

ptbim

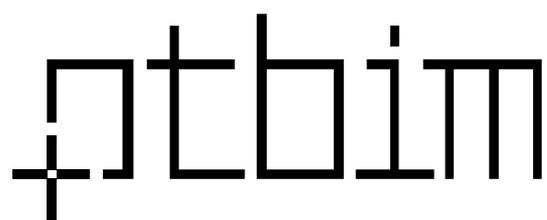
1º congresso português de
building information
modelling

24 & 25 novembro 2016
universidade do minho
guimarães - portugal

Editores
Miguel Azenha
João Poças Martins
José Granja



Universidade do Minho



1º Congresso português de Building Information Modelling

Universidade do Minho, Guimarães

24 e 25 de novembro de 2016

Editores:

Miguel Azenha

João Poças Martins

José Granja

Coorganizado por:



Universidade do Minho



ORDEM
DOS
ENGENHEIROS



Texto © 2016 Editores

Design © José Granja

ISBN: 978-989-8793-04-1

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.166758>

Departamento de Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade do Minho
Campus de Azurém, 4800-058, Guimarães, Portugal

<http://www.civil.uminho.pt/>

© Universidade do Minho. 2016

© Autores. 2016

© Editores. 2016

Créditos para a foto de capa: Boutik Marketing

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada ou transmitida total ou parcialmente, por nenhuma forma e nenhum meio, seja mecânico, eletrónico, ou qualquer outro, sem autorização prévia escrita dos autores e editores. Os textos, bem como os esquemas e imagens do seu conteúdo são da inteira responsabilidade dos seus autores.

Os autores e os editores fizeram todos os esforços para assegurar a exatidão da informação apresentada.

COMISSÃO ORGANIZADORA LOCAL

Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAUM)

COMISSÃO ORGANIZADORA NACIONAL

João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)
Nuno Lacerda – Universidade do Porto (FAUP)
Francisco Teixeira Bastos – Universidade de Lisboa (IST)

COMISSÃO CIENTÍFICA

João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP) (Presidente)
Alfredo Soeiro – Universidade do Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAUM)
Diogo Ribeiro – Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)
Fernanda Rodrigues – Universidade de Aveiro (UA)
Fernando Pinho – Universidade Nova de Lisboa (UNL)
Francisco Teixeira Bastos – Universidade de Lisboa (IST)
Hugo Rodrigues – Instituto Politécnico de Leiria (IPL)
João Pedro Couto – Universidade do Minho (EEUM)
José Carlos Lino – Newton-C - Consultores de Engenharia
José Pedro Sousa – Universidade do Porto (FAUP)
José Pinto Duarte – Penn State University (PSU)
Levi da Costa – Universidade Lusíada (UL)
Luís Costa Neves – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
Nuno Lacerda – Universidade do Porto (FAUP)
Paula Couto – laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
Sara Eloy – Inst. Universidade de Lisboa (ISCTE)
Zita Sampaio – Universidade de Lisboa (IST)

COMISSÃO DE HONRA

Paulo Lourenço – Universidade do Minho (EEUM)
Hipólito Sousa – Universidade do Porto (FEUP)
Fernando Branco – Universidade de Lisboa (IST)
Carlos Guimarães – Universidade do Porto (FAUP)
Teresa Heitor – Universidade de Lisboa (IST)

PATROCINADORES



A400 - Projetistas e Consultores de Engenharia



Telhas Cobert - Part of BRAAS MONIER BUILDING GROUP



BIMMS - Building Information Modeling and Management Solutions



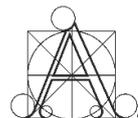
INFOR - Sociedade Portuguesa de Estudos e Informática



bimTEC - Building Information Modeling Consultants



CONSTRUSOFT – Software BIM para a Indústria de Construção



ARCHIBUS®

ARCHIBUS



Leica – when it has to be right



Newton-C - Consultores de Engenharia



nossoBIM - Pioneiros em formação
avançada e divulgação BIM online



CYPE - Software para Engenharia e Construção



EDP - Energias de Portugal

PREFÁCIO

A crescente importância da representação digital de elementos de construção, tornada possível pelas metodologias ‘*Building Information Modelling*’ (BIM), está a introduzir alterações muito relevantes no projeto, na construção e gestão de operações. Estes processos digitais introduzem novos paradigmas de relacionamento entre os vários ‘atores’ envolvidos, com grande impacto nas formas de desenvolver o trabalho.

O objetivo do Congresso PTBIM é promover um fórum de discussão técnico-científica em língua Portuguesa, envolvendo a participação ativa das comunidades profissional e académica das áreas de Arquitetura e Engenharia. Pretende-se enfatizar os problemas e esforços de implementação na Indústria da Construção e reforçar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.

Esta primeira edição do PTBIM, com lugar no Campus de Azurém da Universidade do Minho (24 e 25 de novembro de 2016) contou com 52 artigos reportados neste livro de atas, e cerca de 200 inscritos, em correspondência com o limite máximo preconizado pela organização. Os artigos contemplam autores de diversas instituições de ensino/investigação nacionais, bem como profissionais da Indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção.

Apesar da realização do evento ter decorrido na Universidade do Minho, em sinergia entre as Escolas de Engenharia e de Arquitetura, é importante assinalar o cariz integrador ao nível organizativo com participação e apoio de várias instituições de ensino: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto e Instituto Superior Técnico. É também especialmente relevante assinalar o envolvimento das Ordens dos Engenheiros e dos Arquitetos nesta organização, demonstrando a forte relevância da temática para a prática profissional e a louvável atitude proactiva das Ordens Profissionais a este respeito.

No contexto desta publicação assinala-se um agradecimento especial ao trabalho voluntário dos membros da Comissão Científica na revisão dos trabalhos submetidos.

Os Editores:

Miguel Azenha
João Poças Martins
José Granja

ÍNDICE

Prefácio.....	9
Índice	11

Parte I – Implementação, interoperabilidade e colaboração

BIM A400: Implementação, Resiliência, Rentabilidade

André Silva, Diogo Drumond, João Oliveira	19
---	----

Soluções para a coordenação, implementação e gestão BIM - Uma perspetiva global

José Carlos Lino, Nuno Lacerda, Francisco Reis, Bruno Caires.....	33
---	----

Desenvolvimento de interfaces de realidade virtual a partir de BIM e avaliação da sua aplicabilidade

Fábio Alexandre Matoseiro Dinis, João Pedro da Silva Poças Martins	45
--	----

Implementação do conceito BIM na COBA

Pedro Serra, Carlos Canelhas, António Raposo, José Cidades	57
--	----

Implementação BIM na CASAIS S.A

Miguel Pires, André Monteiro.....	69
-----------------------------------	----

Implementação BIM numa empresa de estudos e projetos de Engenharia (CENOR)

André Monteiro, João Lima, Sofia Henriques, Luís Rodrigues, Luís Ribeirinho	77
---	----

O que há de BIM em NOZ

Ana Silva, Daniela Silva, Flávio Silva, Rui Dias	87
--	----

Implementação do Modelo de Informação Integrado no BIM em obra ferroviária

Martim Bernardo Ribeiro, Miguel Chichorro Gonçalves, Pedro Mêda Magalhães	99
---	----

Fluxos de informação BIM - recolha e partilha automatizada de dados a partir de um modelo BIM

Joaquim Danado	109
----------------------	-----

A utilização de ferramentas digitais como suporte à idealização, análise e construção de malhas estruturais de madeira

João M. Barroso, Jorge G. Fernandes, Jorge M. Branco	121
--	-----

Exploração dos benefícios mútuos entre BIM e jogos de simulação

Vítor Mineiro, Rosaldo Rossetti, Miguel Azenha	131
--	-----

Proposta de sistema de classificação nacional orientado para objetos BIM	
Henrique Nunes, Paula Couto, Maria João Falcão Silva, Fernando F.S. Pinho.....	143
Classificação e organização de objetos BIM e sua aplicação em modelos 4D & 5D	
Ana Quintela, João Pedro Couto, Francisco Reis	153
BIM no projeto de estruturas de obras hidroelétricas	
Alexandre Marques, Miguel Azenha, André Ferreira	163
Implementação da metodologia BIM na direção de engenharia de barragens da EDP produção – caso de estudo do projeto de estruturas da central e circuito hidráulico do A.H. de Fridão	
André Ferreira, Alexandre Marques, Celso Lima	173
Guia de implementação da metodologia BIM	
Claudio Gomes, José Carlos Lino, Ricardo Pereira Santos	185
Implementação BIM nos projetos de ensino do Departamento de Engenharia Civil da UMinho	
Miguel Azenha, José Carlos Lino, João Pedro Couto	195
Parte II – BIM em projeto de arquitetura e engenharia	
O BIM aplicado a estações de metro	
Luís Ribeirinho, André Monteiro, Miguel Conceição.....	209
BIM em projeto de obras hidráulicas – o caso de uma estação elevatória	
Sofia Henriques, Luís M. P. Rodrigues, Jorge de Mello Vieira	219
Engineering project’s support based on BIM technology	
Taisiia Mitina, José Carlos Lino, Luísa Maria da Silva Gonçalves	227
Aplicação do design generativo nas tecnologias BIM	
Inês Caetano, António Leitão e Francisco Teixeira Bastos.....	239
Design generativo para Building Information Modelling	
Bruno Ferreira, António Leitão	251
Uma arquitetura de objetos	
Rafael Vieira.....	263
Otimização evolutiva de forma para sustentabilidade, cruzando o BIM e a modelação algorítmica	
Pedro Santiago.....	275

A-BIM: Algorithmic-based Building Information Modelling	
Sofia Feist, António Leitão.....	285
Da linha ao varão: caso de estudo do projeto de estabilidade, tendo o conceito BIM como base	
Gabriel Lopes	297
Energy analysis using cooperation between BIM tools (Revit and Green Building Studio) and Energy Plus	
Kamar Aljundi, Armando Pinto, Fernanda Rodrigues	309
Contributo dos modelos BIM para a exposição, representação e documentação da arquitetura	
Rita Rebelo Póvoas, Francisco Teixeira Bastos	321
Modelo integrado para a simulação do faseamento construtivo de barragens	
Luís Pedro Bidarra, Miguel Azenha, João Pedro Couto, José Carlos Lino.....	333
Modelação BIM de armaduras em estruturas de betão armado: possibilidades, desafios e interoperabilidade	
João Fernandes, José Carlos Lino, Ricardo Santos	343
Caso de estudo da utilização do BIM no apoio ao projeto de redes urbanas de abastecimento de água em África	
Gabriel Lopes	359
Implementação BIM de um projeto de instalações hidráulicas de um edifício unifamiliar	
Miguel Chichorro Gonçalves, Pedro Rocha, Martim Bernardo Ribeiro	371
Ferramenta BIM para o dimensionamento de poços de fundação	
Cláudio Gomes, Diogo Ribeiro, Rui Gavina, Bruno Costa e André Santos	381
Desenvolvimento de um software para a determinação e mitigação do escoamento superficial	
Luís Sanhudo, João Poças Martins	395
Parte III – BIM na construção	
Integração de ferramentas BIM aplicadas a um caso de estudo – coordenação e quantificação	
Tiago Gouveia, José Carlos Lino, João Pedro Couto	409
Aplicações recentes no uso de BIM na Segurança na Construção	
Alfredo Soeiro, João Pedro Poças Martins	419

Utilização do BIM na gestão de segurança do estaleiro da construção do túnel do Marão Juliana Fernandes, João Pedro Couto, Manuel Tender	427
Utilização do BIM 4D e 5D enquanto metodologia avançada para o planeamento, preparação e monitorização de obras Diogo Coelho, João Pedro Couto, Dinis Leitão, João Morgado	437
Reabilitação de um edifício público: contributo para a interoperabilidade entre BIM e PRONIC Rodrigo Giollo, Maria João Falcão Silva, Paula Couto	451
BIM no apoio à gestão da construção Anne-Marie Mushamalirwa, André Reis Antunes, António Aguiar Costa.....	463
Ferramentas BIM de apoio à gestão de obra Joana Araújo, José Carlos Lino, João Pedro Couto	475
Do modelo à obra – caso internacional de prática colaborativa José Carlos Lino, Nuno Pires	489
 Parte IV – BIM na gestão de operações e manutenção	
Plataforma Web-BIM para gestão de instalações de um Campus Universitário Ricardo Resende, Luís Coroado, António Lopes, Rodrigo Sacadura, Maria Helena Teixeira, Sara Eloy, Miguel Sales Dias	501
O uso da tecnologia BIM em Património Histórico. Um caso de estudo: O Convento dos Capuchos da Caparica João Frescata Pereira, Ana Tomé	513
Building Life Cycle Management na reabilitação de edifícios Raquel Matos, Fernanda Rodrigues, Hugo Rodrigues, Ana Alves, Paulo Ribeirinho	527
Modelação BIM do património existente. O caso de uma ETAR Luís M. P. Rodrigues, Sofia Henriques, Jorge de Mello Vieira	537
Interface BIM para a gestão de instalações André Reis Antunes, Ruben Santos, António Aguiar Costa	547
Implementação da metodologia BIM-FM a uma unidade desportiva – piscina olímpica Diana Bastos Silva, José Pinto-Faria, José Carlos Lino	559

A metodologia BIM – Building Information Modeling na gestão da manutenção dos edifícios: estudo de caso do campus 2 do IPLeiria	
Cláudio Carvalho, António Aguiar Costa, Luísa M. S. Gonçalves	567
Rentabilização da gestão de ativos de infraestruturas através do BIM	
Hugo Pina, Pedro Mota da Silva, Hugo Rodrigues e Fernanda Rodrigues	579
Contributo do BIM como suporte das fases de manutenção e operação dos edifícios	
Wilson Dias, José Carlos Lino, João Pedro Couto	589
O BIM na certificação energética de edifícios de serviços	
Raul Lana Miguel, Daniel Marcelo Ferreira	601
Índice de autores.....	615

Parte I

Implementação, interoperabilidade e colaboração

BIM A400: IMPLEMENTAÇÃO, RESILIÊNCIA, RENTABILIDADE

André Silva ⁽¹⁾, Diogo Drumond ⁽¹⁾, João Oliveira ⁽¹⁾

(1) A400 Projectistas e Consultores de Engenharia Lda, Porto

Resumo

Existem vários exemplos de implementação de tecnologias BIM na produção de projetos, no entanto o êxtase do primeiro projeto bem-sucedido rapidamente dá lugar a uma inquietação perante um problema de grande importância – Como controlar os custos de produção de projetos em BIM?

