8 Planeamento e controlo de subcontratados

Durante o período de análise, foram registados 24 dias nesta atividade, doze dos quais foram considerados desperdício. O controlo dos subcontratados foi feito com base em observação visual e medição em obra das quantidades realizadas. Devido à elevada complexidade dos trabalhos e à quantidade de atividades que decorriam em simultâneo foi muito complicado aferir os autos mensais, acabando por saírem com desvios em relação à realidade e a sua compilação muito demorada. As medições feitas em obra com os subempreiteiros eram desnecessárias com MP - BIM, tendo o desperdício sido doze dias no MT, uma média de quatro horas por semana.

#### 4.3.2.2.9 Telas finais

Durante o período de análise, foram registados cerca de sete dias gastos nesta atividade, cinco dos quais foram considerados como desperdício. Justificam-se estes cinco dias, visto ter sido este o tempo necessário para a sobreposição e integração de todas as peças desenhadas atualizadas pelos vários projetistas. Apesar disso, não foi garantido o rigor das telas finais com o realmente executado, já que as peças desenhadas estavam completamente desligadas entre projetos. Alguns projetos referiam mesmos que os desenhos poderiam estar incoerentes face ao realmente executado em obra. Além disso foram introduzidas poucas informações que poderiam ser úteis ao DO para a exploração do empreendimento (como especificações técnicas dos equipamentos, materiais utilizados e o modelo 3D).

#### 4.3.2.3 Estado futuro

No decorrer da análise do VSM do MT, foi simulado, paralelamente o MP integrando as funcionalidades BIM, de forma a otimizar o fluxo de processos e diminuir o desperdício do MT. Com uma equipa distinta para aplicação do MP garantiu-se que não houve interferência no decorrer normal do MT.

Como referido na metodologia, o VSM do estado futuro foi baseado no BPMN do MP de um determinado conjunto de atividades (Figura 4.6 – caixas a magenta). As atividades selecionadas seguiram um critério de maior frequência, esforço e relevância nas operações de gestão e controlo da produção para empresas de construção.

Foram registados os tempos de cada uma das atividades, através do registo diário de atividades, onde a equipa encarregue de implementar o estado futuro registou as horas das atividades e os tempos considerados como desperdício. Através da observação direta, em cada atividade desenvolvida diariamente, para além do tempo registado eram também identificados os recursos internos e externos envolvidos (Figura 4.20).

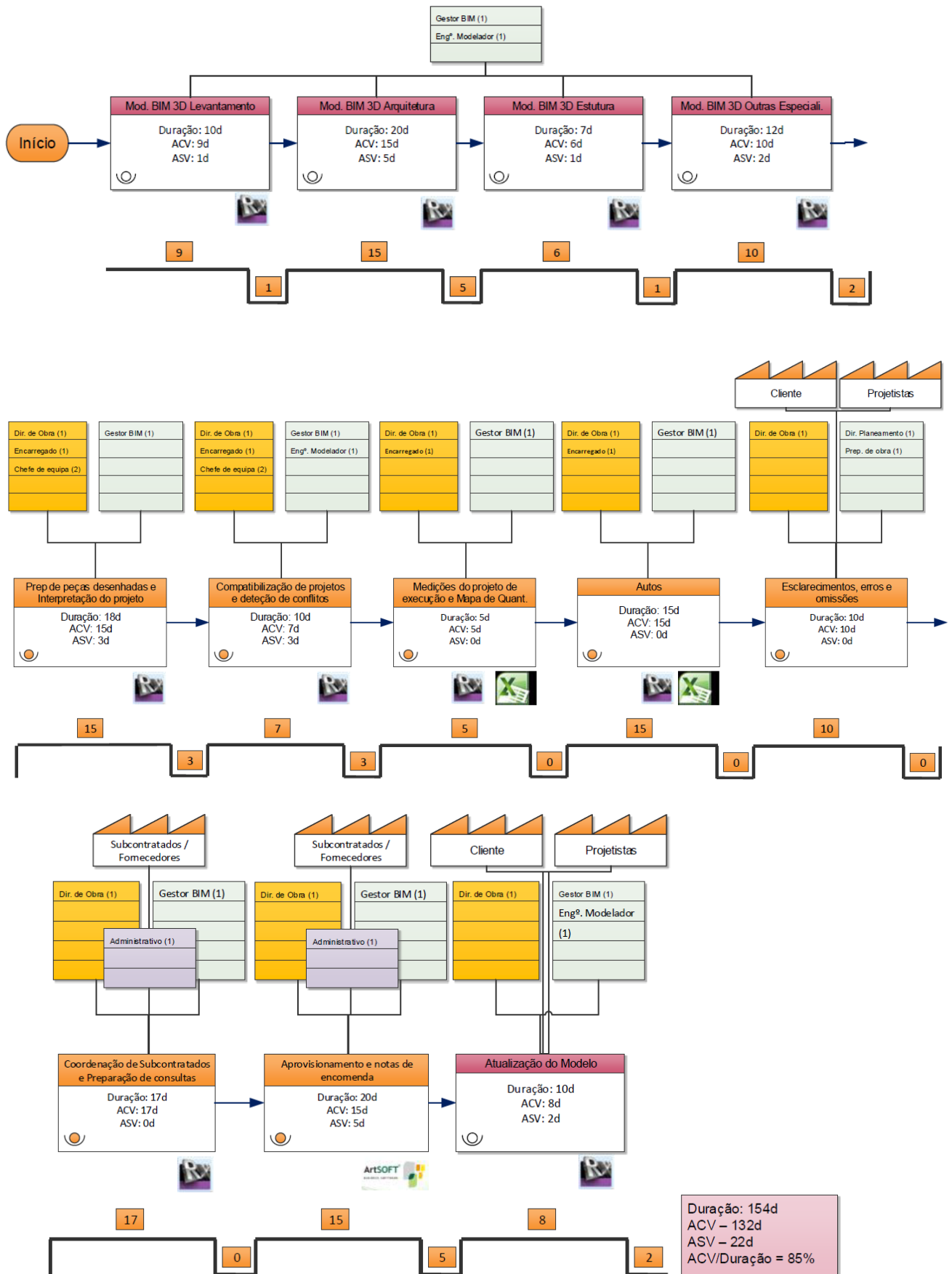


Figura 4.20 - VSM do estado futuro (pós-BIM).



#### 4.3.2.3.1 Modelação BIM do Levantamento

A modelação do edifício existente (antes da reabilitação) demorou oitenta e uma horas correspondentes a um total de dez dias. A modelação de paredes foi a que registou um esforço maior (trinta horas), seguida da modelação dos pavimentos (dezassex horas), vigas (dez horas), coberturas (dez horas) e por fim outros elementos (catorze horas). O desperdício registado de um dia prendeu-se com a limitação do *software* relativamente à modelação de paredes com espessuras variáveis, obrigando à definição de inúmeras famílias para representar este projeto específico.

#### 4.3.2.3.2 Modelação BIM da Arquitetura

A modelação seguiu os critérios de detalhe da arquitetura definidos no capítulo Estado Futuro (4.2.2). A modelação sobre o edifício existente (modelo BIM do levantamento) demorou cento e sessenta e duas horas correspondentes a um total de vinte dias.

Foram considerados cinco dias de desperdício relativos a atividades sem valor causadas em grande parte pela pouca experiência do modelador. Por exemplo, grande parte do tempo foi dedicada à pesquisa na internet de vídeos demonstrativos de algumas tarefas mais complexas como a demolição parcial de paredes existentes e a modelação de coberturas com várias águas e inclinações.

#### 4.3.2.3.3 Modelação BIM de Fundações e Estrutura

A modelação seguiu os critérios de detalhe da estrutura definidos no capítulo Estado Futuro (4.2.2). A modelação demorou cinquenta e nove horas correspondentes a um total de sete dias. Foi considerado um dia de desperdício relativo à pesquisa na internet de vídeos demonstrativos sobre a ligação e modelação de vigas metálicas e de madeira com inclinações variáveis.

#### 4.3.2.3.4 Modelação BIM de outras Especialidades

A modelação seguiu os critérios de detalhe definidos no capítulo Estado Futuro (4.2.2) para a modelação de outras instalações.

Na modelação da rede de drenagem de águas domésticas e pluviais demorou-se cerca de vinte e sete horas. Na modelação da rede de abastecimento de água e incêndio demorou-se dezassete horas. Na modelação da rede de gás demorou-se quatro horas. No sistema de AVAC foram cinquenta e duas horas.

Tudo somado leva a um total de doze dias e meio. Tendo sido considerado como desperdício dois dias e meio, relativo a tempo de procura de famílias de elementos específicos para inserção no modelo.

#### 4.3.2.3.5 Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas

Ao longo de todo o processo de modelação e acompanhamento de obra foram geradas imagens, como a que se apresenta em baixo (Figura 4.21 e 4.22) de forma a clarificar aspetos fundamentais das instalações a efetuar. Na Figura 4.21 podemos observar que através da interface do *Autodesk Revit®* gerou-se uma imagem 3D de uma instalação sanitária e o respetivo corte a partir da planta 2D.

Isto permitiu clarificar o traçado que se pretendia com a rede de drenagem de águas domésticas (cor verde) e respetivos tubos de ventilação (cor laranja).

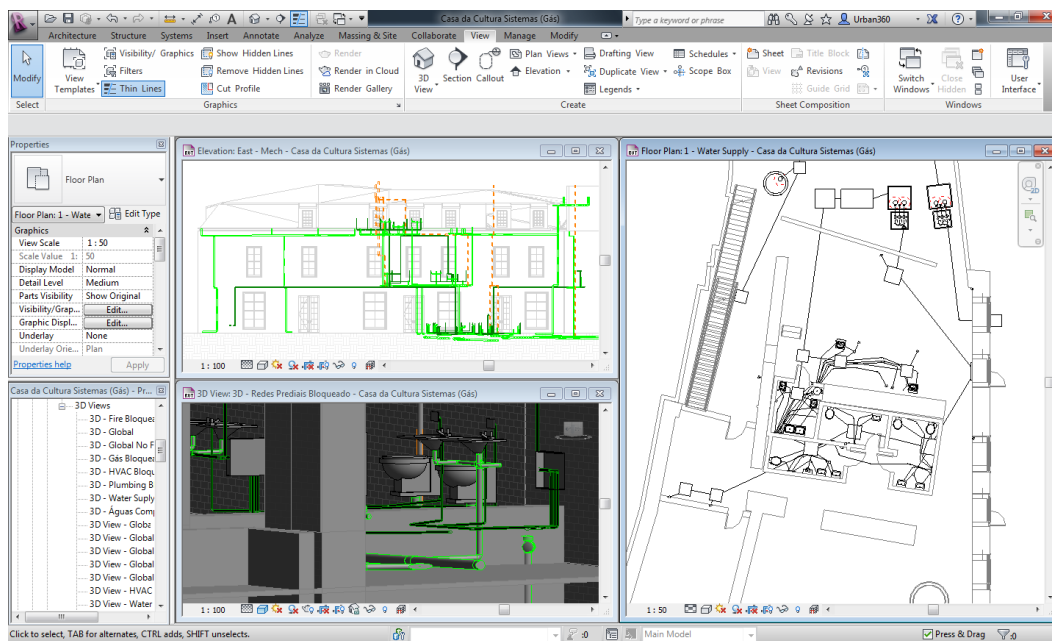


Figura 4.21 - Interface do Autodesk Revit® preparado para interpretação gráfica.