O processo de implementação de tecnologias BIM num gabinete de projetos é por si só árduo, sendo que aplicado a uma empresa multidisciplinar a complexidade do processo é incrementada em várias ordens de grandeza. Este artigo descreve a abordagem da A400 a esta problemática percorrendo as fases críticas e as opções tomadas.

Todo este processo obrigou a uma profunda reformulação na forma como abordamos os projetos, desde a alteração dos campos de ação dos intervenientes, passando pela aquisição de meios, pela formação e qualificação dos recursos e até o desenvolvimento de *software*. No artigo serão descritas as alterações ao *modus operandi* dos departamentos e a forma como o BIM permitiu difundir e controlar a informação de forma simples, inequívoca e eficaz.

A interligação dos vários *softwares* que utilizam os modelos BIM em interação revelou-se uma vantagem importante. Os *softwares* de modelação Revit e Tekla Structures permitiram transmitir informação com ferramentas de cálculo e simulação como o Robot (Estruturas) e Design Builder (AVAC), assim como vários softwares desenvolvidos internamente otimizando os tempos de desenvolvimento de projeto de uma forma significativa.

Serão apresentados os custos de implementação assim como as rentabilidades obtidas após a introdução do novo sistema produtivo, referindo o balanço positivo com retornos importantes em 3 anos.

1. Introdução

A génese e força motriz do processo BIM no seio da A400 ambicionou a melhoria do processo produtivo, segundo uma ótica de aumento da rentabilidade. Esse objetivo conseguiu-se através da identificação e resolução de problemas, incompatibilidades e incongruências em fases a montante do processo construtivo.

A experiência adquirida ao longo dos 20 anos de existência demonstrou que os principais desperdícios no âmbito do processo produtivo de projetos surgiam na troca de informações e na compatibilidade entre as especialidades. O aparecimento do BIM possibilitou a criação de uma metodologia focada na redução destas ineficiências aumentando a qualidade e a rentabilidade dos processos.

A empresa possui um organograma dividido em 7 departamentos – Estruturas, Estruturas Metálicas, Instalações Hidráulicas, Instalações Elétricas, Instalações Mecânicas, Coordenação e I&D – contando no total com cerca de 60 colaboradores. Internamente são desenvolvidos projetos de engenharia de edifícios, sendo a arquitetura desenvolvida por parceiros.

2. O Problema/Oportunidade BIM

Recentemente, apesar da tecnologia BIM ser encarada pelos diversos atores como uma inevitabilidade para a indústria AEC (*Architecture, Engineering, Construction*), os avanços neste processo têm decorrido de forma lenta. A crise do sector em Portugal restringe os investimentos e conseqüentemente os processos de implementação nas empresas possuem recursos escassos e atrasos significativos.

No entanto a maior restrição à utilização da tecnologia BIM personaliza-se nos próprios clientes, que não estão dispostos a despende honorários superiores na obtenção de um produto final concordante com essa metodologia. Dada a concorrência no mercado de projeto qualquer empresa que pretenda aumentar os seus honorários de forma a compensar o investimento em BIM assistirá a uma diminuição da sua carteira de clientes. Constata-se assim a existência de uma externalidade no negócio dos projetos, dado que as vantagens de um projeto em BIM beneficiam principalmente os promotores, contudo assiste-se a uma não valorização desta tecnologia no momento de comparação de propostas.

A coordenação de especialidades sempre foi uma prioridade para a A400, identificando-se na tecnologia BIM uma mais-valia. No entanto, desde a génese do processo de implementação que se definiu o objetivo de tornar o processo produtivo mais rentável e não somente incrementar a qualidade final do projeto. Esta abordagem permitiu justificar um investimento sério e libertar os recursos necessários, mas também aumentar o grau de dificuldade associado. Grande parte das decisões foram condicionadas por esta máxima, o que obrigou a um olhar mais atento ao tipo de soluções encontradas, permitindo em simultâneo assegurar o foco na otimização que qualquer mudança de paradigma impõe.

3. Processo de Implementação

O facto das várias especialidades serem produzidas e desenvolvidas internamente facilita os fluxos de informação, os quais, no entanto, assentavam sobre desenhos produzidos em Autocad 2D e em comunicações através de *emails*. As limitações impostas pela fragmentação da informação conduziam a erros que originavam desperdícios elevados, obrigando as equipas a consumirem horas em reformulações sucessivas de trabalho.

Edifícios cada vez mais complexos e exigentes a nível técnico agravam a ineficiência deste modelo de produção. A metodologia BIM surge como ferramenta de melhoria dos processos produtivos aumentando a facilidade com que a informação flui entre os vários intervenientes.

A aplicação direta de um *software* BIM no processo produtivo seria relativamente simples e até poderia produzir benefícios mais imediatos, no entanto em comparação com os benefícios largamente superiores de uma alteração substancial do processo produtivo através de uma implementação estruturada a longo prazo, delineou-se um plano com objetivos mais alargados.

Em traços gerais o plano consistiu nas seguintes fases:

- Reformulação/aquisição de *software* e *hardware* a pequena escala (Testes);
- Criação de um grupo de trabalho multidisciplinar para liderar o processo;
- Produção de aplicativos gerais de apoio com departamento de I&D;
- Produção de metodologias e procedimentos gerais;
- Elaboração de projetos reais pelos elementos do grupo de trabalho;
- Revisão de procedimentos e metodologias;
- Formação a todos os colaboradores dos departamentos produtivos;
- Implementação alargada do novo processo;
- Desenvolvimento de aplicativos específicos pelo departamento de I&D;
- Implementação do programa de melhoria contínua;

4. Comparativo de Modelo Inicial e Modelo Atual

O processo de implementação enfrentou vários obstáculos e dificuldades, como aliás é referido ao longo do presente artigo. Para caracterização desta evolução são apresentados na figura abaixo dois modelos, um pertencente ao grupo de projetos piloto e um modelo atual.

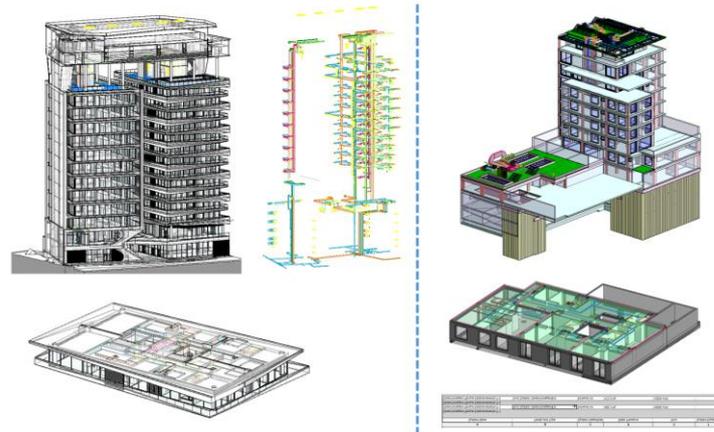


Figura 1: Comparativo Modelo Piloto vs Modelo Atual.

Aparentemente, e em termos estritamente visuais os modelos exibem diferenças gráficas pouco significativas. Mas o que de facto é apresentado são dois modelos conceptualmente distintos, nomeadamente na transição entre uma representação inerte de massas e elementos 3D, para um modelo realmente interativo, e de fluxo de informação integrado, demonstrando do real propósito de um projeto BIM.

O percurso foi, sem dúvida sinuoso, repleto de dificuldades e de decisões complexas, mas foram os resultados que transmitiram o incentivo para o desenvolvimento metodológico e de melhoria contínua, particularmente na motivação e envolvimento dos recursos humanos, os quais, de forma natural sentiram o abalo associado à significativa alteração de paradigma vigente.

Destacam-se as principais alterações conceptuais e organizacionais do Plano de Implementação/Execução BIM, as quais serão devidamente detalhadas ao longo do presente artigo:

- Processamento e parametrização das famílias previamente à sua introdução, partindo-se de um sistema de classificação interno em aplicativo próprio, uniformizando parâmetros gerais internos, mas também parâmetros particulares de cada especialidade. Esse sistema de classificação recorreu à caracterização de cada família através de parâmetros internos gerais e intrínsecos a cada especialidade.

Exemplo: IME- 01_Air Terminals- 01_Grelhas – 01_Insuflação.

Tipo de Família	Parametros	Configuração				
		Parameter Type	Name	Discipline	Type Parameter (TP) / Instanc	Group Parameter Under
Extração, Insuflação, Exteriores, Lineares, Intumescentes, Desenfumagem	Identity Data	Model	Modelo		-	-
		Pré-definidos inicialmente	Manufacturer	Marca	-	-
			Description	Descrição	-	-
		Shared Parameter	REF.	Referência	TP - Text	Identity Data
	Dimensions	Family Parameter	Largura	Common	Lenght	Dimensions
			Comprimento			
			Espaçamento Alhetas			
			Altura			
			Outras necessárias			
	Other	Shared Parameter	Piso	Common	I - Text	Text
	Other	Shared Parameter	Espaço	Common	I - Text	Text
	Other	Shared Parameter	Zona	Common	I - Text	Text
	Mechanical	Shared Parameter	Perda de Carga	HVAC	Pressure	Mechanical
	Mechanical Flow	Shared Parameter	Caudal de Ar	HVAC	Air Flow	Mechanical - Flow

Figura 2: Exemplo de sistema de classificação e de parametrização.

- Homogeneização de *templates* internos preparados com requisitos específicos de cada especialidade, bem como visualizações do próprio modelo e entre modelos interligados. Importa referir que foram também aproveitadas mais potencialidades do *software* que permitiram trocas de informação mais fluídas entre especialidades e sem intervenção manual anteriormente necessária.
- Definições específicas para a interoperabilidade entre o modelo Revit e outros *softwares*, concretamente softwares de cálculo estrutural e simulação térmica, energética e luminotécnica.

5. Recursos humanos

Uma problemática central em qualquer processo de implementação é a metodologia de distribuição de recursos humanos.

Após a elaboração do plano de implementação, criou-se uma equipa interdisciplinar responsável pelo processo. Selecionaram-se elementos de 4 departamentos (Estruturas, Inst. Hidráulicas, Inst. Elétricas e Inst. Mecânicas) com atuação na criação de conteúdos e procedimentos, com coordenação através de reuniões periódicas, lideradas pelo BIM Manager. Por duas vezes foi necessário realocar recursos devido à fraca produtividade deste grupo de trabalho:

- Numa primeira abordagem selecionaram-se técnicos desenhadores. Os elementos escolhidos possuíam uma experiência elevada e estavam enquadrados na empresa há vários anos. No entanto esta opção revelou-se pouco eficaz, dado que a alteração pretendida não poderia incidir apenas na área de ação específica destes colaboradores. Era necessário envolver elementos que tivessem uma abordagem mais generalista a todas as fases do projeto e não só à parte de produção dedicada de elementos gráficos e escritos;
- Através da identificação das falhas da equipa inicial, selecionaram-se engenheiros de cada departamento com 3 a 6 anos de experiência. Esta equipa apesar de sensível ao

processo na sua globalidade, dedicava demasiada atenção aos seus projetos em curso, penalizando o tempo despendido com o processo de implementação;

- A equipa que melhor efeito surtiu foi composta por engenheiros estagiários, com 0 a 1 ano de experiência: A juventude desta equipa, aliada a uma maior frescura mental, estabeleceu caminho à motivação para um universo novo, exibindo perseverança nas dificuldades e abertura para discutir e aplicar as diretrizes.

6. Formação

A necessidade de um plano de formação exaustivo também originou algumas dificuldades. A opção de contratar uma empresa externa para ministrar as formações foi tomada em alternativa a formações preparadas internamente. Estas últimas seriam certamente mais produtivas no sentido de divulgar os procedimentos e metodologias desenvolvidas, no entanto, os custos de preparação dessas formações e a sua ministração excediam largamente os custos da formação externa.

Recorreu-se então a um plano de formação com o intuito de uniformizar generalizadamente os conhecimentos BIM entre os colaboradores. Esta formação teve a duração total de 32 horas, cujo conteúdo programático incidiu principalmente nas funções macro do Revit. Pese embora a formação tenha atingido os objetivos propostos salienta-se a dificuldade em encontrar programas adequadas para a parte MEP (*Mechanical, Electrical, Plumbing*) do Revit. A utilização de sistemas com equipamentos interligados que transportam fluidos ou energia, contém particularidades importantes cujos os formadores não estão suficientemente familiarizados.

7. Software e Hardware

A seleção do *software* é outra das etapas inerentes à implementação da tecnologia BIM. No caso particular da A400 a escolha recaiu sobre o Autodesk Revit, alicerçado nos seguintes motivos:

- À data de 2012 seria o *software* que melhor asseguraria a multidisciplinaridade, nomeadamente para modelação em MEP;
- Exibia uma quota de mercado considerável;
- Existiam já cerca de 6 licenças Revit na empresa.

A distribuição das diferentes versões do Revit é efetuada segundo as necessidades de modelação de cada departamento, sendo que as especialidades MEP trabalham com o Revit Completo, já que apenas esta versão permite a modelação deste tipo de sistemas. Por sua vez, o departamento de Estruturas utiliza licenças Revit LT em fases iniciais dos projetos transitando para a versão completa nas fases finais e em projetos de maiores dimensões. Esta opção permitiu poupanças significativas nos custos de licenciamento sem grandes alterações produtivas, sendo que as funcionalidades da versão LT são suficientes para todo o processo de modelação estrutural se não forem incluídas as armaduras. O departamento de Estruturas Metálicas utiliza *softwares*

BIM, nomeadamente o Tekla Structures, há cerca de 10 anos, com elevado grau de sucesso e enraizamento.

Na especialidade de estruturas a utilização de armaduras modeladas em Revit foi adiada. Esta opção deveu-se à escassez de recursos disponíveis para o processo de implementação e ao facto da A400 ter feito investimentos substanciais no desenvolvimento de aplicativos de desenho de armaduras em Autocad, que poderiam ser mantidos em produção por mais tempo.

Os custos anuais de licenciamento para Revit Completo, Revit LT e Tekla Structures rondam os 30 000 €. Dadas as alterações do licenciamento Autodesk estima-se que uma licença de Revit em regime de aluguer poderá atingir cerca de 15% do custo direto de um posto de trabalho, representando assim um encargo elevado.

Como se compreende pelo atrás exposto, as licenças de *software* são onerosas, e é necessário um trabalho de racionalização de recursos, pois não é financeiramente senesato disponibilizar licenças para todos os colaboradores. Assim sendo, sentiu-se necessidade de monitorizar os acessos a licenças, para progressivamente adequar o número disponível às reais necessidades de trabalho. Tal foi conseguido através do desenvolvimento interno por parte do departamento de I&D de um aplicativo que permite:

- Controlo do número de *denials* (executar o *software* sem licença disponível);
- Visualização por parte de todos os colaboradores da utilização das licenças, flexibilizando a partilha de recursos;

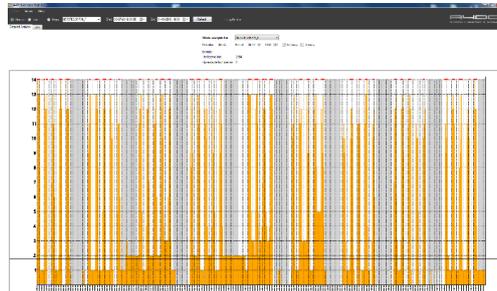


Figura 3: Aplicativo para gestão de licenças.

Em termos de *hardware* foram adotadas as especificações gerais descritas nas recomendações da Autodesk. De momento a empresa adquire workstations Supermicro – i7 6700K, 32 GB RAM Non ECC, NVIDIA Quadro M2000, SSD 256GB.

A infraestrutura de rede é suportada por dois *cluster* cada um deles composto por 2 nodos de computação redundantes, com armazenamento de dados redundante multi-camada interligados por “*switches*” instalados em cascata com um *backbone* a 40Gbps.

8. Implementação Metodologia BIM

Na atualidade o desenvolvimento de projetos em BIM a nível nacional não permitiu em diversas situações avançar com uma solução totalmente integrada entre arquitetura e especialidades. Ainda mais longe encontra-se a perspetiva de expandir a utilização dos modelos à orçamentação

ou gestão de obra. Essa dificuldade, nomeadamente com gabinetes de arquitetura, originou o desenvolvimento de uma metodologia de trabalho que integrasse a processos BIM com a metodologia anterior. Foram desenvolvidas ferramentas, manuais e procedimentos que abordassem o processamento da informação quando esta fosse fornecida em Autocad ou outros meios não integrados.

8.1 Gestão de Modelos

De particular relevância no desenvolvimento de projetos de engenharia é a preparação do modelo base que contém a arquitetura. Particularmente em especialidades MEP torna-se difícil produzir um modelo BIM sem existir uma base arquitetónica na mesma tecnologia.

Esta questão minimizou-se com a produção de um modelo simplificado de arquitetura, ficando a cargo do departamento de Instalações Mecânicas para otimizar fluxos de trabalho, dado este modelo ser reutilizado nos softwares de simulação energética – HAP e Design Builder. Em casos particulares, este modelo é também usado para iniciar o modelo de cálculo estrutural.

O processo produtivo da A400 assenta na criação distinta de modelos por especialidade que se interligam com os restantes segundo o esquema da figura abaixo. É ainda gerado um modelo de coordenação com o intuito de detetar incompatibilidades e exportar elementos coordenados a enviar para entidades externas (clientes, arquitetos, outros projetistas de especialidades).

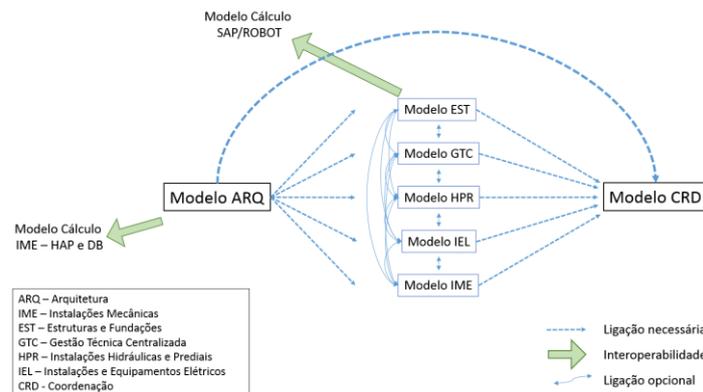


Figura 4: Esquema interligações entre modelos.

Outro dado com relevância será o facto do trabalho segundo a metodologia BIM obrigar a uma reformulação interna de organização da informação na infraestrutura (*Fileserver*). Esse trabalho desenvolveu-se baseado numa metodologia que permita trabalho colaborativo.

Destaque ainda para a relevância da implementação BIM como catalisador de possíveis melhorias anteriormente identificadas no sistema de qualidade da empresa, ainda que sem ligação direta à própria metodologia. Nesta categoria insere-se, por exemplo, a reorganização da distribuição de informação num servidor central. Dado que num projeto geral é comum existirem mais de 10 especialidades distintas, a organização da informação assume um papel preponderante na gestão dos processos. Uma das vantagens da adoção de tecnologias BIM é o poder reformular todo o processo produtivo produzindo alterações estruturais cujo investimento não agrupado com esta implementação não justificaria a sua realização.

8.2 Elaboração de procedimentos e manuais

Dada a dimensão da empresa e a extensão das alterações que a implementação produziria, foi necessário desenvolver um mecanismo que permitisse a divulgação dos conteúdos e procedimentos associados à implementação BIM.

A utilização da equipa de implementação para divulgar os procedimentos seria morosa e ineficiente. Optou-se pela criação de plataforma de partilha de conhecimento associada ao processo BIM.

Foi desenvolvido um aplicativo - “Repository” – que armazena artigos de conhecimento, bem como ficheiros e documentos de apoio que permitem a utilização por parte de qualquer colaborador de um conteúdo desenvolvido pela equipa de implementação.

A opção de criar um aplicativo próprio permitiu introduzir funcionalidades que os aplicativos de mercado não contêm. A título de exemplo os artigos carregados no “Repository” que contêm ficheiros anexos são importados diretamente para os programas sem necessidade de interfaces Exportação/Importação nativas. Esta facilidade é expansível à maioria dos *softwares* utilizados.

8.3 Gestão de objetos

Uma dificuldade recorrente na gestão diária de projetos BIM é a manutenção da qualidade dos objetos criados. Comportamentos nocivos como a cópia de outros projetos, alterações *ad libitum*, utilização sem conhecimento prévio do modo de parametrização e utilização direta de famílias de fabricantes dificultavam a concretização do projeto BIM, reduzindo a qualidade do produto final.

Para evitar este tipo de problemática criou-se um procedimento de criação de famílias, apoiado por um aplicativo derivado do “Repository” (*Knowledge Base*), que permite gerir e atualizar qualquer elemento. Cada um dos objetos é acompanhado por um manual que relata o seu propósito e descreve o seu processo de criação e parametrização. Este aplicativo permite a introdução direta no modelo em curso a partir da sua interface.

Note-se que no seio da empresa o processo de criação de famílias é totalmente livre e encorajado, sendo a sua aprovação restrita à Equipa de Implementação.

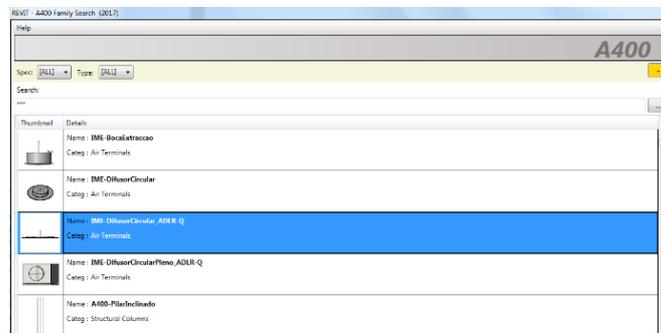


Figura 5: Aplicativo Gestão Famílias

Novamente pelas razões descritas no ponto anterior a falta no mercado de um aplicativo associado à gestão de conteúdos produzidos tornou o investimento neste *software* bastante rentável.

8.4 Deliverables e comunicação intermédia

Dada a fase transitória em que a indústria AEC se encontra, surgiu a necessidade de garantir que os elementos a entregar (*deliverables*) poderiam ser utilizados e contemplados na metodologia anterior. Com efeito a maioria dos clientes e parceiros da A400 não possui *softwares* BIM e muitas vezes não reconhece valor acrescentado na sua utilização. De forma a não excluir esse mercado criaram-se procedimentos que minimizassem as dificuldades de exportação de BIM para CAD 2D.

De uma forma geral as peças de projeto são entregues em formatos editáveis e não editáveis. Na metodologia anterior as entregas consistiam em ficheiros “DWG”, “DOC”, “XLS” e “PDF”, aos quais se adicionaram com a implementação BIM as extensões “RVT” e “IFC”.

A opção pela divulgação dos modelos em base editável pretende mobilizar os parceiros da A400 a aderir a esta tecnologia, sendo que na preparação de modelo em Revit procura-se fomentar a utilização dos objetos criados pela A400 e ao mesmo tempo familiarizar os parceiros com os processos de modelação internos.

Contudo, grande parte dos elementos processados por parceiros e clientes são ainda os ficheiros DWG. Com a implementação da tecnologia BIM procurou-se manter em larga medida os elementos produzidos anteriormente, sendo estes exportados diretamente do modelo Revit. Para o efeito criou-se um aplicativo que permite a exportação para Autocad a partir do Revit.

A incorporação deste aplicativo obrigou à criação de perfis de exportação próprios a cada departamento. Dada a facilidade da sua utilização e as melhorias *versus* a ferramenta de exportação base do Revit houve uma aceitação generalizada deste aplicativo. Esta opção permite ainda uma difusão automática de alterações aos perfis de exportação, garantindo que a aparência dos desenhos em Autocad é idêntica independentemente do colaborador que os preparou.

Embora este esforço pela garantia da compatibilidade entre processos produtivos seja útil apenas no futuro próximo, considerou-se que o incremento de investimento desta opção seria justificado pela duração do processo de massificação das tecnologias BIM. Dado que com os recursos designados não era possível implementar o processo em todos os departamentos em simultâneo, seria em todo o caso necessário haver procedimentos e ferramentas que permitissem ambos os processos produtivos coexistir.

8.5 Investimento e expectativa de retorno

Os custos seguintes indicam o investimento feito desde o início de 2014.

Tabela 1: Quadro Resumo Investimento.

Mapa de investimento	
Licenças de <i>software</i>	Unidades
Building Design Suite Premium	14
Revit LT	15
Tekla Structures	2
Total Rubrica	197 512 €
Formações	Custo
Custo de formações	6 400 €
Custos produtivos	38 400 €
Total Rubrica	44 800 €
Recursos internos	Custo
Fase 1 - Formação de equipa e primeiros contactos com tecnologia BIM	20 993 €
Fase 2 - Preparação de conteúdos base	28 101 €
Fase 3 - Projetos teste	21 322 €
Fase 4 - Divulgação e massificação	39 688 €
Custo de produção de aplicativos	88 988 €
Total Rubrica	199 092 €
Total	441 403 €

Algumas das licenças de Revit foram adquiridas anteriormente, no entanto a sua utilização em pleno iniciou-se com este processo. As licenças de Tekla Structures também foram adquiridas anteriormente e já eram utilizadas antes do processo de implementação do BIM.

Os custos apresentados para formação incluem não só os valores contratados externamente, mas também os custos de paragem de produção durante as horas de formação. Como se pode constatar este custo é consideravelmente superior ao custo do formador.

A utilização de recursos internos reflete os custos da equipa de desenvolvimento durante as fases decorridas.

As projeções de retorno para este investimento basearam-se na redução dos rácios de horas em projetos. As seguintes notas mostram as projeções por especialidade:

- No departamento de Coordenação os custos de projeto ascendiam a 10-20% do valor total. Com a introdução da tecnologia BIM estimou-se uma redução de 30% neste valor, concretamente ao nível dos técnicos de desenho dado o elevado número de horas necessário para efetuar sobreposições dos desenhos.
- No departamento de Estruturas otimizaram-se tempos de produção dos modelos de cálculo e de preparação de plantas estruturais, utilizando o modelo BIM para ambas as funções. Na prática a opção permitiu dispensar as horas de desenhador em fases iniciais e reduzir o tempo de preparação de modelos. Estimou-se uma redução de 30% do tempo necessário para estas tarefas, o que representa uma redução de 9% no custo total de estruturas.