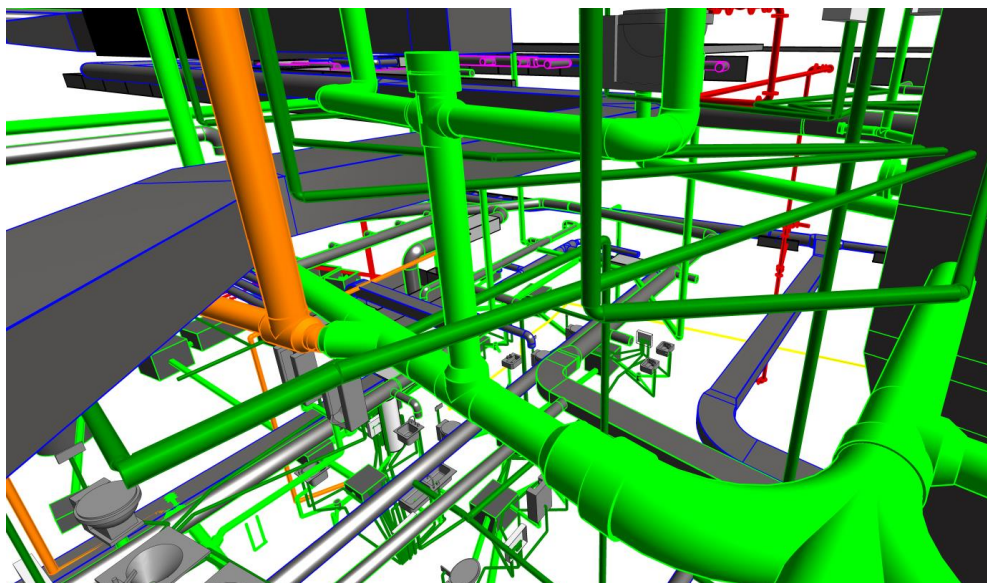


Figura 4.22 - Pormenor 3D das instalações especiais Autodesk Revit®.

Foram definidos os *layouts* (Figura 4.23) de todas as especialidades, incluindo, todo o tipo de cortes, alçados e pormenores (para serem extraídos à medida que fossem solicitados). O facto das peças desenhadas passarem a ser extraídas do modelo BIM único garantiu, sem grande esforço, a atualização permanente dos desenhos. Esta otimização foi mais importante ainda, já que esta obra foi alvo de diversas alterações ao projeto de execução e consequentemente às peças desenhadas. Refira-se que no decorrer da obra, abandonou-se a atualização segundo o MT, já que o esforço de tempo necessário era muito elevado.

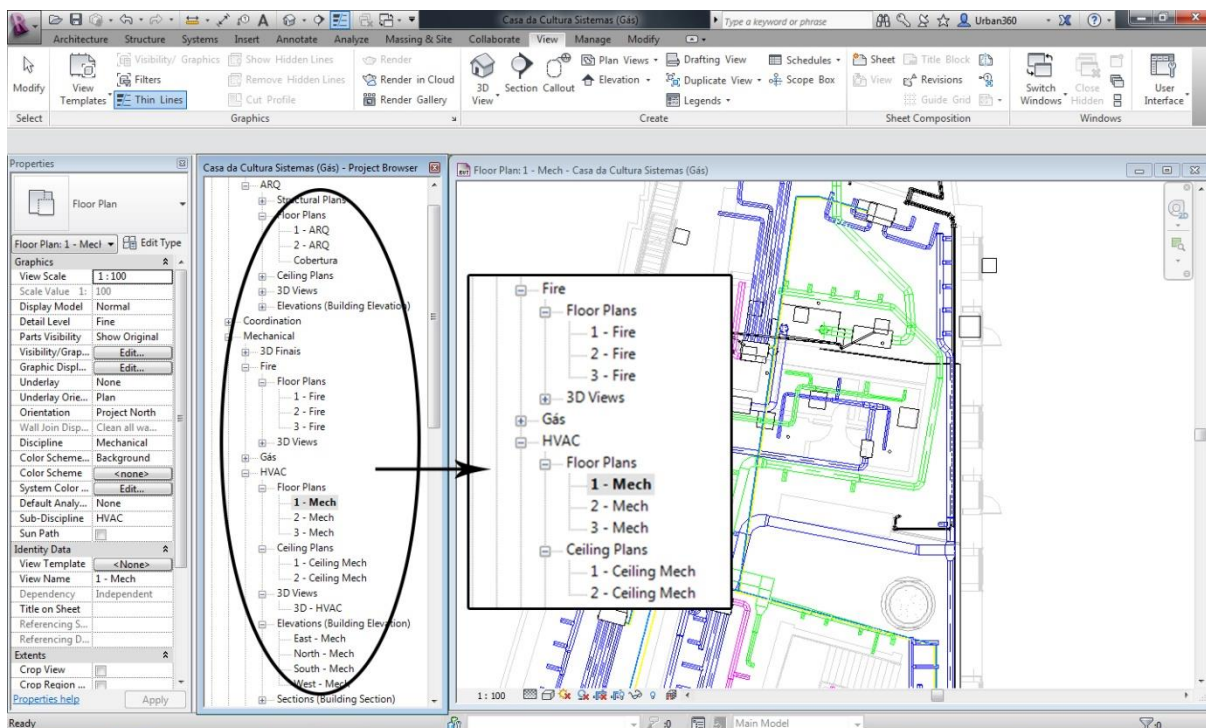


Figura 4.23 – Imagem do browser do Autodesk Revit®.

Os tempos registados levaram a um total de dezoito dias. Tendo sido considerado como desperdício três dias relativos à definição de características de visualização do programa Autodesk Revit® (por exemplo: tracejados, simbologia, etc..).

#### 4.3.2.3.6 Compatibilização de projetos e deteção de conflitos

A compatibilização foi feita à medida que se modelava o projeto. No final da modelação da arquitetura e da estrutura, foi corrido sobre o modelo a ferramenta de deteção automática de colisões, tendo sido efetuado um levantamento de todas as colisões e resolvidas na atividade subsequente de esclarecimentos (capítulo 4.3.2.3.9).

Após isto, modelaram-se as instalações especiais, em primeiro lugar a rede de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais, seguida da rede de abastecimento de água e de incêndio, depois o gás e por fim o AVAC. Foram analisadas novamente as colisões dentro da própria especialidade e posteriormente entre especialidades.

Como referido anteriormente, através da deteção automática de colisões entre elementos do modelo, detetaram-se diversos erros de obra. Na Figura 4.24 podemos observar uma colisão entre duas condutas de AVAC, colisões como esta foram muito frequentes.

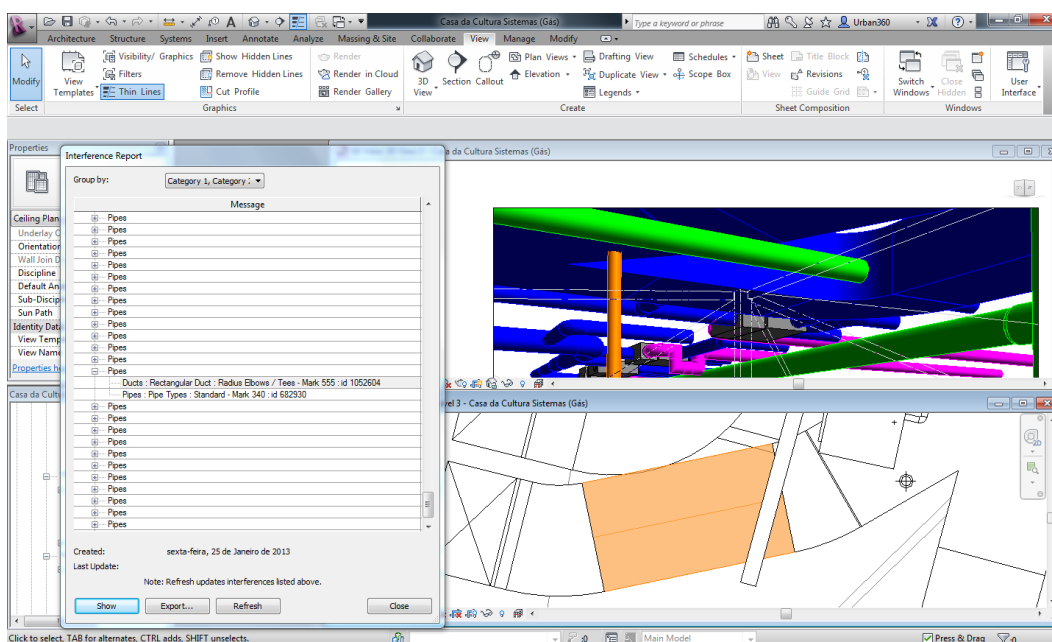


Figura 4.24 - Interface do Autodesk Revit® da ferramenta de detecção de colisões.

As Figura 4.25 e 4.26 demonstram uma outra colisão entre um tubo de drenagem de águas residuais domésticas e uma conduta de AVAC. Este tipo de colisões verificou-se por diversas vezes, devido à falta de espaço para o traçado destas instalações especiais.

Na Figura 4.27 apresenta-se um exemplo de uma colisão de uma conduta de AVAC com as vigotas de suporte do pavimento do piso 1. No total foram detetados cento e cinquenta conflitos durante a execução da obra. No entanto, quarenta e seis destes advinham de erros da própria modelação.

Os tempos registados levaram a um total de dez dias, tendo sido considerado como desperdício três dias relativos ao tempo dedicado à correção dos quarenta e oito conflitos que se vieram a descobrir como erros de modelação.

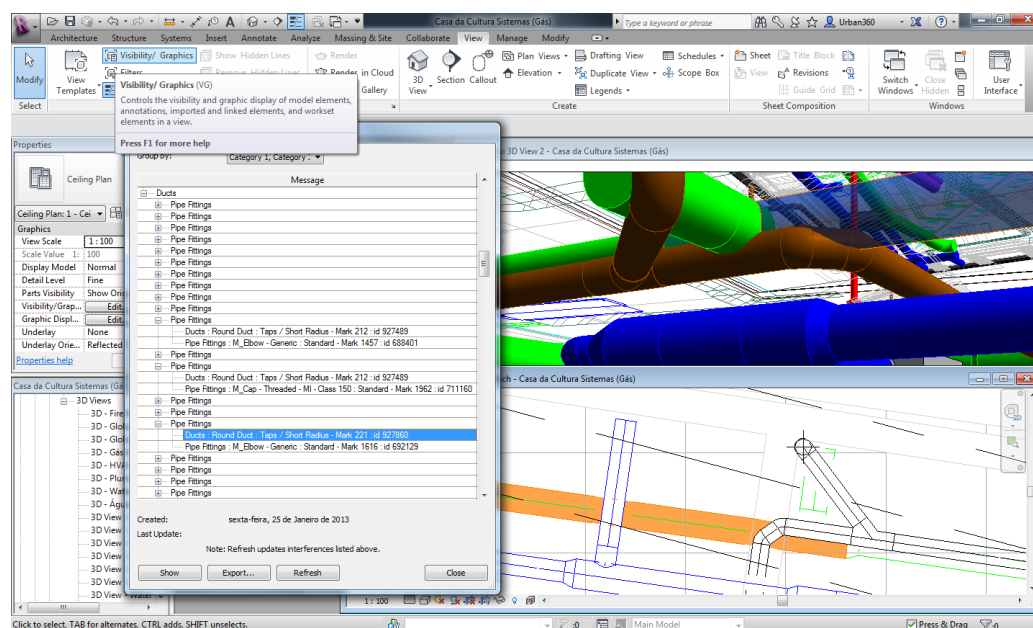


Figura 4.25 - Interface do Autodesk Revit® da ferramenta de detecção de colisões.