- No departamento de Instalações Hidráulicas prevê-se uma redução de cerca de 10% devido principalmente à redução de horas de técnico de desenho nas fases iniciais e através da redução de tempo necessário para representar traçados bifilares e facilidade em preparação de medições utilizando as metodologias BIM.
- No departamento de Instalações Elétricas não se perspetivam reduções significativas enquanto os melhoramentos futuros descritos no capítulo seguinte não forem implementados.
- No departamento de Instalações Mecânicas almeja-se uma redução global de 15% dada a facilidade de detetar atravancamentos e na leitura da arquitetura e estruturas. Prevê-se anular os problemas de incompatibilidades que prejudicavam as fases finais dos projetos e obrigavam na maioria dos casos a desperdícios importantes.

Apesar de serem esperados retornos a longo prazo, foi evidente que os primeiros projetos produzidos através de tecnologia e metodologia BIM tiveram um sobrecusto. Os resultados mostraram um aumento superior a 50%. Dado o lote de projetos ser reduzido em número, não é possível retirar significado dos resultados. Destaque-se que o desempenho dos departamentos nestes projetos iniciais foi heterogéneo, dada a variabilidade dos perfis dos recursos humanos.

9. Desenvolvimentos Futuros

A implementação efetuada permite o desenvolvimento massificado de projetos em tecnologia BIM. No entanto, existem áreas de projeto onde a possibilidade de otimização do processo de cálculo, desenho e comunicação é evidente.

Com o desenvolvimento de novos aplicativos a A400 procurará utilizar os modelos em Revit como plataforma de cálculo e simulação. Os seguintes pontos resumem os principais aplicativos:

- RVT.Circuits – A A400 está neste momento a adaptar de Autocad para Revit um software que a partir da posição dos equipamentos com consumo energético e do traçado dos caminhos de cabo, permite o dimensionamento. O software adquire a posição e as características dos equipamentos, tomadas, quadros, geradores e outros elementos ligados à rede elétrica e efetua os cálculos de dimensionamento da cablagem necessária.
- RVT.Pipes – Este aplicativo funcionará de forma análoga ao Circuits, atuando sobre as redes hidráulicas. Novamente o modelo de Revit será utilizado para recolher os dados dos equipamentos e seus consumos, sendo processados no aplicativo e posteriormente representados novamente no software BIM;
- RVT.EEE – Um outro aplicativo previsto incide sobre o processo de certificação energética de acordo com o REH e RECS em vigor em Portugal. Novamente os modelos Revit serão utilizados para efetuar as verificações e simulações necessárias pela regulamentação otimizando o tempo gasto nestas análises.

Apesar do custo necessário para produzir estas aplicações ser substancial, os retornos esperados garantem a viabilidade deste investimento em períodos relativamente curtos (3-5 anos).

10. Conclusões

À data deste artigo a empresa começa a retirar dividendos dos investimentos realizados, não sendo, no entanto, possível afirmar de forma perentória quais as reduções de alocação atualmente. Mantendo o nível de encomendas médio dos últimos 3 anos a empresa prevê amortizar o investimento no próximo triénio. Esta expectativa exclui os investimentos futuros descritos no capítulo anterior.

Será inegável que existem outras vantagens e benefícios de todo este processo, no entanto desde o início manteve-se o foco no retorno do investimento através do aumento da eficiência do processo produtivo. Convém, ainda assim, listar outros benefícios diretos ou indiretos que se obtiveram com esta implementação:

- Melhorias do processo produtivo, que de outra forma seriam infundados;
- A qualidade dos projetos aumentou substancialmente com a redução de erros por incompatibilidades. Este ganho traduz-se num aumento generalizado de encomendas;
- Preparação com a devida adequação tecnológica para uma mudança de paradigma no setor que se antevê inevitável;
- A modelação BIM agilizou a interação com aplicativos que facilitam os processos de dimensionamento e simulação que fazem parte de qualquer projeto de engenharia;
- A utilização de modelos BIM permitiu um novo patamar de interoperabilidade entre os *softwares* de cálculo e simulação já adquiridos. Deu-se uma redução dos erros associados a estas modelações dada a facilidade atingida no processamento de dados.

O processo e as perspetivas futuras mostram ainda algumas desvantagens que penalizam o desempenho da abordagem seguida pela empresa:

- Grande parte do investimento deve-se à falta de formação dos técnicos envolvidos. Com a difusão destas tecnologias as empresas que prologarem o processo não precisarão de investimentos tão avultados nesta rúbrica;
- O mercado ainda não produz conteúdos BIM de uma forma generalizada, para assim permitirem às empresas dispensar a produção própria de objetos. Grande parte da base de dados da A400 foi produzida internamente, com custos de investimento assinaláveis. Este problema tenderá a desaparecer com a massificação da utilização da tecnologia BIM, particularmente por parte dos fabricantes;
- Alguns dos aplicativos desenvolvidos foram elaborados por falta de soluções comerciais com as mesmas capacidades. Com a evolução dos *softwares* julga-se que estes programas cairão em desuso face a produtos mais generalizados e com maiores potencialidades.

Em suma as orientações e objetivos definidos inicialmente permitiram que hoje seja possível identificar os indícios de sucesso perspetivados. Sem dúvida que a via da rentabilidade do investimento é o melhor caminho para justificar os custos de implementação. Dada a crise que se faz sentir no sector não é expectável que o mercado reconheça os benefícios desta metodologia de forma imediata. Note-se ainda que as iniciativas governamentais nesta área têm sido diminutas e não se antevê uma mudança de política capaz de prosperar uma mudança mais radical. Caberá aos profissionais do setor, e mais particularmente às empresas de projeto, encontrar uma forma de rentabilizar o investimento orientando-se principalmente no seu mercado sem esperar contrapartidas de clientes ou de outros intervenientes no processo.

SOLUÇÕES PARA A COORDENAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E GESTÃO BIM - UMA PERSPETIVA GLOBAL

José Carlos Lino⁽¹⁾, Nuno Lacerda⁽¹⁾, Francisco Reis⁽¹⁾, Bruno Caires⁽¹⁾

(1) BIMMS – BIM Management Solutions, Porto

Resumo

O BIM aparece, hoje, como necessidade e obrigatoriedade, levando as pessoas e organizações a adaptarem-se cada vez mais rapidamente a esta nova realidade e à mudança que a mesma implica.

De uma situação de aplicações pontuais e erráticas, passou-se para uma generalização do conceito e para a sua globalização. Atualmente, uma grande percentagem dos atores na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) já sabem identificar os seus princípios básicos, as aplicações e os usos que mais lhes proveem.

Tal como muitas outras inovações tecnológicas, somos amiúde surpreendidos por uma miríade de casos, de aplicação local, isolados, mas que denotam que a disseminação e difusão do BIM, entre outros, veiculadas pelas comunicações web, têm sido muito eficazes. De qualquer modo, a muitos surge, porém, a necessidade de descodificar um novo léxico, de se apreenderem novas ferramentas e de se implementarem novos procedimentos. Enfim, de se aplicarem novas soluções aos velhos problemas da indústria da construção, suportada pelos profissionais de arquitetura e engenharia.

Procurando responder a essa necessidade, a BIMMS constituiu-se assim como uma associação de profissionais, multifacetados em aplicações específicas nas várias áreas de Arquitetura e Engenharia com o intuito de apoiar organizações e indivíduos na transição dos seus projetos e processos para BIM. Com esse espírito de serviço ao BIM aplicado, neste artigo, procuram-se ilustrar várias soluções que surgiram como respostas aos desafios colocados, pela natureza e localização dos diversos projetos, desde a coordenação e modelação, à implementação e à gestão, todos representando oportunidades concretas de inovação e evolução.

1. Introdução

A BIMMS - Management Solutions constituiu-se em 2014, com a missão de apoiar parceiros da indústria AECO a integrar o BIM nos seus processos, através da disponibilização das suas competências técnicas e profissionais, ao serviço dos projetos globais de arquitetura, engenharia e construção.

A consultoria em BIM é uma atividade ainda muito recente, carente de ser mais estudada do ponto de vista científico, pelo que ainda é difícil encontrar estudos específicos sobre este tema. Baseia-se, essencialmente, no conhecimento e experiência dos consultores, que perante uma nova abordagem aos tradicionais métodos de projetar, construir e operar, optam pelas soluções e implementações que lhes parecem mais eficientes e adequadas. Apesar de já muita teoria se poder encontrar sobre BIM e sobre os seus usos e aplicações, já não é tão fácil encontrar a sua aplicação prática, pelo que neste artigo, procurou-se partilhar a experiência adquirida nesta área.

Para tal, recolheram-se junto dos diversos consultores da BIMMS, os diversos usos e aplicações adotadas em vários casos práticos internacionais, apresentando alguns resultados e conclusões desta sua experiência.

A dificuldade em ultrapassar as condicionantes de confidencialidade inerentes aos projetos, muitos deles ainda em andamento, impediram a referência nominal dos mesmos, apesar de se apresentarem várias ilustrações e menções aos referidos trabalhos. Das múltiplas abordagens recolhidas, percebe-se uma lógica holística, que percorre todo o processo desde a modelação, coordenação, implementação, formação e até à inovação.

Com o relato dessas experiências de consultoria, pretende-se contribuir para a divulgação e o conhecimento nesta área da consultoria em BIM, principalmente em Portugal.

2. Mudança para BIM – Enquadramento

Atualmente, a indústria AECO encontra-se perante novos desafios de grande relevância, tais como, a crescente complexidade dos projetos a executar, a necessidade de praticar opções sustentáveis, as preocupações energéticas globais, a redução dos custos e a melhoria da produtividade, entre outros. Como forma de resposta à necessidade de melhoria dos processos atuais de trabalho em projeto, surgiu o conceito BIM, que essencialmente assenta numa metodologia de construção virtual que, entre muitas outras capacidades, permite a partilha de informação entre todos os intervenientes e fases do projeto. Num modelo BIM a informação encontra-se interligada por relações paramétricas o que significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização [1].

Com vista à implementação total do processo BIM, baseada em mapas de processos claramente identificados, detalhados e compreensivos a definir o fluxo de informação, a tecnologia permite vários melhoramentos em cada fase do ciclo de vida de uma construção [2]. O BIM proporciona, cada vez mais cedo, visualizações mais realistas, colaboração efetiva das múltiplas

disciplinas de projeto, extração de estimativas de custo, deteção de erros e omissões antes da construção, que melhoram a pré-construção e o projeto [1].

O BIM foi avaliado como benéfico para a construção, fabrico e pós-construção [3], principalmente devido ao uso do modelo de projeto como base para o Fabrico de Componentes [4], Sincronização de projeto e Planeamento da construção [5] e integração com Sistemas de Operação e Gestão de instalações. O BIM, entre muitos outros benefícios deu aos consultores MEP e construtores a oportunidade de levarem a cabo a requerida coordenação com um maior grau de precisão e colaboração [6, 7]. A implementação prática desta metodologia começa a ser evidente, tendo ainda que lidar com dificuldades, nomeadamente, as inerentes ao investimento e à curva de aprendizagem. Começa a sentir-se a necessidade de adquirir competências a nível profissional, quer nos cursos de arquitetura, engenharia civil e cursos especiais bem como no ambiente empresarial [8].

Esta transição para o BIM trouxe diversas alterações ao modo de fazer e de pensar as diversas disciplinas. A Arquitetura tem ao seu dispor auxiliares à conceção, à produção e à comunicação da sua proposta que antes não existiam. A Engenharia começa a integrar-se com processos de fabrico e automatização para otimizar as suas soluções. A construção adapta-se a novos modelos de negócio e de contratação, ao trabalho colaborativo e à integração de diversos sistemas de gestão. A operação e manutenção integram o conhecimento das fases anteriores visando um ciclo de vida mais sustentável.

Da recolha dos vários casos práticos em que a BIMMS tem participado desde o seu início de atividade, identificaram-se usos principais que integram este ciclo de vida, optando-se por os agrupar em Modelação, Coordenação, Implementação, Formação e Inovação, conforme se apresentam nos capítulos seguintes.

3. Modelação e Coordenação

A **modelação** trata-se do elemento base a partir do qual se pode iniciar a interação e integração da informação. Esse processo de Modelação, tal como a Construção, tem sido desenvolvido como um agrupamento de Peças, Materiais e Equipamentos, que concentra a atenção do Projetista na solução e não no desenho ou representação. Nos trabalhos analisados, a preocupação é que os elementos modelados tenham propriedades geométricas e não geométricas, constituindo estas propriedades no seu conjunto uma Base de Dados automática de informação inerente ao Projeto que possa ser usada por qualquer interveniente durante o ciclo de vida do Edifício/Instalação em qualquer fase desde o Projeto à Operação e Manutenção. Os principais modelos requeridos são os de arquitetura, de estruturas, de hidráulicas (abastecimento, drenagem, pluviais, rede de incêndio), de mecânicas e de elétricas (ver Figuras 1 e 2).



Figura 1: Modelo BIM de Estruturas.

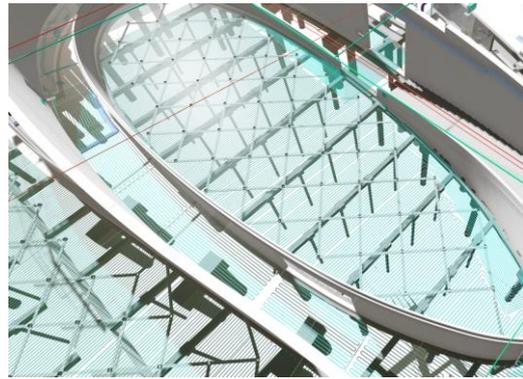


Figura 2: Detalhe do Modelo BIM de Estruturas e Arquitetura.