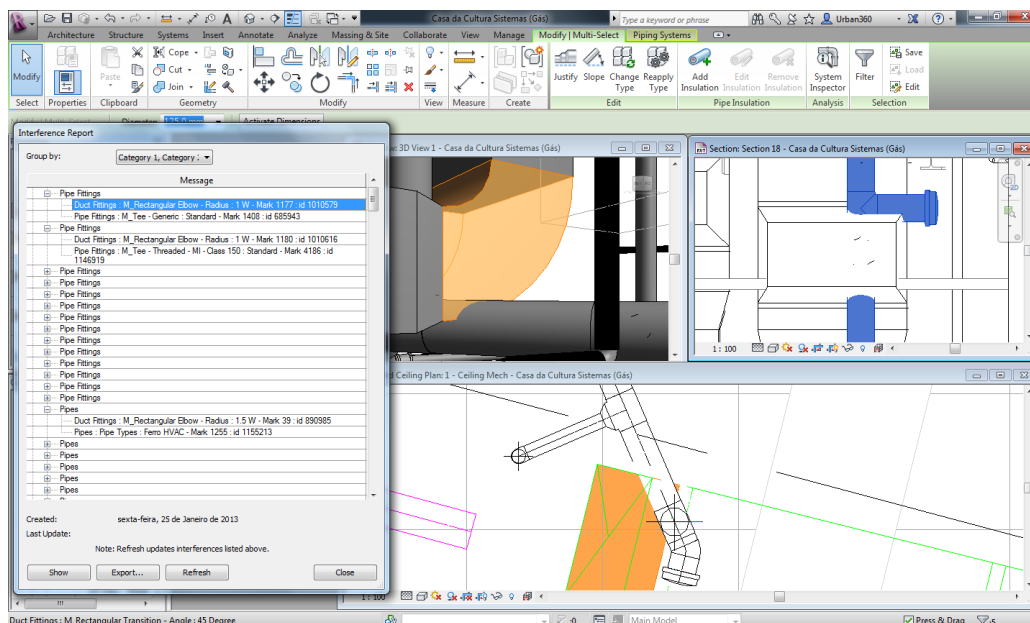


Figura 4.26 - Interface do Autodesk Revit® da ferramenta de detecção de colisões.



Figura 4.27 - Interface do Autodesk Revit® da ferramenta de detecção de colisões.

#### 4.3.2.3.7 Medições do projeto de execução e MQ

Nesta atividade foi utilizada a ferramenta *schedules* da Autodesk Revit® para a exportação de mapas de quantidades finais dos elementos a construir. A atividade foi desenvolvida pela equipa de gestão do BIM (gestor BIM e modelador) tendo sido registados um total acumulado de 5 dias. Não foi detetado nenhuma atividade que se pudesse considerar como desperdício.



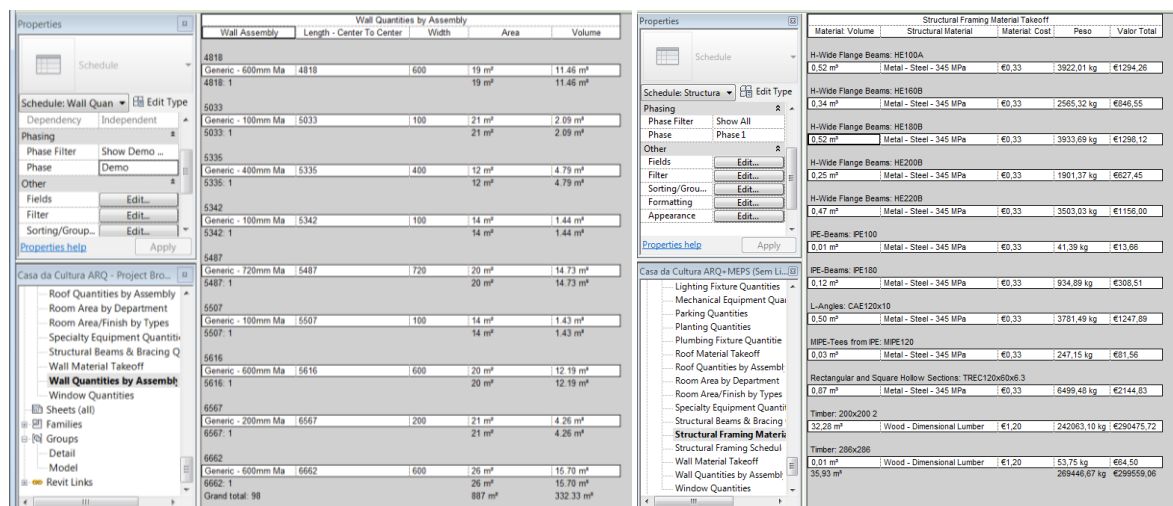


Figura 4.28 - Esquerda – Mapa de volume de demolição de paredes. Direita – Quantidades de aço por Piso.

#### 4.3.2.3.8 Autos de Produção

Os autos de produção foram realizados, em média, quatro horas a cada mês visto que apenas necessitavam da preparação da informação requerida e registro do progresso real à data. As tabelas foram extraídas automaticamente a partir do modelo e serviram, ainda, para controlar o andamento da obra, com o acréscimo de poder controlar visualmente o estado (Figura 4.29 e 4.30), a verde estão representadas as vigas instaladas em obra no mês de análise.

A atividade foi desenvolvida pela equipe de gestão BIM (gestor BIM e modelador) tendo sido registrados um total acumulado de 15 dias. Não foi detetada nenhuma situação que se pudesse considerar como desperdício.

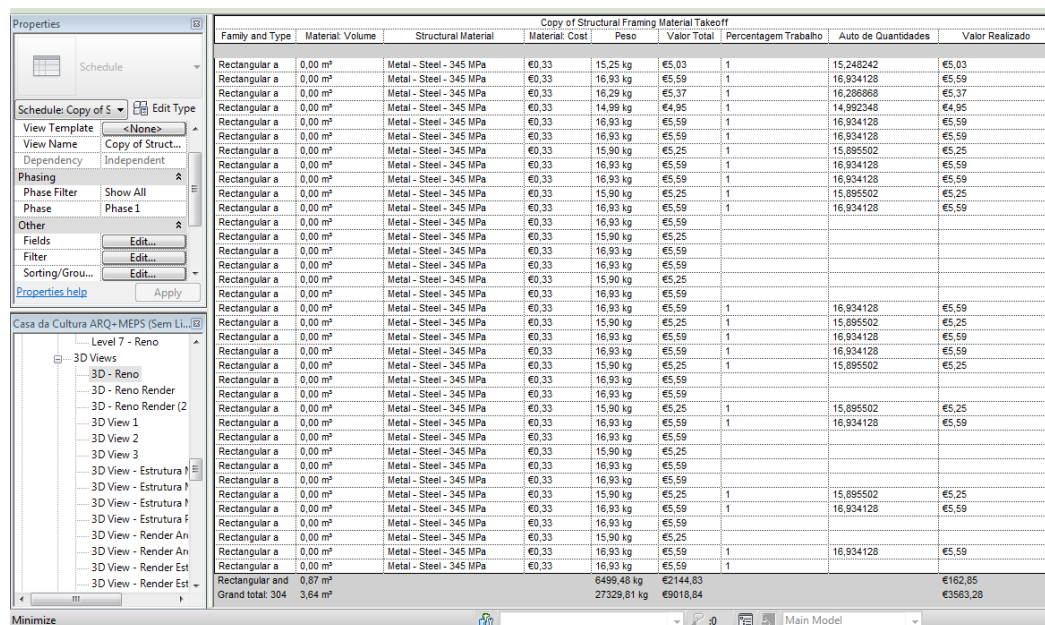


Figura 4.29 – Tabela de quantidades e % de trabalho realizado extraída automaticamente pela ferramenta *material takeoff* do Autodesk Revit® para representar o auto mensal da estrutura metálica.

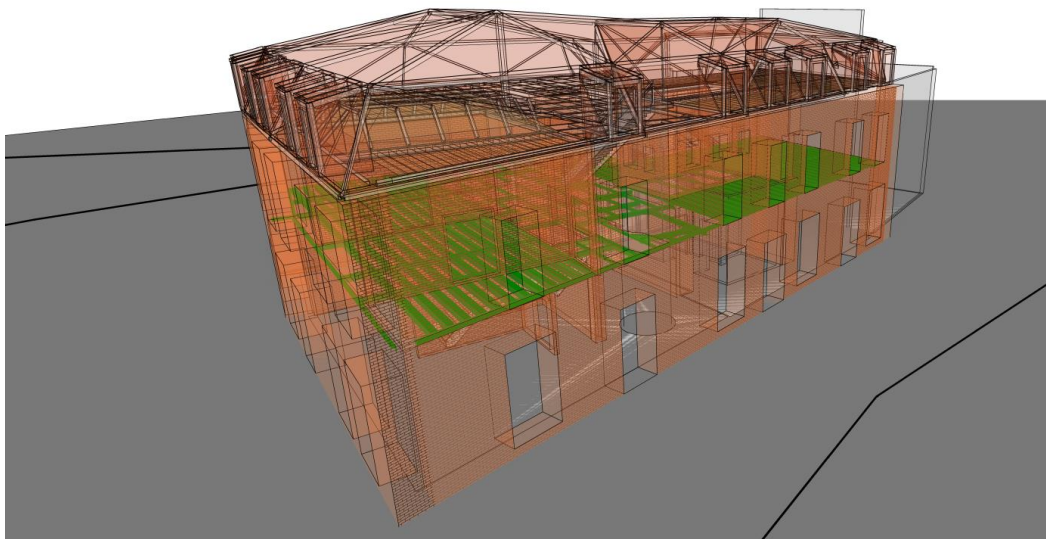


Figura 4.30 – Representação gráfica do progresso da obra em 3D (a verde o concluído da estrutura metálica à data).

#### 4.3.2.3.9 Esclarecimentos, erros e omissões

Do mesmo modo que foram realizados os esclarecimentos e a resolução dos erros e omissões detetados no MT, também aqui foram agendadas algumas reuniões para testar a resolução de problemas após a sua deteção em obra. Em acumulado, esta atividade demorou cerca de dez dias, relativos a reuniões com entidades externas.

A Figura 4.31 representa uma imagem 3D de um local de elevada complexidade de elementos, gerando imagens deste tipo foi possível prever a melhor sequência de tarefas a empregar em obra e ainda otimizar muitas vezes as soluções.