A criação e uso de **objetos paramétricos** tem sido uma condicionante quase permanente em todas as modelações efetuadas. Se já vão existindo algumas bibliotecas a disponibilizar estes componentes, principalmente quando se trata das principais marcas, muito está ainda por desenvolver, sendo necessário programar esses blocos de classes e famílias (ver Figura 3). Igualmente muito recorrente, encontra-se a solicitação de modelos que sejam desenvolvidos a partir do **levantamento do existente**, seja a partir de peças desenhadas, seja a partir de levantamentos topográficos ou por aquisição de nuvens de pontos. Nestes modelos de registo, admite-se normalmente um nível de informação menor, correspondente ao desconhecimento das características dos materiais e processos construtivos usados inicialmente.



Figura 3: Objetos BIM.

Inerente à produção do modelo o seu aproveitamento para **simulação** de formas, processos e análises bem como a respetiva comunicação.

Os desafios lançados à Arquitetura e Engenharia com a conceção e adoção de formas e ideias menos convencionais, tornam-se mais fáceis de superar através da sua **visualização**. Desde a fase de conceito à da execução, o alinhamento entre a equipa de projeto é reforçado com a

visualização tridimensional, O desenvolvimento desse processo é evolutivo, acrescentando valor a cada fase do projeto, através da simulação da realidade. A produção de *renders* e trabalhos de pós-produção arquitetónica, mais não visam que contribuir quer para a comunicação das ideias, quer para a simulação do ambiente a construir (ver Figura 4).



Figura 4: Imagem *renderizada* a partir de Modelo BIM.

Neste processo de simulação, um dos usos mais importantes e mais requeridos é a **extração de peças desenhadas** diretamente do modelo. A necessidade de criar peças desenhadas com uma linguagem visual perceptível e compatível com a normalização das empresas, obriga a um esforço de configuração e ajuste nos diversos softwares e plataformas, que não deverá ser negligenciado.

Igualmente a **extração de quantidades**, obriga a uma verificação cuidada da qualidade do modelo, de modo a não incorrer em erros. Em fases conceptuais, esta extração pode revelar-se muito útil, mas por vezes, tem insuficiente informação para atingir o objetivo pretendido.

O conceito BIM começa, realmente, a fazer sentido quando se inclui a componente colaborativa entre os diversos intervenientes, logo entre os diversos modelos, acarretando uma cuidada **coordenação** dos mesmos.

Esta coordenação tem diferentes níveis e graus de intervenção, no entanto, em casos mais avançados, começa logo por uma **gestão de informação**. O domínio dos dados, com a organização da criação, análise e controlo de documentos, é essencial para que a estrutura de informação seja gerível.

Em todos os casos analisados, sempre que existe mais que um modelo, a **deteção de conflitos e verificação de incompatibilidades** foi um uso requerido (ver Figuras 5 e 6). Aparentemente sendo algo simples, a sua aplicação prática, dados os milhares de conflitos que por vezes existem, bem como a necessidade de encontrar soluções concretas para cada um desses problemas, faz desta uma atividade de elevado grau de especialização e exigindo experiência.

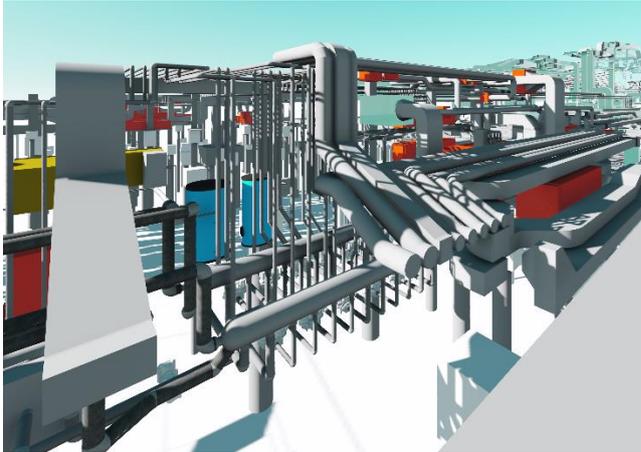


Figura 5: Modelo BIM das especialidades MEP.

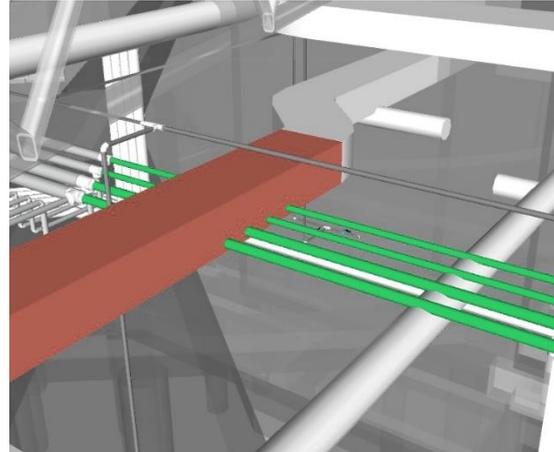


Figura 6: Análise de Conflitos entre especialidade com recurso a Software.

Outro aspeto muito comum em quase todos os casos analisados, em que a coordenação se torna mais eficaz, passa pela adoção de um **ambiente comum colaborativo**. A possibilidade de usar plataformas de partilha de ficheiros na *cloud* ou servidores locais em tempo real torna possível que durante a modelação, todas as especialidades estejam visíveis, detetando antecipadamente os possíveis problemas de organização, espaço ou conflitos.

Associada a esta questão da coordenação é muito frequente colocarem-se problemas de **interoperabilidade**. A existência de diferentes plataformas e softwares, bem como trocas de informação em diferentes formatos, leva à necessidade de controlar estes problemas, sempre com vista a obter um **modelo federado coordenado**. Para a **verificação e validação final da qualidade deste modelo** poderão ser usados softwares que quando programadas conseguem apoiar a verificação da solução preconizada quer para conflitos quer verificar a solução no âmbito de condições regulamentares, conforto ou até de construtibilidade. Nestas trocas de informações e protocolos, apareceram já duas vezes a necessidade de incorporar formatos de gestão de operações e manutenção, nomeadamente o **COBIE**.

4. Implementação e Formação

O processo de implementação e formação BIM é sempre muito mais dispendioso do que a aquisição da Tecnologia. Os processos tradicionais são os mesmos há muitos anos, estão enraizados e muitas vezes otimizados ao máximo, no entanto limitados para os dias de hoje. Após o reconhecimento interno, o passo para a mudança é muitas vezes dificultado por anos e anos de conhecimento adquirido em processos mecanizados pelos utilizadores sendo esta a barreira mais difícil de ultrapassar. O apoio de uma empresa especializada na implementação torna-se fundamental não só para que a curva de motivação/aprendizagem da equipa não desça para níveis que coloquem em causa o sucesso da implementação assim como beneficiará de um apoio num conjunto necessário de conhecimentos técnicos e experiência de uma equipa especializada que orientará no melhor caminho, para que os processos fiquem rapidamente estabilizados. Dentro da BIMMS, as competências e perfis dos colaboradores afetos a estas

áreas de implementação e formação, diferem substancialmente das necessárias para modelação e coordenação. A obrigatoriedade do contacto pessoal com o cliente e a disponibilidade para apreender a cultura das organizações exige perfis de consultor com sólidos conhecimentos técnicos, mas com experiência e *soft-skills* de relacionamento bem desenvolvidos. O uso da metodologia BIM tem sido iniciado na fase de projeto, permitindo assim que durante a fase de construção exista uma transmissão do conhecimento adquirido nas fases passadas e uma evolução na Base de Dados contida no Modelo BIM.

Em algumas aplicações mais avançadas, o **apoio à contratação em BIM**, bem como a consequente **verificação da conformidade com Normas BIM** e o **BIM Execution Planning** assumem uma importância crucial. Sem estas ferramentas de controlo e fiscalização, o processo não é desenvolvido.

Uma das principais mais valias que a BIMMS tem proporcionado aos seus parceiros, tem sido um **apoio técnico in situ**, seja numa obra ou num gabinete. Desde logo na preparação da obra e verificação/adaptação do projeto às condicionantes próprias da empreitada, métodos de trabalho e planeamento. Durante este o modelo BIM serve de base de trabalho para a Construção permitindo a extração de Peças Desenhadas, elementos que terão de ser pré-fabricados, assim como preparação de cofragens e simulação da construção (ver Figuras 7 e 8). Todos os intervenientes trabalham sobre a mesma referência permitindo a facilidade no entendimento da solução preconizada e possíveis alternativas. A Construção Virtual potencia novos processos de trabalho como por exemplo a preparação dos trabalhos em visualizações 3D, a validação dos autos de medição pelo modelo ou mesmo as reuniões de trabalho/obra em que o Modelo é visualizado evitando assim deslocações e movimentos de pessoas ao local. A georreferenciação de todos os elementos permite uma monitorização constante do processo de construção podendo ser usadas ferramentas de *laser scanning* para o acompanhamento da fase de construção ou mesmo validação da construção a nível geométrico.

Os **pedidos de esclarecimento** apoiados nos modelos e plataformas BIM, são um dos usos mais requeridos quando a BIMMS presta apoio técnico in situ. A facilidade com que estas dúvidas são complementadas com ilustrações extraídas do modelo, vem trazer uma nova abordagem ao modo como as fiscalizações estavam habituadas a dar resposta a essas solicitações por parte dos construtores.

Igualmente importante, mas mais difícil de obter, são os **desenhos técnicos de preparação**, extraídos diretamente do modelo. A dificuldade em detalhar o modelo, tem correspondência direta com o grau de pormenor que se consegue obter desses desenhos (ver Figuras 9 a 12).

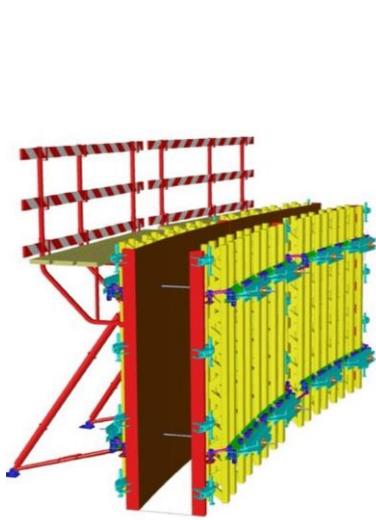


Figura 7: Modelo BIM da Cofragem e Simulação da Construção.

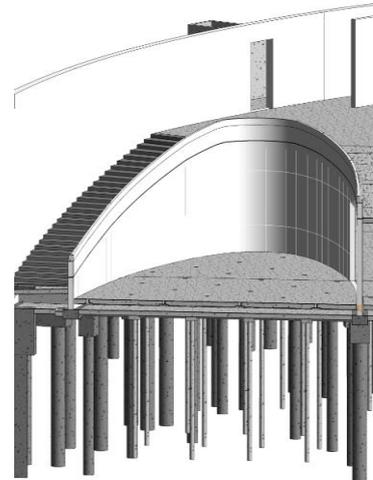
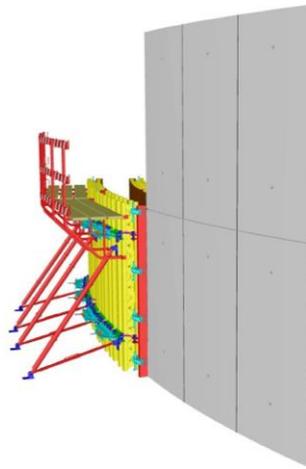


Figura 8: Detalhe 3D do Modelo BIM de Estruturas.

A **gestão da obra**, implica uma grande conviência com o BIM Manager, com vista a poder efetivamente controlar quer os tempos quer os custos inerentes à mesma.

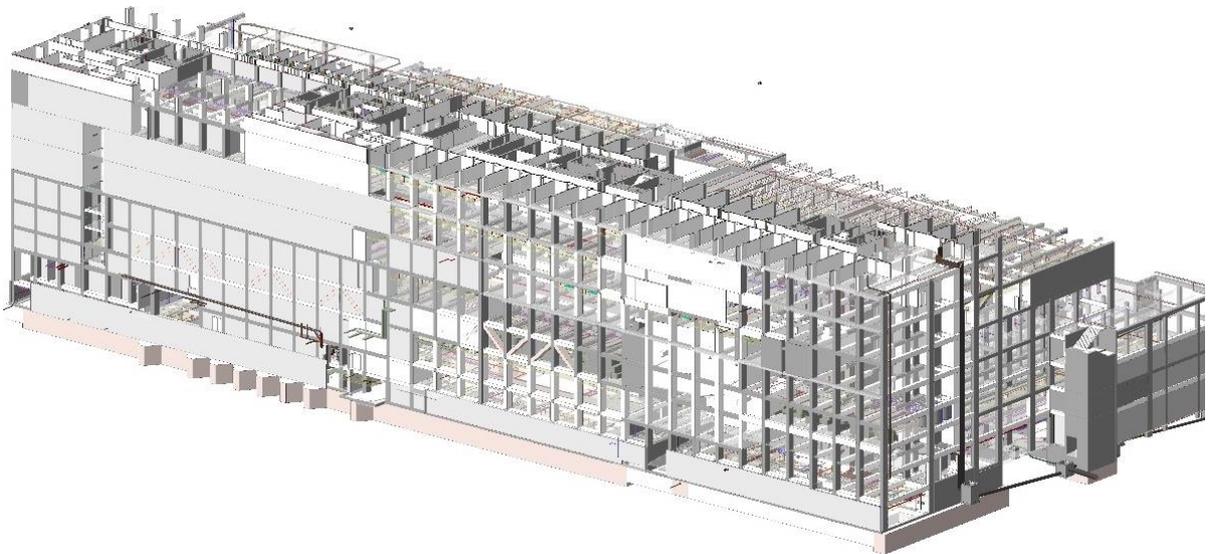


Figura 9: Modelo BIM de um Edifício com todas as Especialidades (Visualização adequada à análise durante uma Reunião de Obra).