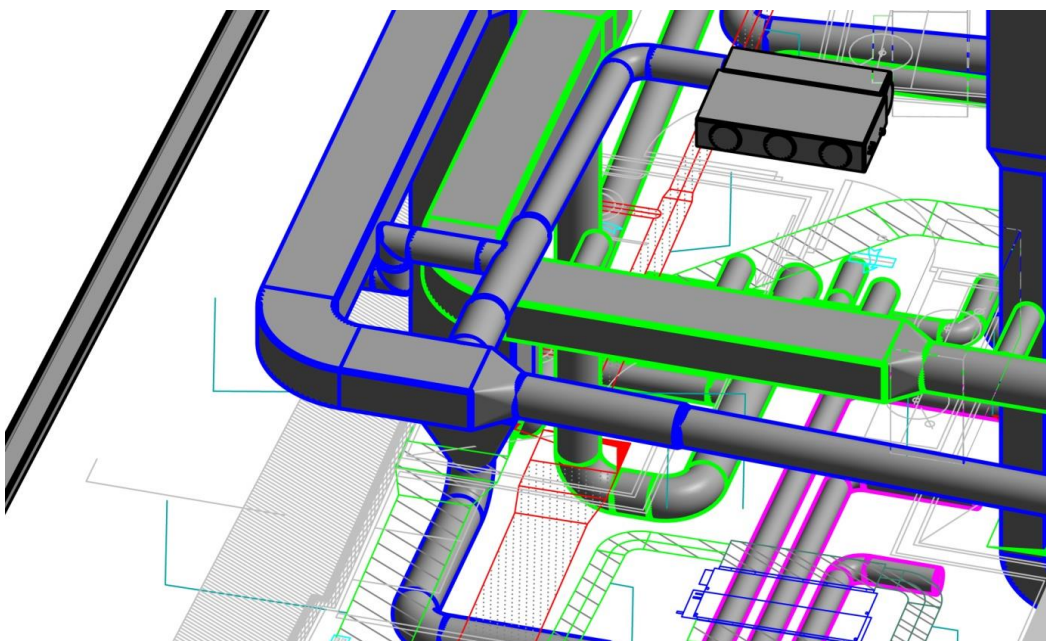


Figura 4.31 – Representação gráfica 3D de zona com elevada densidade de tubagens.

#### 4.3.2.3.10 Coordenação de subcontratados e preparação de consultas – pormenorizações para aprovisionamento (*shop drawings*)

A tecnologia BIM, suportada pelo *software Autodesk Revit®*, consiste num conjunto de dados integrados e relações paramétricas entre os vários objetos que definem o edifício em questão. Ao longo do processo de modelação foram dados *inputs* aos vários objetos de forma a simular num ambiente virtual o comportamento real do edifício ao longo do ciclo da obra. Neste caso procedeu-se ao controlo das três fases do edifício – edifício existente (preto), elementos a demolir (amarelo) e elementos a construir (cinzento) – de forma automática, isto é, simulou-se o faseamento de obra em ambiente virtual, gerando posteriormente plantas, imagens 3D e alçados com esse código de cores, permitindo ainda calcular de forma expedita e automática as quantidades referentes a cada uma destas fases, como foi o caso do cálculo da área de parede a demolir (Figura 4.32). Um outro exemplo de uma ferramenta muito utilizada foi a geração automática de cortes a partir de plantas 2D (Figura 4.33). Com estas duas ferramentas foram desenvolvidos um conjunto de peças desenhadas e medições do trabalho para se proceder à consulta de subempreiteiros.

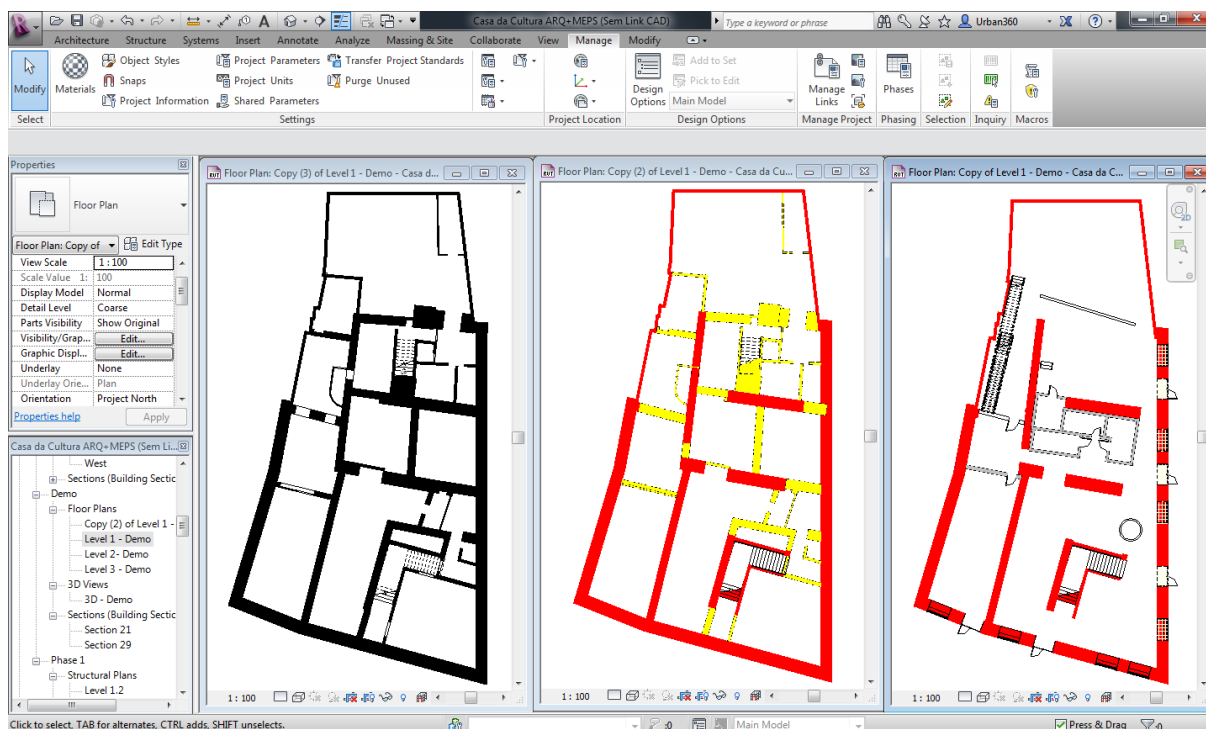


Figura 4.32 – Faseamento da obra no *Autodesk Revit®*. Edifício existente, demolições e edifício remodelado.



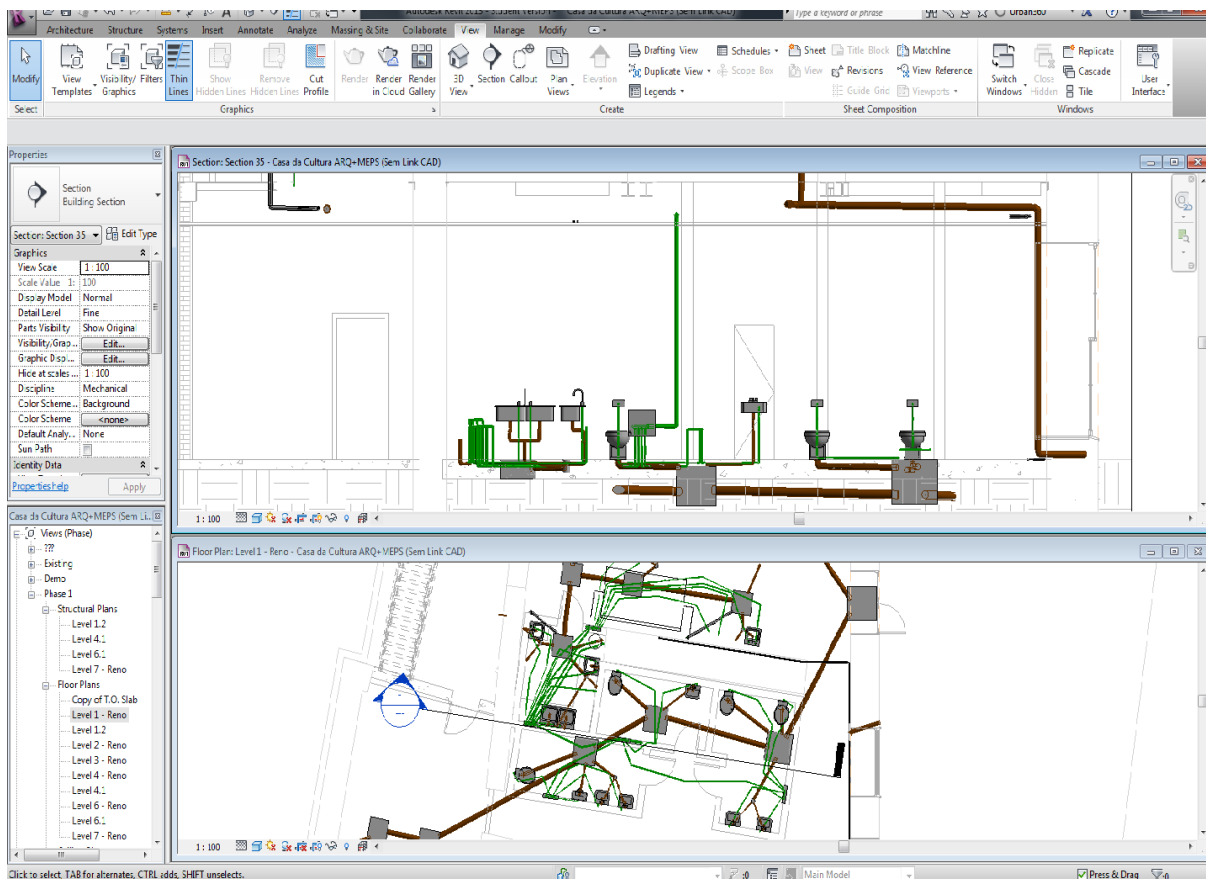


Figura 4.33 - Abaixo – Linha de corte em planta. Cima – Vista automática gerada.

O modelo foi utilizado para visualizar o trabalho antes de este ser executado. Por exemplo, quais as paredes a demolir, ou local exato para se deixar os negativos para passar as instalações de redes de águas, esgotos e AVAC.

Através do modelo o pedido de autorização e organização das frentes de trabalho tornou-se mais célere permitindo o trabalho simultâneo no mesmo espaço por equipas distintas. Nas Figuras 4.34 e 4.35 pode observar-se uma imagem 3D gerada a partir do modelo com a representação exata da passagem das condutas de AVAC num dos compartimentos do edifício, imagens como esta permitiram aos trabalhadores ver o aspeto final da instalação e analisar os locais onde tinham de efetuar os atravessamentos das paredes e lajes.

A atividade foi desenvolvida pela equipa de gestão do BIM (gestor BIM e modelador) tendo sido registados um total acumulado de 17 dias. Não foi detetada nenhuma atividade que se pudesse considerar como desperdício.



Figura 4.34 – Render em zona específica do edifício *Autodesk Revit®*.

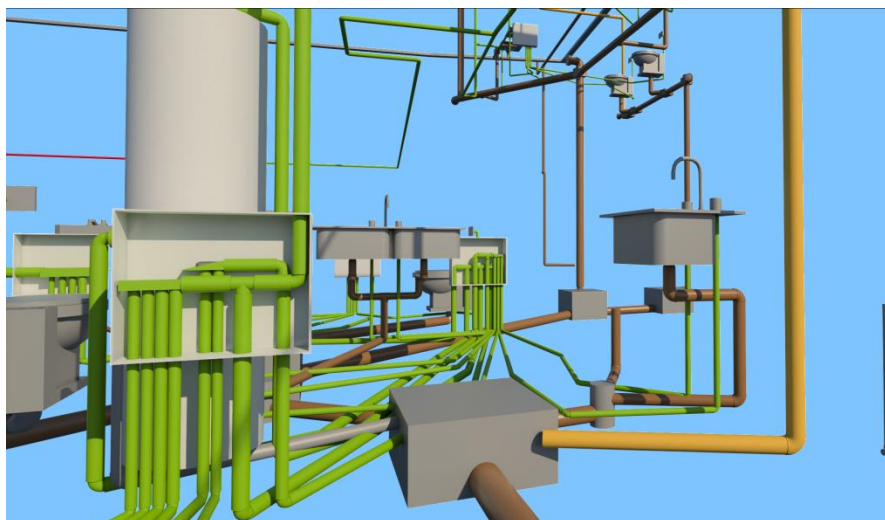


Figura 4.35 - Render em zona específica do edifício *Autodesk Revit®*.