No processo de **planeamento** o modelo **BIM 4D** é usado para representar graficamente, simultaneamente, elementos permanentes e temporários com a calendarização das atividades de construção (ver Figura 13). 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.

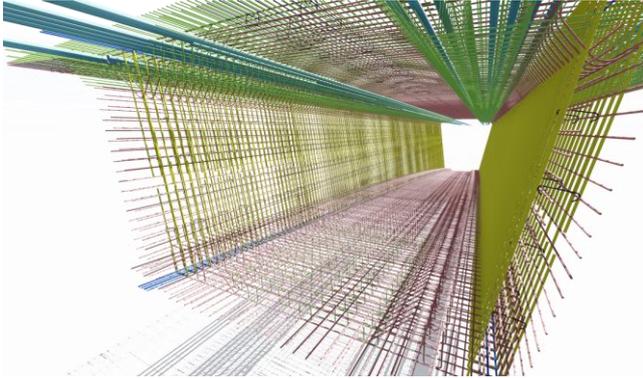


Figura 10: Modelo BIM das Estruturas de um tabuleiro de uma Ponte.



Figura 11: Modelo BIM - Auto Estrada.

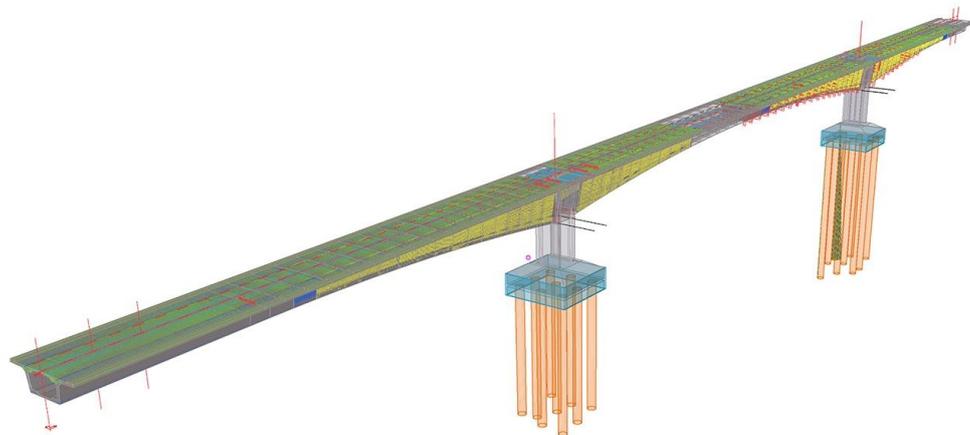


Figura 12: Modelo BIM de uma Ponte.

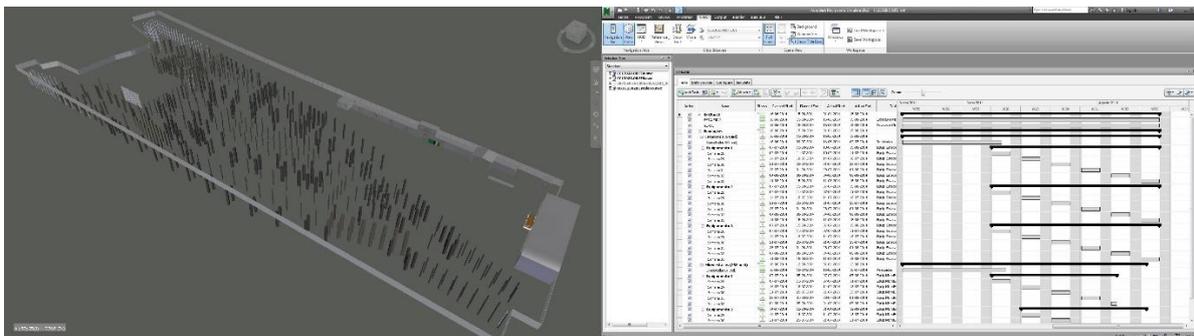


Figura 13: Modelo BIM 5D (análise e simulação do Planeamento Construtivo).

O modelo BIM 4D pode ser também usado para planear efetivamente as fases de construção, controlar os trabalhos executados diariamente monitorizando-os relativamente ao planeamento inicial, assim como gerir os espaços ocupados, caminhos de acesso e apoiando também implementação de planos de monitorização e prevenção de segurança e ambiente em obra. O usos de ferramentas de Gestão e Planeamento apoiadas em modelos BIM está a tonar-se um procedimento essencial nas empresas de Construção pois o seu uso potencia uma diminuição

de risco na empreitada assim como de uma forma fácil permite criar cenários de simulação do Planeamento da Construção.

A análise do Custo (**BIM 5D**) ou **controlo orçamental** pode ser usada desde a fase inicial até à conclusão da empreitada, servindo como elemento de gestão apoiada em quantidades retiradas diretamente do modelo. Associando custos ao planeamento consegue-se sem grande dificuldade retirar os cronogramas financeiros, gráficos de cash-flow, autos de medição e outros, elementos esses fundamentais para qualquer empresa de Construção.

Inerente a estes processos de implementação, têm-se desenvolvido ações de **Formação**, com vista a melhorar competências consoante os papéis e perfis de cada envolvido. Percebe-se dos diversos processos, que se caminha para sistemas de certificação de profissionais e de empresas, que serão condicionantes das participações nos concursos e obras.

Dos diversos tipos de formações que a BIMMS tem sido solicitada a coordenar, a **formação genérica para quadros-topo** de alinhamento e envolvimento na causa BIM, surge como a inicial e normalmente condicionante de todo o seguimento. Seguem-se formações e **sessões gerais e departamentais** de alinhamento de organização em BIM. Muitas vezes são requeridas sessões técnicas de **aquisição de competências em softwares e ferramentas BIM** básicas e avançadas. As formações práticas de verificação são normalmente in situ e servem de controlo e acompanhamento dos processos BIM. A BIMMS, face da sua experiência, tem sido também convidada a apresentar casos em cursos para organizações profissionais, e escolas do ensino superior.

5. Inovação

Por último, mas com forte repercussão na sua sustentabilidade, surge a inovação, em que qualquer consultor deve investir fortemente. Da passagem do seu conhecimento aos seus parceiros, deverá resultar o reconhecimento por parte destes de um constante processo de inovação e valorização do conhecimento dos seus especialistas. A BIMMS não só possui quadros especializados nas diversas áreas da indústria da Arquitetura, Indústria, Construção e Operação (AECO) como também na área da informática e programação. Com grande experiência no apoio ao Projeto, Construção e já muito desenvolvimento na área de Operação e Manutenção e com o sempre presente objetivo da inovação a empresa tem apostado em áreas específicas de desenvolvimento inovador, como a realidade aumentada a programação de Plugins para Softwares existentes de áreas específicas que colmatam as necessidades dos utilizadores, apoio a teses de mestrado e doutoramento assim como a participação em formações BIM a nível Nacional e Internacional e também com a participação em grupos de trabalho nacionais e europeus de normalização BIM.

A aposta na inovação representa uma forte parcela dos custos operacionais da empresa traduzindo-se isso em confiança uma vez valia nos serviços oferecidos que são diferenciadores relativamente à oferta normal de mercado.



Figura 14: Simulação Virtual (Modelo BIM e Realidade Virtual).

6. Conclusões

Da apresentação deste quadro de usos e aplicações práticas em que a BIMMS tem participado, percebe-se o seu caráter holístico e integrador. A individualização tem sido preterida ao coletivo, e os clientes tendem a alterar os usos e a amplitude dos requisitos, de trabalho para trabalho.

O BIM é global. O conceito e a sua aplicação estão distribuídos, o que permite a uma consultora deslocalizada em relação aos habituais centros de decisão, também competir e integrar esses modos novos de realizar projeto, porventura até com maior eficiência.

A carência pelo conhecimento prático desta metodologia, com vista à sua aplicação profissional, leva os Arquitetos e Engenheiros a procurarem ofertas formativas e educacionais, quer nas instituições académicas, nos organismos profissionais, nas empresas especializadas e mesmo junto das “*software houses*”.

Referências

- [1] Eastman, C., et al., BIM Handbook, in A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors 2011.
- [2] Beauregard, M., S. Alsafouri, and S.K. Ayer, Development of a peer review-based activity to improve students BIM process mapping understanding. 2016: Orlando.
- [3] Azhar, S., M. Khalfan, and T. Maqsood, Building information modeling (BIM): now and beyond. Australasian Journal of Construction Economics and Building 2012.
- [4] Cao, D., et al., Identifying and contextualising the motivations for BIM implementation in construction projects: An empirical study in China 2016.
- [5] Chen Ke, et al., Bridging BIM and building: From a literature review to an integrated conceptual framework. Int. J. Proj. Manag., 2015.
- [6] Quigley, D.E., Achieving Spatial Coordination Through BIM. 2013, MCAA, NECA, and SMACNA.
- [7] Neil, J., How has Building Information Modelling changed the MEP Coordination process? . 2014: University of Salford, Manchester.
- [8] Lino, J.C., M. Azenha, and P. Lourenço, Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas, in Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012 FEUP. 2012.

DESENVOLVIMENTO DE INTERFACES DE REALIDADE VIRTUAL A PARTIR DE BIM E AVALIAÇÃO DA SUA APLICABILIDADE

Fábio Alexandre Matoseiro Dinis⁽¹⁾, João Pedro da Silva Poças Martins⁽¹⁾

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Resumo

Os programas comerciais associados à tecnologia BIM (Building Information Modeling), apesar da sua constante atualização, são por vezes rivalizados por outro tipo de soluções informáticas tecnologicamente menos evoluídas e com mais anos de mercado. O know-how e o processo de familiarização com o software BIM, o custo da atualização do equipamento das empresas e da formação ao nível do pessoal são dos principais obstáculos no percurso pela implementação desta tecnologia. O desenvolvimento de novos processos de interação entre Realidade Virtual (RV) e software BIM poderá desempenhar um papel relevante na relação entre máquina e utilizador.

Foi desenvolvida uma solução original que permite uma troca de dados bidirecional entre o software de modelação e a interface virtual. A solução explorada recorreu a equipamento de RV como o Oculus Rift DK2 (*Development Kit 2*) e o sensor de deteção de comandos gestuais Leap Motion.

Realizou-se também um teste de utilização através de um caso de estudo e preenchimento de um inquérito onde 30 participantes avaliaram o grau e adequabilidade/naturalidade de cada um dos comandos programados. Entre outras conclusões, destacou-se a avaliação da globalidade dos comandos com 126 (60%) de um total de 210 votos (30 participantes, 7 comandos), com a classificação máxima (Natural, não necessita de treino) dos 4 graus da escala fornecida.

1. Introdução

A utilização de BIM não se identifica como um fator transversal à indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção). A preferência por soluções informáticas como o CAD (*Computer Aided Design*), ou seja, que não exigem conhecimentos na área do BIM, é uma realidade para muitos intervenientes do setor. Seja pela aparente simplicidade do CAD na execução de

determinadas tarefas, seja pela falta de familiarização com os procedimentos BIM, a implementação desta metodologia junto das empresas enfrenta ainda algumas barreiras.

As soluções BIM requerem maior detalhe e quantidade de informação pelo que, necessitam de maior dispêndio de tempo para o desenvolvimento das várias fases do projeto. Neste ponto as soluções como o CAD podem ser preferíveis para utilizadores que ainda não fizeram a transição para o BIM, sendo que, muitas das vezes implicam menor detalhe ou mais tempo gasto na realização de tarefas que, de outra forma, seriam automáticas no caso de um modelo BIM. [1]

O *know-how* e o processo de familiarização com os programas informáticos comerciais dedicados ao BIM representam alguns dos principais obstáculos no percurso pela sua implementação. Não menos relevante, o desempenho das máquinas, responsáveis pelo processamento da informação, poderão determinar a morosidade de execução de tarefas, dependendo da dimensão do projeto BIM.

A atualização das empresas ao nível do pessoal e do equipamento informático acarreta custos muitas vezes incomportáveis com a capacidade financeira das mesmas. Neste sentido, a falta de capacidade monetária para comportar este ponto gera uma barreira para a generalização do BIM entre os intervenientes na indústria da construção. [2]

Neste trabalho propõe-se a avaliação do uso da realidade virtual (RV) como complemento à interação com software comercial BIM. Deste modo, será avaliada a sua viabilidade em operações como visualização, edição de modelos 3D, diminuição do tempo de familiarização do utilizador com a mecânica do trabalho, o potencial do seu uso como ferramenta facilitadora do diálogo entre os diferentes intervenientes num projeto, entre outros.

O desenvolvimento de uma interface capaz de mobilizar sinergias entre BIM e RV pretende dar resposta aos seguintes desafios:

- Falta de experiência e incentivo por parte do pessoal ativo nas empresas relativamente à transição para a implementação da metodologia BIM e sua operabilidade;
- Diminuição do tempo de adaptação e familiarização com uma nova ferramenta informática;
- Acessibilidade da tecnologia a novos públicos, desde utilizadores de nível profissional com vasta experiência em modelação, a estudantes, docentes, utilizadores de “um BIM mais teórico”, a trabalhadores da indústria da construção sem qualquer contato anterior com este tipo de tecnologia, etc.;
- Alternativa às restrições associadas à visualização limitada pelo confinamento de ecrãs 2D;
- Explorar novos métodos de trabalho entre máquina e o utilizador.

2. Aplicações da RV em Engenharia Civil, Arquitetura e na Indústria da Construção

Como tecnologia catalisadora de novos métodos de trabalho, a RV não se encontra circunscrita a um número limitado de aplicações. A oferta de sensores, *software* e capacidade dos

equipamentos atuais é suficiente para afirmar que a RV se poderia aplicar “a todo o tipo de objetivos”. Quer isto dizer que a RV não se encontra prescrita para determinado uso numa única área do conhecimento. De modo evidente, a razoabilidade dessa mesma aplicação terá que ser sempre avaliada. No entanto, recai sobre a imaginação o potencial que a RV poderá exercer sobre novas metodologias e renovação de processos de trabalho.

2.1 Ferramenta de Comunicação

Na comunicação de ideias e melhoria da perceção espacial, a RV poderá assumir um papel determinante, atuando como mediador na transmissão de informação entre diferentes intervenientes do processo construtivo, eliminando dúvidas ou dificuldades. Esta tecnologia poderá auxiliar os projetistas em processos de decisão em fases muito iniciais do projeto.

Rendering, consiste no processo de produção de uma imagem a partir de dados armazenados num computador e é atualmente uma ferramenta de comunicação visual de utilização comum. Um *render*, termo correspondente à imagem processada, poderá induzir o observador em erros por se encontrar confinado ao espaço bidimensional de um ecrã ou projeção. De facto, a interpretação de uma imagem plana, imprimida ou projetada, é sempre recriada pela capacidade de quem a está a visualizar e a interpretar a 3D. Ainda que simulada a terceira dimensão do espaço (imagem plana, recorrendo à perspetiva ou ao 3D), a imersão espacial é inexistente, comprometendo a perceção do espaço [3].

Recorrendo à RV através de HMD's (*Head Mounted Display*) conectados a um *software* de modelação, é possível imergir o observador no projeto modelado. Desta forma, a perceção da informação assemelha-se ao que aconteceria no local de construção. O ponto de vista passa de um observador “externo” à cena (caso do equipamento de “visualização plana” como ecrãs, projetores, etc.), para um participante do próprio modelo. Neste sentido, determinadas questões que só se levantariam em obra surgem a montante, onde as alterações acarretam menores custos.

2.2 Investigação e Ensino

A RV aplicada ao ensino, na área da Engenharia Civil e Arquitetura, por exemplo, poderá atuar como complemento, influenciando positivamente a apreensão de conhecimentos a partir da imersão e interatividade proporcionadas por este tipo de tecnologia.

Um modelo tridimensional imersivo poderá desempenhar um papel relevante na evolução da perceção visual dos espaços e/ou elementos, existentes ou não. A sensação de imersão num ambiente virtual distingue-se claramente da realidade transmitida por um ecrã ou vários em associação. A apresentação de conteúdos que outrora seriam de difícil interpretação em formato 2D poderão ganhar, no que concerne a inteligibilidade, se apresentados recorrendo a tecnologia de RV.

Exemplos com alguma complexidade visual e apresentação contida numa só imagem são raros e difíceis de concretizar. Na generalidade dos casos são precisos conjuntos de plantas, cortes e pormenores construtivos para possibilitar a plena compreensão de alguns elementos construtivos. Uma visualização mais interativa e representativa dos elementos, da sua configuração no real, poderá auxiliar o processo de compreensão da escala e características dos mesmos.

O modelo virtual poderá ser útil não só em lições presenciais, mas também para aprendizagem à distância. Deste modo, a RV proporciona novas alternativas para um ensino técnico, de uma forma impraticável recorrendo a metodologias tradicionais [4].

Importa salientar a componente motivacional associada à interação com uma tecnologia dinâmica como a RV. A integração desta tecnologia em ambiente letivo contará certamente com o fator motivacional por parte da audiência, o que poderá influenciar positivamente a eficácia da transmissão da informação.

A introdução de RV nas instituições de ensino possibilita aos estudantes considerar este tipo de tecnologia na sua vida profissional.

3. Criação de uma plataforma de interação

No desenvolvimento da interface foi utilizado o motor de jogo Unity (versão 5.3.4f1). Este motor de jogo surge como intermediário para que os modelos BIM, importados para este em formato próprio, possam ser manuseados em ambiente virtual.

Dada a forma expedita com que o Unity interage com equipamentos de RV é possível, através de pequenos passos, conectar o modo de visualização da cena a um HMD.

Neste programa é criado um cenário destinado à produção de um ambiente de jogo. Dentro do cenário disponibilizado podem ser importados vários objetos vindos do *software* BIM desde que respeitem determinados tipos de formato de ficheiro como o FBX (*Filmbox*) e o OBJ (*Object file*). Estes formatos de ficheiro asseguram a interoperabilidade, permitindo que a geometria dos objetos “a transportar” seja preservada. Fatores como texturas e cores não são comportadas neste tipo de formato e caso sejam relevantes para um determinado projeto devem ser adicionadas recorrendo a programas dedicados como 3ds Max, Autodesk Maya ou através de aplicações como o Universal Material Converter.

Para além do HMD Oculus Rift DK2 foi ainda utilizado um sensor de leitura de movimentos gestuais. O Leap Motion deteta os movimentos das mãos do utilizador através de duas câmaras e três LEDs de infravermelhos até uma distância de 80 cm, afastamento limitado pela propagação da luz LED no espaço. O aparelho recebe a informação captada pelos sensores sendo esta enviada via USB para o Leap Motion *tracking software*.



Figura 1: Utilização do sensor Leap Motion na manipulação de objetos BIM no ambiente virtual.

Para alcançar uma interação distinta daquela que é tradicionalmente feita através de um computador, a relação obtida entre estas duas peças de *hardware*, Oculus Rift e Leap Motion, foi testada e consecutivamente sujeita a ajustes. O objetivo seria criar, ou reutilizar comandos para que, de forma natural, permitissem manusear a geometria de objetos de um projeto.

Como representado na Figura 1, basta ao utilizador erguer as mãos até que estas estejam no seu campo de visão para que possam surgir no cenário virtual e interagir com o projeto a decorrer. A interação poderá ser feita adicionalmente recorrendo a um *joystick*, nomeadamente para operações de movimento do observador e rotação, cópia e translação de objetos.

4. Elaboração de um *plugin* para o Autodesk Revit 2016

Foi desenvolvido um *plugin*, usando a linguagem de programação C#, para estabelecer a comunicação entre o modelo BIM no Autodesk Revit 2016 e os correspondentes objetos no ambiente virtual criado através do Unity. Todas as operações reconhecidas pelo *plugin* e reproduzidas no Revit correspondem a gravações feitas em linhas de um ficheiro de texto, enviadas pelo Unity em tempo real a partir de um *script*.

Os comandos de translação e rotação recorreram à API (*Application Programming Interface*) do Revit na sua programação. Assim, o comando translação estabelece que caso seja lida no ficheiro de texto uma operação de translação associada a um objeto, esta será representada no Revit através do vetor deslocamento entre a posição original e a final do objeto em causa.

O comando rotação é executado sempre que se introduzam alterações na orientação de um objeto no espaço virtual. A nova orientação é registada no ficheiro de texto e atualizada imediatamente no modelo do Revit. A identificação de cada objeto no espaço virtual e no ambiente de modelação requer que os respetivos IDs sejam mapeados devidamente. O ficheiro FBX permite incluir os IDs de cada objeto na respetiva designação que é visível no Unity pelo que, para objetos definidos no Revit esse mapeamento é efetuado corretamente. Já para os novos

objetos criados no ambiente virtual foi necessário desenvolver um expediente para garantir a sua correta identificação no software de modelação. Assim, ao reproduzir o comando cópia no ambiente virtual, um objeto com ID original igual a [4000] é registado como [-4000] no ficheiro de texto. De imediato o Revit irá criar uma cópia deste objeto, sendo reconhecido (*plugin*) que o ID [-4000] será interpretado pelo Revit como um novo ID de valor igual a [-1]. Desta forma, o resultado visível no Revit é uma cópia de um objeto já existente cujo ID corresponde a [-1]. Foi programado um contador para que caso se fizesse uma nova cópia, o ID da mesma seria [-2] e assim sucessivamente de forma cumulativa por cada nova cópia de um objeto já existente.

Recorreu-se ainda à função *Idling* da API do Revit que permite que o código do *plugin* seja executado praticamente de forma contínua, desde que nenhum outro comando do Revit esteja a ser invocado [5]. Desta forma, caso sejam escritas novas linhas no ficheiro de texto, ou seja, operações de cópia, translação ou rotação no Unity, irá ocorrer uma resposta no Revit. Da perspetiva do utilizador o projeto será atualizado, comunicando entre os dois programas, Unity e Revit, de um modo próximo a uma comunicação em tempo real, embora ambos processem modelos separados.

5. Caso de estudo

5.1 Descrição

Com o objetivo de obter uma resposta do utilizador final realizou-se uma prova de conceito transposta no formato de caso de estudo. Assim, e embora se reconheça que a dimensão da amostra não permita obter resultados estatisticamente significativos para a população alvo, depreenderam-se cuidadosamente algumas conclusões acerca da recetividade dos inquiridos face à interação proporcionada pelos comandos desenvolvidos.

A importação do modelo integral seria incompatível com o intuito deste estudo pelo que, a cada participante no caso de estudo apresentou-se um modelo BIM do edifício O, cafeteria da FEUP (Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto). Por forma a realçar a componente sequencial do teste o modelo encontrou-se dividido em dois espaços (Figura 2). Nestes decorreram os testes para avaliação do grau de interação/adequabilidade dos comandos programados.

O modelo foi importado para o motor de jogo Unity a partir do Autodesk Revit 2016, via FBX.

A fase prática do teste inicia-se na zona 1 (Figura 2, à esquerda) cuja intenção consiste na familiarização do utilizador com o ambiente em RV. Nesta zona decorram testes em dois momentos. Primeiramente o domínio de dois comandos básicos de interação: comando de movimento e comando de seleção, ambos com auxílio do *joystick*. O domínio do movimento pela cena e a capacidade de selecionar individualmente um objeto, representam duas funções fundamentais para a primeira experiência com a interface. O comando de movimento é ativado através do deslocamento do botão analógico esquerdo (Figura 3). O utilizador movimenta-se pelo cenário mudando de direção mediante a orientação da cabeça. O comando de seleção é ativado ao premir o botão A, e desativado caso o botão B seja pressionado (Figura 3). Um objeto

ao ser selecionado no ambiente virtual terá a sua cor original modificada para amarelo (decretada por código RGB) auxiliando o utilizador na identificação.

Num segundo momento decorreu o teste dos comandos de translação, rotação e cópia dos perfis H indicados na Figura 2 à esquerda. A translação destes objetos pode ser executada por dois processos. O primeiro consiste em selecionar um objeto e através do botão analógico esquerdo (Figura 3) arrastá-lo até à posição desejada. Como alternativa é possível selecionar um objeto pretendido e executar um *pinch*. O Leap Motion, caso se coloque uma das mãos em frente do sensor, unindo o polegar ao indicador, deteta a execução do comando gestual *pinch*. De seguida, basta mobilizar a mão numa direção e o objeto selecionado acompanhará o movimento de translação.

O comando de rotação, semelhante ao de movimento, poderá ser ativado por dois meios. Ambos requerem que um objeto seja selecionado através do botão do *joystick* que executa o comando de seleção. Após a escolha do objeto a manusear, o utilizador poderá optar por uma das teclas destinadas ao comando de rotação através do *joystick* (Figura 3) gerando uma rotação do objeto selecionado segundo o seu próprio eixo vertical.

Um segundo processo para ativar o comando de rotação é executado através do sensor Leap Motion. Estabelecendo gestualmente dois *pinchs*, o Unity deteta o ponto médio entre a posição das duas mãos. Em rigor, esta posição é calculada como o ponto médio entre a união de um polegar com um indicador de uma mão (*pinch* da mão esquerda, por exemplo) e o seu correspondente na mão direita (*pinch* detetado com a mão direita). O objeto selecionado irá rodar, para esquerda ou direita, atendendo ao deslocamento de uma mão em relação à outra.

Para copiar um elemento previamente selecionado, será necessário recorrer ao comando cópia. Esta funcionalidade permite que o utilizador crie um número ilimitado de cópias de um objeto. O comando é ativado através do botão X do *joystick*, ou seja, um objeto é selecionado e poderá produzir-se uma cópia do mesmo pressionando o botão X.

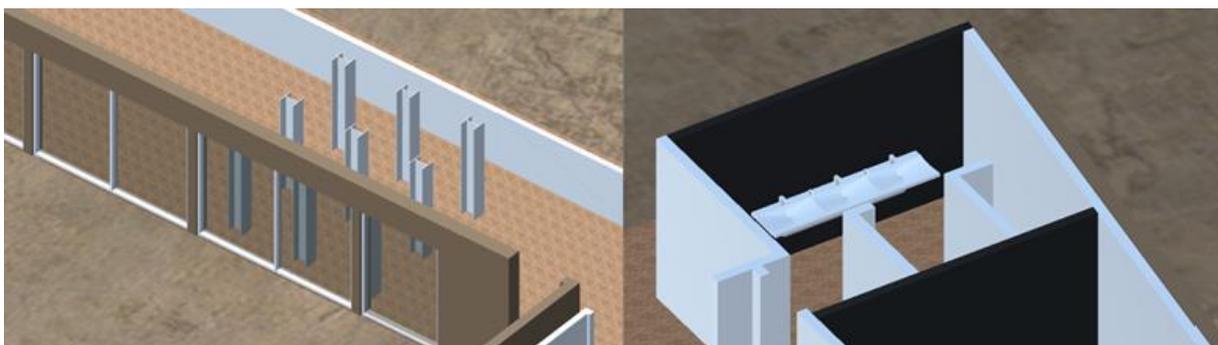


Figura 2: Cenário correspondente à zona 1 (esquerda) e zona 2 (direita).