#### 4.3.2.3.11 Aprovisionamento e notas de encomenda

À semelhança do MT, com base no conjunto de informações extraídas do modelo, foram enviados para o DAC os pedidos de aprovisionamento, para que pudessem ser feitos pedidos de cotação e posteriormente as notas de encomenda do trabalho. As atividades envolviam os administrativos do DAC e a equipa de modelação BIM. Esta atividade envolveu a preparação de mapas de medição de trabalhos e materiais, mapas comparativos de preços e o registo de notas de encomenda. Durante este período, foram registados 20 dias nesta atividade, 5 dos quais foram considerados desperdício, resultado da inexistente integração entre o programa contabilístico e o modelo BIM, o que levou ao processo tradicional de imputação manual.

#### **4.3.2.3.12 Atualização do Modelo (*as-built*)**

A atualização constante do modelo ao longo da obra levou a que no final se tenha obtido um modelo 3D contendo a descrição precisa dos seus elementos arquitetónicos, estruturais, mecânicos e outros equipamentos executados.

No total foram registados 10 dias (em média 3 horas por semana). Tendo sido considerado como desperdício 2 dias relativo o tempo de procura de famílias de elementos específicos para inserção no modelo.



## 5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

O presente capítulo pretende analisar e discutir os resultados atingidos no caso de estudo, através, da comparação dos processos do MT com os processos do MP ao nível dos rendimentos das atividades e do valor acrescentado em cada uma delas. Engloba ainda, a análise das condicionantes e limitações da integração BIM no fluxo organizacional da empresa.

### 5.1. Discussão da Generalização do MP

O MP revelou-se um método generalizável e de boa aplicação prática a obras que incluam vários tipos de projeto como as especialidades de arquitetura, fundações e estrutura, sistemas de AVAC, redes de abastecimento de gás natural, redes de abastecimento de água e serviço de incêndio e redes de drenagem de águas residuais domésticas e pluviais. O valor ganho no MP é proporcional a este número de especialidades envolvidas em cada obra.

Este método é aplicável à generalidade das empresas de construção, já que estas apresentam tradicionalmente processos internos de organização e gestão de obras na linha dos definidos no MP. A maior parte deste tipo de empresas estão organizadas estruturalmente em departamentos internos como os identificados no MP (DC, DP, DAC e DPC).

O MP responde às necessidades comuns, neste tipo de empresas, de troca de informação interna (entre departamentos) e externa (com fornecedores, projetistas e DO), como por exemplo, peças desenhadas 2D e 3D, relatórios de deteção de conflitos entre projetos, mapas de quantidades de trabalho, autos de produção e faturação e listas de aprovisionamento de materiais.

### 5.2. Mapeamento dos processos BPMN – MP

A presente dissertação serviu para definir e comparar dois cenários organizacionais diferentes, um que caracteriza o MT utilizado nas últimas décadas e o outro baseado no método BIM que nos últimos anos tem desempenhado um papel fundamental no aumento da produtividade da indústria.

O mapeamento do MP desenvolvido permitiu entender o uso BIM nos processos internos, identificar a troca de informação partilhada entre equipas e definir as várias atividades BIM a executar. Este mapa de processos do MP serviu ainda de base para identificar aspetos importantes da implementação, como a integração dos dados das aplicações BIM com aplicações de gestão de projetos e contabilísticas e sobre as necessidades de infraestruturas tecnológicas (*hardware, software e network*).

Este trabalho demonstrou que a implementação do MP leva, a montante, a um ganho substancial de eficiência nos processos organizacionais e de qualidade e fiabilidade da informação. Foi possível identificar melhorias no fluxo de trabalho dos processos operacionais/administrativos nas áreas de produção, planeamento, compras e financeira e uma redução da duração das atividades tanto em sede como na obra. Através do mapeamento do fluxo de atividades e integração da informação, o MP, per-

mitiu aos departamentos adquirirem uma capacidade de decisão célere, coerente, transparente e automatizada.

Os elementos armazenados no modelo BIM da obra revelarem a capacidade de gerar informações essenciais, em qualidade e quantidade, a todos os processos envolvidos, contribuindo o trabalho colaborativo e redução de falhas de comunicação.

### 5.3. Utilização BIM. Comparação VSM entre o MT e o MP

A utilização do modelo BIM ficou a cargo da equipa criada para o efeito. O modelo BIM foi utilizado com sucesso para testar o mapa BPMN do MP em diversas áreas funcionais.

Na Figura 5.1 apresenta-se o resumo dos resultados obtidos da comparação do MT com o MP. Destes dois cenários salienta-se a vantagem competitiva que o BIM trás, já que nas principais atividades, existe um aumento global da eficiência, correspondentes a uma redução de 40% do tempo em acumulado, face ao MT. Para além disto o rácio de atividades com valor acrescentado também aumentou, passando dos 49% do MT para 85% no MP. No MT o desperdício é bastante elevado atingindo quase metade do tempo de execução das tarefas. Isto porque, a abordagem do MT assenta em processos muito morosos, dependentes de um elevado esforço, compreensão humana e ainda muito suscetível a erros.

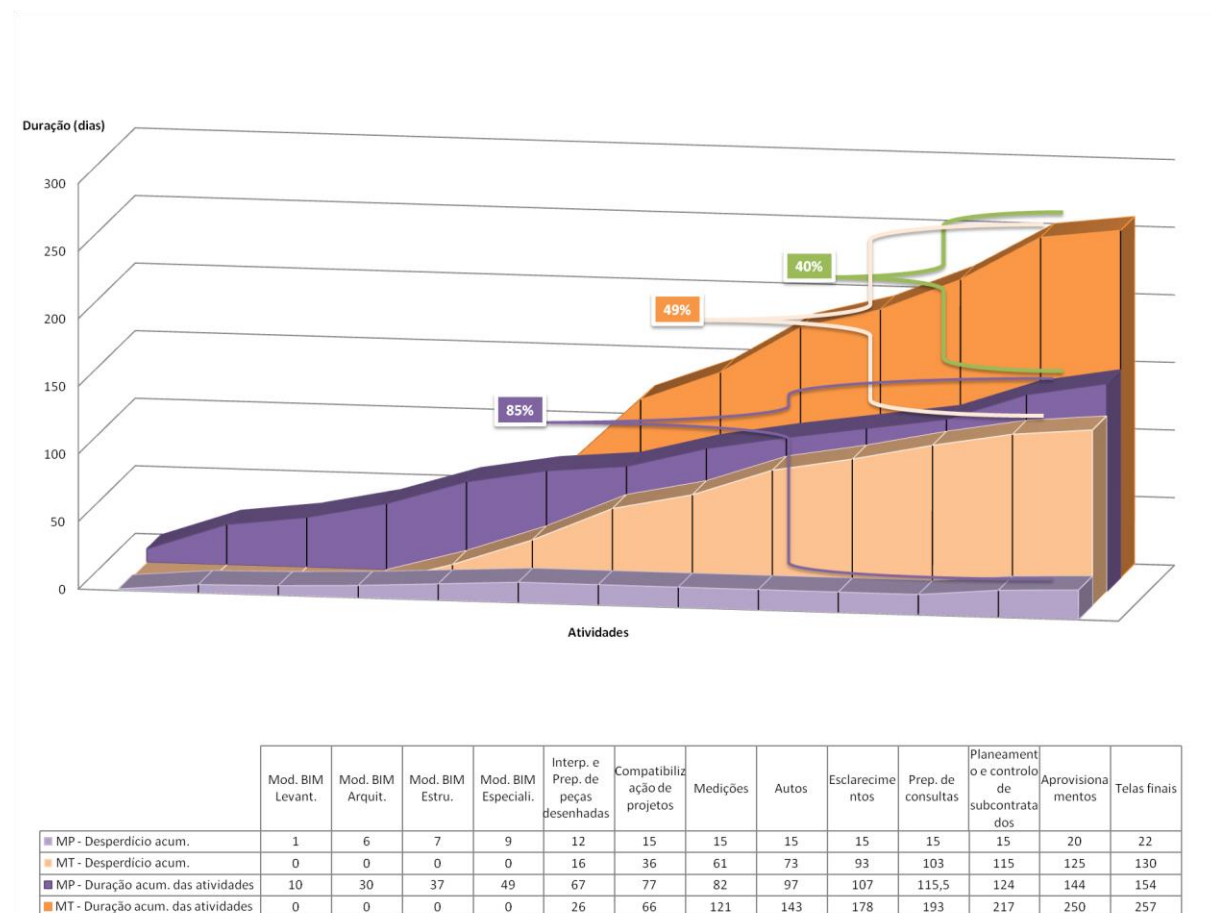


Figura 5.1 – Gráfico resumo comparativo dos resultados VSM do MT e MP.

### 5.3.1. Modelação BIM

A modelação global da obra foi constituída por quatro áreas distintas, o levantamento, a arquitetura, a estrutura e as especialidades. Este objetivo só foi possível alcançar devido a conhecimentos sólidos e formação específica em ferramentas BIM, experiência profissional no mercado da AEC e na área empresarial e uma formação académica de engenharia civil direccionada na gestão da construção.

Este conjunto de novas atividades desenvolvidas (face ao MT) permitiram, a jusante, ganhar mais eficiência e valor acrescentado nos processos intraorganizacionais.

Este grupo de atividades registou valores acrescentados elevados, atingindo no global um valor 82%.

### 5.3.2. Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas

Durante as reuniões de preparação das frentes de trabalho a visualização 3D permitiu, de um modo rápido e expedito, a correta e exata perceção do trabalho a executar. Isto, apesar de algumas das imagens apresentadas à equipa de produção terem sido posteriores à execução do trabalho e utilizadas para trabalhos de correção de erros de execução.

A organização e atualização das diversas peças desenhadas das várias especialidades, através da preparação de vistas no *browser* do *Autodesk Revit*<sup>®</sup> levou a um ganho de eficiência bastante elevado quando comparado com o MT.

Neste conjunto de atividades o rendimento aumentou, passando de vinte seis dias, no estado presente (MT), para dezoito dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 31%.

Relativamente às atividades de valor acrescentado também aqui a melhoria é significativa, já que no MT a percentagem foi de 38% enquanto no MP atingiu os 83%.

### 5.3.3. Compatibilização de projetos e deteção de conflitos

A construção do modelo 3D englobou todas as especialidades, com exceção das instalações elétricas.

A primeira fase de modelação de cada especialidade individualmente permitiu, por si só, a identificação de conflitos entre elementos, no entanto, só quando se integrou as várias especialidades se detetaram os maiores problemas. Os erros detetados foram essencialmente a discrepância, a falta de pormenorização e informação das peças desenhadas 2D, erros nas informações de texto sobre os desenhos 2D e a ocupação do mesmo espaço por dois elementos em simultâneo.

Para não influenciar o MT os conflitos detetados antecipadamente no MP só foram confrontados com a equipa de projetistas e de produção, após estes terem sido detetados e resolvidos no desenrolar tradicional da obra.

A vantagem da automatização 3D sobre o MT de deteção de conflitos manual com desenhos 2D foi evidente, sendo que, o sistema baseado no BIM permitiu seletivamente verificar conflitos entre sistemas, como os mecânicos, estruturais e arquitetónicos. Daí ter sido, no processo de compatibiliza-

ção de projetos que se verificaram os maiores aumentos de rendimento das atividades, já que se passou de quarenta dias, no estado presente (MT), para dez dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 75%. Este valor foi atingido devido à modelação 3D no início do processo. A rapidez de deteção, no MP, surge aqui como um grande benefício já que quanto mais célere é a deteção de conflitos maior é a capacidade de resolver e controlar custos e tempos adicionais aos previstos.

Relativamente às percentagens de valor acrescentado também aqui a melhoria foi bastante significativa já que no MT o valor foi de 50% enquanto no MP atingiu os 70%.

#### **5.3.4. Medições do projeto de execução e MQ**

Neste âmbito a utilização do modelo diferenciou-se do MT de medição, passando as medições do projeto a serem realizadas a partir do modelo e não através de peças desenhadas 2D e sucessivas deslocações ao terreno. No entanto, foi necessário um trabalho adicional de atualização constante do modelo, garantido a conformidade deste com o real executado. As quantidades foram extraídas automaticamente do modelo através da parametrização de mapas com os elementos pretendidos (*schedules e material takeoff* – designação do *Autodesk Revit®*).

Os resultados destes procedimentos revelaram melhorias na coordenação e comunicação entre as equipas dos departamentos internos DP, DAC e DPC, já que as informações sobre quantidades eram sistematizadas e expedidas para o processo de encomenda de materiais e para pedidos de cotação. No caso do DPC as previsões orçamentais tornam-se mais fiáveis através da extração das quantidades finais do modelo.

Nas medições dos elementos de construção os aumentos foram substanciais, visto que o rendimento das atividades passou de cinquenta e cinco dias, no estado presente (MT), para 5 dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 91%.

Este valor atingido justifica-se devido à alteração do método de medição, que foi radical, visto que a medição foi feita a partir do modelo 3D. Relativamente às atividades de valor acrescentado também aqui a melhoria foi bastante significativa, já que no MT a percentagem foi de 54% enquanto no MP foi 100%.

#### **5.3.5. Autos de Produção**

Neste processo o, MP, revelou melhorias no rigor das informações e na comunicação entre as equipas de departamentos internos DP, DAC, DF e DPC. Já que as informações sobre quantidades de trabalho produzidas eram sistematizadas, facilitando o controlo dos custos mensais da obra e a comparação com os custos reais lançados na contabilidade e os ajustamentos a fazer. Outra vantagem no MP foi a célere e transparente, justificação dos desvios em trabalhos adicionais e prazos, facilitada pela consulta rápida aos elementos do modelo BIM, complementada por uma visualização gráfica do avanço da obra.



Neste conjunto de atividades o rendimento aumentou, passando de vinte e dois dias, no estado presente (MT), para quinze dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 32%.

Nas atividades de valor acrescentado, a melhoria foi total já que no MT a percentagem foi de 45% enquanto no MP atingiu os 100%.

### **5.3.6. Esclarecimentos, erros e omissões**

Neste processo o MP revelou melhorias significativas na comunicação entre as equipas dos departamentos internos (DP e DPC) e externos (projetistas e dono de obra). Foram reduzidas as disputas e contestações sobre quantidades de trabalhos contratuais, adicionais (já que a fiabilidade dos dados do modelo é superior à das medições no local) e validação do produto final de acordo com as especificações.

Neste conjunto de atividades o rendimento aumentou, passando de trinta e cinco dias, no estado presente (MT), para dez dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 71%. O ganho justifica-se essencialmente pela diminuição das reuniões necessárias entre as equipas.

Relativamente às atividades de valor acrescentado também aqui a melhoria foi total já que no MT a percentagem foi de 43% enquanto no MP atingiu os 90%.

### **5.3.7. Coordenação de subcontratados e pormenorização para aprovisionamento (*shop drawings*)**

No MT esta atividade foi dividida em dois grupos, no entanto, para o MP estas atividades estavam de tal maneira interligadas que foram consideradas em conjunto. Assim sendo, este grupo, revelou melhorias significativas na coordenação entre as equipas dos departamentos internos (DP e DPC) e externos (Subcontratados). Na fase de consulta ao mercado, as informações de representação do trabalho (peças desenhadas) e de quantidades a realizar foram sistematizadas e expedidas de um modo rigoroso e reduzindo o tempo de aprovisionamento (*procurement*).

Na fase de execução dos trabalhos, através do MP, a autorização de entradas e organização das frentes de trabalho tornaram-se mais céleres, permitindo o trabalho simultâneo no mesmo espaço por equipas distintas. A execução de desenhos adicionais para a frente de obra foi realizada sobre o próprio modelo, constituindo uma vantagem sobre o MT, já que o modelo era único e sincronizado entre as várias vistas e perspetivas.

Neste conjunto de atividades o rendimento aumentou, passando de trinta e nove dias, no estado presente (MT), para dezassete dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 56%.

Relativamente às atividades de valor acrescentado foram registados valores no MT de 44% enquanto no MP foram de 100%.

### **5.3.8. Aprovevisionamento e notas de encomenda**

Neste processo o MP revelou melhorias na comunicação entre as equipas dos vários departamentos internos DP e DAC. Já que as informações sobre quantidades de um determinado elemento do modelo eram sistematizadas e expedidas para o DAC, de modo a se proceder à encomenda de materiais (por exemplo: betão, cofragens, armaduras, portas e janelas).

Neste conjunto de atividades o rendimento aumentou, passando de trinta e três dias, no estado presente (MT), para vinte dias, no estado futuro (MP), correspondente a uma redução da duração de 35%.

Relativamente às atividades de valor acrescentado, também aqui existiu melhoria, já que no MT a percentagem foi de 70% enquanto no MP foi de 75%.

### **5.3.9. Atualização do Modelo (*as-built*)**

Neste âmbito a duração da atividade no estado futuro (MP) foi maior do que no estado presente (MT), respetivamente, dez e sete dias. A tendência de aumento do rendimento registado no estado futuro altera-se neste processo, no entanto, a análise pela duração pode induzir a erro, já que, com o modelo *as-built* a qualidade, quantidade e rigor de informação é muito maior do que nas telas finais do MT. Acresce a isto, o facto de, a duração de dez dias refletir a atualização constante do modelo ao longo da obra, não sendo necessário no final um esforço adicional para representar o produto final entregue.

Relativamente às atividades de valor acrescentado aqui a melhoria foi evidente já que no MT a percentagem foi de 29% enquanto no MP atingiu os 80%.

### **5.3.10. Controlo de alterações e análise de valor**

A constante atualização do modelo permitiu obter algumas previsões à conclusão de quantidades de trabalho bastante rigorosas e simular cenários que permitissem, tanto ao cliente como ao construtor, equacionar soluções mais económicas e facilitar assim a tomada de decisões. Como por exemplo, a simulação do impacto no valor final da obra, de duas situações. A primeira de alteração do sistema de fundação do edifício, de fundações indiretas (estacas) para diretas (ensoleiramento geral). A segunda sobre a opção de manutenção de algumas paredes existentes (em vez da sua demolição).

Refira-se que este ponto não foi explorado no limite, tendo sido apenas utilizado em algumas situações pontuais.

Em suma o Quadro 5.1 apresenta os resultados sistematizados em cada uma das atividades analisadas, sob a perspectiva de eficiência ganha e redução do tempo do MP face ao MT. Além disso são referidas quais as entidades internas e externas influenciadas.

Processos	Eficiência do MP face ao MT	Redução do tempo face ao MT	V acres (MT)	V acres (MP)	Departamentos internos envolvidos	Recursos internos	Entidades externas
Modelação BIM	-	-	-	82%	DP e DPC	Dir. Obra; Gestor BIM e Modelador BIM	DO, Projetistas e Fornecedores
Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas	44%	31%	38%	83%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado; Chefes de equipa e Preparador de obra	DO, Projetistas
Compatibilização de projetos e deteção de conflitos	300%	75%	50%	70%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado; Chefes de equipa e Preparador de obra	DO, Projetistas e Fornecedores
Medições do projeto de execução	1000%	91%	54%	100%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado e Preparador de obra	DO
Autos de Produção	46%	32%	45%	100%	DP, DPC, DAC e DF	Dir. Obra e Preparador de obra	DO
Esclarecimentos, erros e omissões	250%	71%	43%	100%	DP, DPC	Dir. Obra	DO, Projetistas
Planeamento e Coordenação de subcontratados e preparação de consultas - shop drawings	130%	56%	44%	100%	DP, DPC e DAC	Dir. Obra; administrativo DAC e Preparador de obra	Fornecedores
Aprovisionamento e notas de encomenda	65%	35%	70%	75%	DP, DPC e DAC	Dir. Obra; administrativo DAC e Preparador de obra	Fornecedores
Telas Finais /Atualização do Modelo e as built	-	-30%	29%	80%	DP e DPC	Dir. Obra e Preparador de obra	DO, Projetistas

Quadro 5.1 – Resumo de melhorias no funcionamento dos departamentos internos resultante da aplicação do MP.

#### 5.4. Condicionantes e Limitações Encontradas

Atualmente, a realidade da maior parte das empresas portuguesas está longe de conseguir atingir uma implementação BIM com o grau de maturidade que exige o MP, devido a diversas barreiras (Figura 5.2). O enraizamento do MT de conceção e gestão da construção, consolidado ao longo de várias décadas, torna uma natural resistência à mudança ainda mais complicada. A pouca orientação ao nível académico nesta nova tecnologia, leva a que a maior parte dos atuais profissionais da indústria da AEC, não possuam conhecimentos sólidos sobre esta matéria, para que possam analisar de um ponto de vista crítico.

Como referido nos capítulos 2.1 e 2.3, a pouca colaboração numa cadeia muito segmentada é uma das principais causas que levam à dificuldade de implementação BIM. A aplicação prática nesta dissertação não foi por isso diferente, já que foi aplicada num contexto do MT, existindo pouca colaboração e uma fraca comunicação entre todos os intervenientes. A mentalidade de resolver problemas em vez de os prevenir, numa atitude reativa, até a data, continua a ser a linha mais seguida na gestão da construção.

Outra limitação encontrada foi o baixo ou praticamente nulo investimento nesta tecnologia até à data por parte das empresas AEC e donos de obra privados e públicos.



Figura 5.2 – Barreiras à implementação atual de BIM na AEC em Portugal.

O elevado grau de alterações levou à necessidade constante distribuição e impressão de novas peças desenhadas, a opção de utilizar um *tablet* para visualização na frente ainda foi equacionada, mas acabou por não ser implementada. Esta opção poderia ainda ter contribuído mais para os bons resultados obtidos.

Houve alguma resistência na alteração do método de medições da obra, através do modelo BIM, já que o desconhecimento desta tecnologia por parte dos responsáveis era total, no entanto, foi algo facilmente resolvido, através de uma pequena apresentação sobre esta tecnologia e o processo de extração de quantidades do modelo.

O elevado grau de conhecimentos exigidos para a manipulação do *software* levou a que todas as funções e potencialidades BIM estivessem centradas no gestor BIM e no modelador BIM e caso estes não se encontrassem em obra gerava alguma entropia nos procedimentos do MP.

O tempo inicial disponível para a criação do modelo foi bastante reduzido, já que a obra estava em curso, ainda assim conseguiu-se um nível de detalhe mínimo necessário ao MP, isto é, incluiu as características geométricas exatas dos elementos de construção, utilizando materiais genéricos com a criação de detalhe dos subcomponentes estruturais, o que se revelou suficiente para obter resultados que permitissem responder às principais questões da presente dissertação.

A necessidade de constante atualização do modelo apareceu naturalmente e exigiu uma grande disciplina e um acompanhamento muito próximo do real executado, tornando-se numa operação quase diária (em média 3 horas por semana).

## 5.5. ROI

O BIM pode ser implementado em várias fases do projeto e em vários processos internos de uma empresa de construção, de acordo com MP, mas o custo de implementação relativamente ao valor ganho deve ser considerado quando se determinam as áreas apropriadas, níveis de detalhe e esforço necessários ao processo de modelação da informação.

Em ambos os métodos (MT e MP), os custos de implementação devem considerar principalmente recursos humanos, *software*, *hardware*, *network* e formação requerida.

No Quadro 5.3 estão resumidos os principais custos estimados para um volume de negócio de 2M€, já que o cálculo é referente à implementação neste caso de estudo específico. De qualquer ma-

neira este é representativo de grande parte das empresas de construção. O quadro revela que o custo de investimento necessário para o MP em RH, *software*, *hardware/network* e formação requerida ronda, respetivamente, valores de 35,3k€, 21k€, 4k€ e 6,2k€ (somando um valor total de 66,5k€). No entanto, no MT para implementar os mesmos processos e com menor eficiência, o valor total é de 87,5k€. O retorno do investimento será dado pela diferença de custos entre métodos. Assim sendo, no caso da implementação do MP, este é bastante positivo já que o ROI atinge um valor de 32% e leva a uma economia de 21k€ (para um volume de negócio de 2M€).

São os custos relativos ao esforço de recursos humanos os mais relevantes, conseguindo-se obter uma redução de custos na ordem dos 47% face ao MT. Nos restantes, como esperado, os custos no MP são superiores aos do MT.

A alusão a custos elevados com o *software* pode ser uma falsa questão, já que, por exemplo, o fornecedor *Autodesk* quando vende o pacote contendo o *AutoCAD*® (utilizado no MT) pode englobar também no pacote o *Revit*® (ferramenta BIM, utilizada no MP) com um acréscimo ao custo de cerca de 4k€.

Nas questões relativas ao *hardware e network* verificam-se os maiores problemas já que existem requisitos mínimos de hardware (Quadro 5.2) e de funcionamento em rede que trazem algumas limitações. O acréscimo neste custo ronda os 2k€ face ao MT.

Quadro 5.2 – Requisitos mínimos de *hardware* de utilização da aplicação *Revit*®.

Descrição	Requisitos gerais
Sistema operativo	Microsoft® Windows®7 32-bit Microsoft® Windows® XP SP2 (ou posterior)
Memória	4 GB RAM
Disco	5 GB espaço livre

Em termos de formação o acréscimo é de 4,2k€ face ao MT. Este justifica-se por, no caso de estudo, ter sido necessário um grau de conhecimento do *software* bastante elevado. Para tal foram investidas muitas horas em formação pelo autor da dissertação. Só em entidades de formação certificadas foram realizadas em acumulado 90 horas em cursos profissionais. Depois foi também necessário algum tempo de autoaprendizagem, que se estima terem sido cerca de 55 horas (nº dias de modelação x 1 hora), já que, foi necessário em cada dia de trabalho de modelação, uma média diária de 1 hora.

Atividades	Redução do tempo face ao MT	Departamentos internos envolvidos	Recursos internos	Recursos Humanos		Software		Hardware e Network		Formação		Custo Total (k€)	
				MT (k€)	MP (k€)	MT (k€)	MP (k€)	MT (k€)	MP (k€)	MT (k€)	MP (k€)	MT	MP
Modelação BIM	-	DP e DPC	Gestor BIM e Modelador BIM		8,5		10,0		4,0		3,2		25,7
Interpretação do projeto e preparação de peças desenhadas	31%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado; Chefes de equipa e Preparador de obra	8,0	5,5	6,0		2,0				16,0	5,5
Compatibilização de projetos e deteção de conflitos	75%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado; Chefes de equipa e Preparador de obra	15,6	3,9							15,6	3,9
Medições do projeto de execução	91%	DP e DPC	Dir. Obra; Encarregado e Preparador de obra	14,0	1,3							14,0	1,3
Autos de Produção	32%	DP, DPC, DAC e DF	Dir. Obra e Preparador de obra	5,6	3,8	1,0	1,0			1,0	1,0	7,6	5,8
Esclarecimentos, erros e omissões	71%	DP, DPC	Dir. Obra	6,0	1,8							6,0	1,8
Coordenação de subcontratados e preparação de consultas - shop drawings	56%	DP, DPC e DAC	Dir. Obra; administrativo DAC e Preparador de obra	8,5	3,7					0,5	1,0	9,0	4,7
Aprovisionamento e notas de encomenda	35%	DP, DPC e DAC	Dir. Obra; administrativo DAC e Preparador de obra	6,9	4,5	10,0	10,0			0,5	1,0	17,4	15,5
Telas Finais /Atualização do Modelo e as built	-30%	DP e DPC	Dir. Obra e Preparador de obra	1,8	2,3							1,8	2,3
Pressupostos:													
Sub totais				66,5	35,3	17,0	21,0	2,0	4,0	2,0	6,2	87,5	66,5
Valor estimado para um volume de Obras de 2M€													
	Valor mensal	Valor dia								(MT - MP)		21,0	
Encarregado	1.800,00 €	81,82 €											
Chefe de Equipa	1.500,00 €	68,18 €											
Diretor de Obra	2.000,00 €	90,91 €											
Preparador Obra	1.800,00 €	81,82 €											
Administrativo	1.000,00 €	45,45 €											
Gestor BIM	2.000,00 €	90,91 €											
Modelador BIM	1.800,00 €	81,82 €											

Quadro 5.3 - Análise custo-benefício do MP face ao MT.

## 5.6. Testemunhos

Durante as várias interações com os intervenientes foram feitas várias observações. Destas destacaram-se as seguintes:

*"é como se construíssemos, antes de realmente construir"* - encarregado

*"é como um jogo de computador em que podemos simular e construir virtualmente sem de facto incorrerem no erro real"* - diretor de produção

*"ideal para simular a circulação de equipamentos e materiais neste tipo de obras com grandes limitações espaciais"* - preparador de obra

*"a visualização 3D dos elementos a demolir foi uma vantagem tremenda na preparação das equipas e no planeamento das demolições e na gestão dos resíduos resultantes"* - fiscal da obra

## 6. CONCLUSÕES

O presente capítulo pretende resumir as principais conclusões, a resposta à questão central da investigação e as principais contribuições para a Academia e Indústria.

A resposta à questão central da investigação foi dada através de um método proposto de suporte à implementação BIM, em empresas de construção, ao nível das atividades internas de gestão da construção, tendo por base a interoperabilidade ao nível de processos internos e troca de dados.

Foram atingidos os objetivos propostos de mapeamento de processos colaborativos organizacionais antes e após a implementação BIM (MT e MP), aplicação prática num caso de estudo complementada pela análise VSM e a discussão dos resultados obtidos.

O MP revelou-se generalizável à aplicação a construtoras, nomeadamente a médias e grandes empresas, que apresentem processos internos de gestão da construção e sigam as principais normas e boas práticas de organização e gestão de obras. A integração BIM proposta mostrou-se adaptada à realidade das empresas de construção e à sistematização dos processos internos interdepartamentais. No entanto, a par deste ganho de produtividade assistiu um complexo processo de implementação. A transição de desenhos para o modelo BIM não foi fácil, dado que a exploração das oportunidades oferecidas por esta tecnologia foi acompanhada por alterações profundas ao sistema organizacional da empresa, sendo necessário um esforço elevado na formação das equipas e na reestruturação ao nível organizacional e cultural.

A implementação prática dependeu do grau de entendimento comum de várias entidades, que era bastante baixo, da atribuição de responsabilidades e das capacidades técnicas da equipa responsável pelo BIM.

### 6.1. Contribuições do estudo

Ao longo deste trabalho foi demonstrada a inclusão prática nas operações correntes, em empresas de construção, desta nova tecnologia, tendo por base o MP para suportar a implementação BIM. O MP revelou-se um método generalizável e de boa aplicação prática a obras que incluam vários tipos de projeto, sendo o valor ganho proporcional ao número de especialidades envolvidas.

Este método é aplicável à generalidade das empresas de construção, já que estas apresentam tradicionalmente processos internos de organização e gestão de obras na linha dos definidos no MP. O MP responde assim às necessidades comuns, neste tipo de empresas, de troca de informação interna (entre departamentos) e externa (com fornecedores, projetistas e DO), como por exemplo, peças desenhadas 2D e 3D, relatórios de deteção de conflitos entre projetos, mapas de quantidades de trabalho, autos de produção e faturação e listas de aprovisionamento de materiais.

As três hipóteses de estudo consideradas foram abordadas. Na primeira foi comprovado que o MP, integrando a tecnologia BIM, estrutura, simplifica e sistematiza os processos internos em empre-

sas de construção e que a colaboração entre equipas internas na empresa é melhorada pela utilização de dados de informação resultantes do modelo BIM. A segunda hipótese foi demonstrada através da aplicação a um caso de estudo, confirmando-se que o MP pode ser implementado em obras reabilitação, mesmo que o modelo BIM não tenha sido desenvolvido na fase de conceção do projeto. Por último evidenciou-se que a colaboração entre equipas internas é melhorada pela utilização de dados de informação resultantes do BIM.

Este estudo revelou a importância do MP como suporte à implementação BIM, já que comprovou um ganho substancial na eficiência nos processos internos de gestão da construção, na qualidade e na fiabilidade da informação. Foi identificado um aumento global da eficiência em 65%, face ao MT, no fluxo de trabalho das áreas de produção, planeamento, compras e financeira tanto em sede como na obra.

Através do mapeamento do fluxo de atividades, o MP permitiu aos departamentos adquirirem uma capacidade de decisão célere, coerente, transparente e automatizada, comprovada pelo elevado rácio de atividades com valor acrescentado de 85%. Concluiu-se ainda, que para um volume de negócio de 2M€ a implementação do MP, é bastante positiva, em termos financeiros, já que o ROI atinge um valor de 32% e leva a uma economia de 21k€.

A presente dissertação abre perspetivas para a definição e sistematização de processos tradicionais integrando BIM, especificando as trocas de informação que ocorrem entre órgãos internos em empresas de construção, e para o desenvolvimento e atualização de normas e linhas de orientação relacionadas com a indústria AEC, como as normas ISO9001 e o PMBOK. Aplicando o MP, em empresas de construção, torna-se possível a execução prática da tecnologia BIM, o que facilitará aos departamentos internos e a outras entidades externas a colaboração e organização num formato normalizado com informação consistente e rigorosa.

Concluiu-se que, tão importante como a interoperabilidade entre diferentes intervenientes da indústria AEC, é também a interoperabilidade dentro das próprias organizações.

## **6.2. Limitações do estudo**

O MP enquadra-se no âmbito dos processos de gestão da construção de empresas de construção, nomeadamente em médias e grandes empresas, que apresentem processos internos na linha dos descritos no capítulo 4.1 e sigam as principais normas (*Standards*) e boas práticas de organização e gestão de obras como por exemplo as normas ISO9001 e o PMBOK®.

Com BIM há que ter em conta que é necessário mais tempo na fase de preparação e planeamento das tarefas, introduzindo novas atividades, mais tempo na análise de dados, comunicação, colaboração obrigatoriamente com mais frequência e ainda exige que os intervenientes saiam das suas zonas de conforto.



Para garantir os ganhos de eficiência e qualidade da informação, as empresas, têm de desenvolver um nível de detalhe do modelo BIM adequado e de acordo com os critérios descritos para o MP.

O MP foi testado em processos internos direcionados para o principal regime contratual em Portugal, o regime CCC. Não foi por isso abordado no sentido de aplicação a regimes como o CC ou o IPD, no entanto, acredita-se que com uma ligeira adaptação do MP a estes, os benefícios possam ser maiores, visto que é possível a integração numa fase inicial do projeto entre todas as partes interessadas.

Atualmente, a realidade da maior parte das empresas portuguesas está longe de conseguir atingir uma implementação BIM com o grau de maturidade que exige o MP, devido a barreiras como a pouca orientação ao nível académico nesta nova tecnologia, a pouca colaboração numa cadeia muito segmentada e o baixo ou praticamente nulo investimento nesta tecnologia até à data por parte de profissionais e empresas da indústria AEC.

### **6.3. Futuros campos de pesquisa**

Como campos futuros de pesquisa considera-se de interesse o estudo da adaptação deste modelo a outros contextos empresariais, como gabinetes de arquitetura, projeto, donos de obra, empresas de fiscalização e ainda em empresas de pré-fabrico ou de instalações especiais (Climatização e AVAC, Redes elétricas, e Águas e esgotos).

Na linha desta dissertação, considera-se que também seria importante vir a propor um método de integração BIM em outras atividades de gestão da construção, que não fizeram parte do âmbito desta dissertação, como a gestão da qualidade, ambiente e segurança em obras.



## 7. BIBLIOGRAFIA

ABDULMALEK, F. e RAJGOPAL, J. - *Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation*. International Journal of Production Economics, 2007.

AGCA - *Contractors Guide to BIM*. Primeira Edição., Associated General Contractors of America, 2006.

ALMEIDA, R. - *Avaliação e modelação dos custos da não-qualidade em empresas de construção*. Dissertação Mestrado. Insituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2011.

Artsoft - *Soluções Artsoft*., 2012. <http://www.artsoft.pt/> (11/Março/2012).

Autodesk - *Software de Projecto de Construção Autodesk Revit*., 2012. <http://www.autodesk.pt/adsk/servlet/pc/index?siteID=459664&id=14633462> (20/Julho/2012).

AZHAR, S.; NADEEM, A.; MOK, J. e LEUNG, B. - *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*. Auburn University, Auburn, 2008.

BABIC, N.; PODBREZNIK, P. e REBOLJ, D. - *Integrating resource production and construction using BIM*. Automation In Construction, vol. XIX, nº 5, págs. 539-543. Elsevier Science Bv, 2010.

BERARD, O. e KARLSHOEJ, J. - *Information delivery manuals to integrate building product information into design*. ITcon, vol. 17, págs. 63-74. 2012.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M. e VOLM, J. - *The project benefits of Building Information Modelling (BIM)*. International Journal of Project Management, 2013.

CEROVSEK, T. - *A review and outlook for a "Building Information Model" (BIM): A multi-standpoint framework for technological development*. Automation In Construction, vol. XXV, nº 2, págs. 224-244. 2011.

CIB - *Building Pathology. A State-of-the Art Report*. International Council for Research and Innovation in Building and Construction, 1993.

CIC - *BIM Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania, Computer Integrated Construction Research Program, 2010.

CLEMENTE, J. - *Sinergias BIM-Lean na redução dos tempos de interrupção de exploração em obras de manutenção de infraestruturas de elevada utilização – um caso de estudo*. Dissertação de mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte da Caparica, 2012.

EASTMAN, C.; LEE, G. e SACKS, R. - *Development of a Knowledge-Rich CAD System for the North American Precast Concrete Industry*. In TECHNOLOGY, G., ed. : nnual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture, Indianapolis, pp.207-215. 2003.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. e LISTON, K. - *BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling*. Segunda Edição. New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2011.

GÖKÇE, U.; SCHERER, R. e DIKBAŞ, A. - *Integrated Construction Project Management System Based on IFC and ISO9001:2000.*, págs. 513-520. International Federation for Information Processing, 2007.

GRILO, A. e JARDIM-GONÇALVES, R. - *Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments*. Automation In Construction, vol. 19, nº 5, págs. 522-530. 2010.

IAI - *Buildingsmart and IFD*. IFD Library, 2007. [http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:buildingSMART\\_and\\_IFD](http://dev.ifd-library.org/index.php/Ifd:buildingSMART_and_IFD) (14/07/2012).

IAI - *Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods*. 2010.

IAI - *buildingSmart - International home of Open BIM*. buildingSmart, 2012. <http://www.buildingsmart.com/> (24/10/2012).

KNUTT, E. - *Construction Manager - Home.*, 2012. <http://headley.co.uk/headturner/CM0512> (13/Junho/2012).

KUNZ, J. e FISCHER, M. - *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. CENTER FOR INTEGRATED FACILITY ENGINEERING, 2012.

KYMMELL, W. - *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations*. Primeira Edição., McGraw-Hill, 2008.

LEE, G.; PARK, H. e WON, J. - *D3 City project — Economic impact of BIM-assisted design validation*. Department of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea, Seoul, Republic of Korea, 2012.

LEWIN, K. - *Action Research and Minority Problems*. Journal of Social Issues, vol. Volume 2, nº 4, págs. 34–46. 1946.

McGraw-Hill Construction - *Interoperability in the Construction Industry.*, 2007.

McGraw-Hill Construction - *The Business Value of BIM*. SmartMarket Report. McGraw-Hill, New York, 2009.

McGraw-Hill Construction - *The Business Value of BIM - Getting BIM to the bottom line in the United Kingdom, France and Germany*. SmartMarket Report. McGraw-Hill, Bedford, 2010.

National Institute of Building Sciences - *National Building Information Modeling standard.*, 2007.

NBS - *National BIM Survey*. National Building Specification, 2012.

NIBS - *National Building Information Modeling standard.*, National Institute of Building Sciences, 2007.

NIST - *Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry*. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, 2004.

OMG - *OMG - BPMN.*, 2012. <http://www.omg.org/spec/BPMN/> (20/Fevereiro/2012).

- PARREIRA, J. e CÓIAS, V. - *Custo das falhas em empresas vocacionadas para a reabilitação de edifícios.*, 2008.
- PATACAS, J. - *Metodologia para suporte de processos colaborativos na indústria da construção baseada em BIM e em princípios de referência de interoperabilidade.* Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte da Caparica, 2012.
- PMI - *A Guide to the Project Management Body of Knowledge.* Quarta Edição. Newton Square, Pennsylvania, Project Management Institute, Inc, 2008.
- ROTHER, M. e SHOOK, J. - *Learning to See - Value stream mapping to create value and eliminate muda.* In : The Lean Enterprise Institute, Massachusetts, EUA 1998.
- RUBENSTONE, J. - *Autodesk Steers Users Toward the Cloud with Expanded Subscription-Based Services.* Engineering News-Record, págs. 30., 2012.
- SACKS, R. e EASTMAN, C. - *Process Improvement in Precast/Prestressed Concrete Construction Using Top-Down Parametric 3-D Computer Modeling.* Precast/Prestressed Concrete Institute Journal, págs. 46-55. 2003.
- SUCCAR, B. - *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.* University of Newcastle, Australia, 2008.
- TABORDA, P. - *BIM como plataforma para concursos públicos: Contribuição para uma metodologia de implementação.* Dissertação de Mestrado. Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Monte da Caparica, 2012.
- TABORDA, P. e CACHADINHA, N. - *BIM nas Obras Públicas do Reino Unido.* eUAU!, vol. 18, págs. 7-8. TECAD, 2011.
- Timelink - *Timelink - CCS/Candy.*, 2012. <http://timelink.pt/> (24/Julho/2012).
- Vico Software - *BIM Workflow in Vico Office.*, 2012. <http://www.vicosoftware.com/5D-BIM-Workflow-in-Vico-Office/tabid/223771/Default.aspx> (15/Maio/2012).
- VONDEREMBSE, M.; UPPAL, M.; HUANGS, S. e DISMUKES, J. - *Designing supply chains. Towards theory development.* International Journal of Production Economics, 2006.
- WAGNER, L. - *U.S. Geological Survey Circular 1221.* Geological Survey. U.S. Department of the Interior, Denver, 2002.
- WICKERSHAM, J. - *Legal and Business Implications of Building Information Modeling (BIM) and Integrated Project Delivery (IPD).* BIM-IPD legal and business issues, págs. 1-9., 2009.
- WONG, A.; WONG, F. e NADEEM, A. - *Comparative Roles of Major Stakeholders for the Implementation of BIM in Various Countries.* Proceedings of the CIB conference changing roles, Noordwijk aan Zee, the Netherlands, vol. 1, nº 1, págs. 23-33. 2009.
- YANG, Z. - *Cooperation between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery Method Leads to Paradigm Shift of AEC Industry.* Management and Service Science, 2009. MASS '09. , vol. I, págs. 2-4., 2009.



## 8. ANEXOS

### Legenda

- I1 – Articulado com custos previstos e valores de venda
- I2 – Gráfico de barras
- I3 – Peças desenhadas 2D e perspetivas 3D
- I4 – Mapa geral de obras
- I5 – Lista de faturas para validação e ajustamentos aos custos e proveitos a realizar à data de análise
- I6 – Documentação do sistema de gestão da qualidade
- I7 - Mapa de elementos de construção e quantidades extraídas do modelo
- I8 – Lista de conflitos e erros (discordância entre alçados, mesmo espaço ocupados por vários elementos, falta de elementos)
- I9 - Dossiê de desenhos e perspetivas em Autocad. Ficheiro de visualização Revit gratuito
- I10 - Relatório de análise de valor e impacto económico das soluções
- I11 – Documentos e telas finais

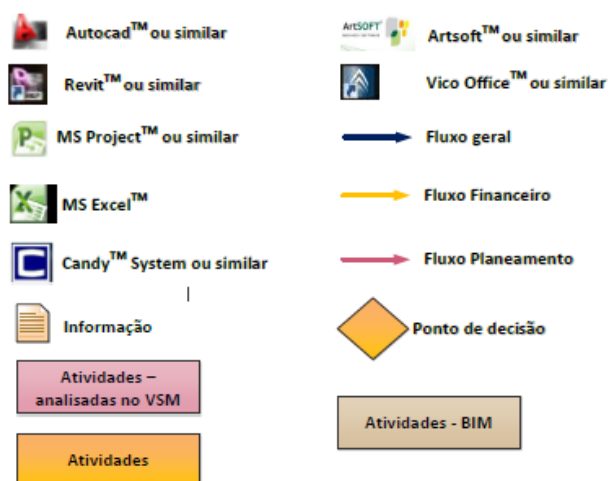


Figura 8.1- Legenda de ícones utilizados no mapeamento BPMN

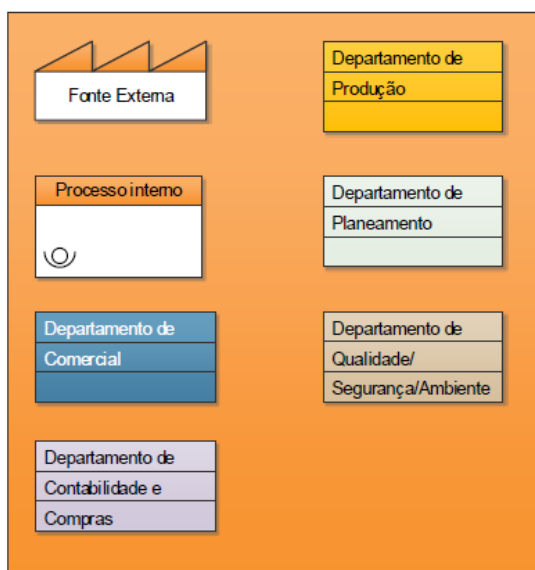


Figura 8.2- Legenda de ícones utilizados no mapeamento de fluxo e valor (VSM)