A zona 2 (Figura 2 à direita) foi concebida tendo como finalidade um teste integral da interface e das suas funcionalidades. O utilizador tendo à sua disposição todos os comandos programados teria que executar cada um dos tópicos indicados:

1. Criar uma cópia do lavatório existente;

- Alterar a posição da cópia, colocando-a sobre uma nova parede, para além da que suporta o lavatório original.



Figura 3: Comandos associados a cada botão do *joystick*. [6]

5.2 Aplicação da interface desenvolvida à Engenharia de Instalações- Revit MEP

A interface de RV poderá ser utilizada em conjugação com variados tipos de *software*. A sua arquitetura é flexível, podendo ser ajustada para interagir adequadamente com a API específica de cada programa BIM.

No trabalho desenvolvido optou-se por explorar o *software* Revit 2016 da Autodesk. Representa um dos programas BIM mais utilizados a nível mundial e disponibiliza uma licença de estudante gratuita. O Revit é também a ferramenta BIM mais utilizada para a produção de desenhos segundo o National BIM Report de 2016 no setor da construção do Reino Unido, seguindo o ArchiCAD e o Vectorworks [7].

Um aspeto relevante do MEP (*Mechanical, Electrical and Plumbing*) reside na particularidade de os objetos poderem estar ligados entre si, seja por tubagens, peças específicas de ligação como “tês”, “cotovelos”, etc. Essas ligações surgem quando dois elementos se fixam entre si ativando uma conexão. Esta dependência gera um movimento conjunto entre os objetos conectados. A agregação entre os elementos permite ao mover um só objeto, fazer com que todos os outros ligados ao primeiro se movimentem em conjunto. Na Figura 4 pode-se constatar o símbolo , referente ao ponto de conexão entre dois objetos. Importa referir que para além do movimento em simultâneo, as tubagens poderão modificar o seu comprimento adequando-se à nova localização do objeto a que se encontram conectadas.

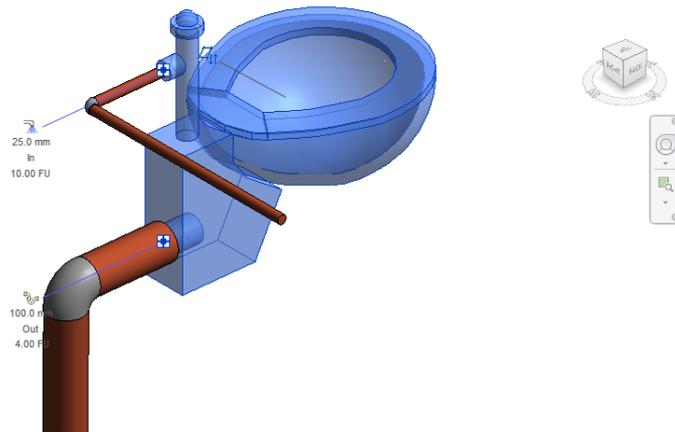


Figura 4: Pormenor da conexão entre bacia de retrete e tubagem.

5.3 Análise de resultados

Depois de realizarem as operações descritas no ponto 5.1, os participantes preencheram um questionário com o intuito de avaliarem a usabilidade do *hardware* e das ferramentas informáticas desenvolvidas.

Dos equipamentos de RV utilizados, o comando Rotação (*joystick*) obteve a maioria das preferências dos participantes do caso de estudo, seguindo o comando Translação ativado a partir do sensor Leap Motion. O comando classificado com menor grau de naturalidade/adequabilidade foi o de Translação de objetos através do *joystick* (consultar Figura 5).

Como nota final, pode salientar-se o fato de a grande maioria das classificações se ter feito através das opções “Requer pouco treino” e “Natural, não necessita de treino”. A globalidade dos comandos do caso de estudo foi classificada com 126 (60%) de um total de 210 votos (30 participantes, 7 comandos), com a classificação máxima dos 4 graus da escala (Figura 6).

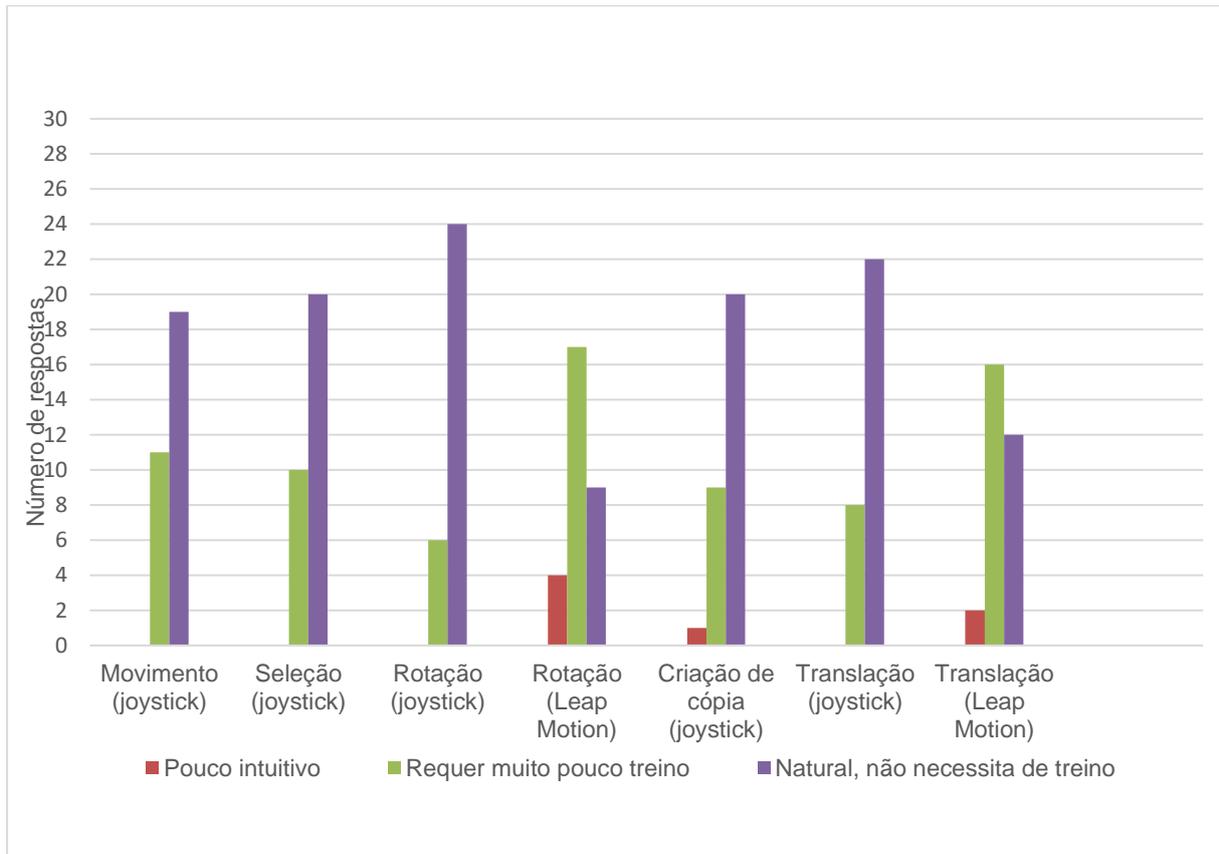


Figura 5: Classificação geral da adequabilidade/naturalidade de cada um dos comandos desenvolvidos para RV.

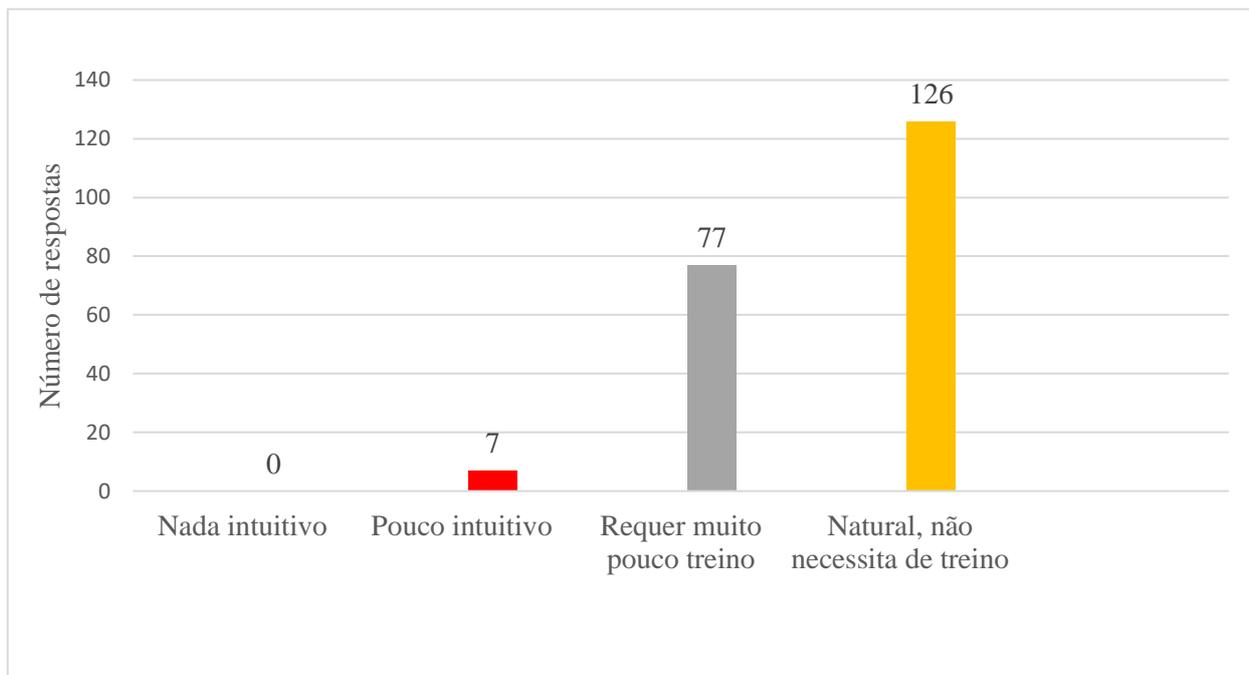


Figura 6: Classificação acumulada da interface produzida em RV.

6. Conclusão

Através do recurso a *hardware* de realidade virtual (Oculus Rift e sensor Leap Motion) foi possível observar que utilizadores de diferentes ramos do conhecimento e de diferentes idades conseguiram operar com *software* BIM sem consciência de que o estavam a realizar. Dado as alterações no modelo em Unity reproduzirem-se automaticamente no projeto em Revit, é possível sem conhecimento prévio de trabalho com esta ferramenta BIM, executar modificações simples em projetos. A interface não detém o rigor geométrico da ferramenta Autodesk Revit, nem faria sentido dentro dos objetivos do presente trabalho. O rigor do projeto é conferido através de *software* dedicado como o Revit, ArchiCAD, AECOsim, Vectorworks, entre outros. Um dos principais objetivos alcançados passou pela evidência de uma modificação no projeto exercida através de RV e visualizada paralelamente num programa BIM.

Importa referir que durante o caso de estudo apresentado detetou-se entre os 30 participantes um caso de náusea e enjoo provocado pelo chamado *motion sickness*. Pausas regulares, a habituação à tecnologia e a qualidade do computador onde a interface de RV está a ser utilizada exercem influência sobre esta reação.

Em suma, o mercado para a RV está em expansão e a Engenharia Civil poderá usufruir de muitas das vantagens deste tipo de tecnologia. Este trabalho poderá contribuir para o desenvolvimento de interfaces mais complexas onde o leque de possibilidades será uma tarefa difícil de antever.

Referências

- [1] Ireland, B. "Growing Pains Despite an increase in the software's adoption, the electrical industry is still experiencing barriers with BIM". EC&M Electrical Construction & Maintenance. <http://www.ecmweb.com/design/growing-pains>. (Março 2016).
- [2] Clemente, J., Cachadinha N., "Building Information Modeling como ferramenta de visualização de realidade aumentada em obras de reabilitação – Um Caso de Estudo" (2012), Congresso Construção 2012, 4º Congresso Nacional, Coimbra 2012.
- [3] Hampton, V., Rubenstone, J., Sawyer, T. "How Video Games Became Design and Construction Tools A new generation is hacking into its childhood toys—and driving better project decisions". ENR Engineering News-Record <http://www.enr.com/articles/38932-how-video-games-became-design-and-construction-tools>. (Março 2016).
- [4] Sampaio, Alcínia Z., Ferreira, Miguel M., Rosário, Daniel P., Martins, Octávio P, "3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance", Automation in Construction, vol. 19, pp. 819 - 828, Novembro 2010. doi.: 10.1016/j.autcon.2010.05.006.
- [5] Tammik, J. "Idling Event". The Building Coder Blogging about the Revit API. <http://thebuildingcoder.typepad.com/blog/2010/04/idling-event.html>. (Junho 2016).
- [6] http://ecx.images-amazon.com/images/I/91RsGVBf1IL._SL1500_.jpg (Junho 2016).
- [7] National BIM Library. "The National BIM Report is the most comprehensive analysis of the state of BIM within the UK construction sector", National BIM Report 2016. <https://www.thenbs.com/knowledge/national-bim-report-2016>. (Junho 2016).

IMPLEMENTAÇÃO DO CONCEITO BIM NA COBA

Pedro Serra ⁽¹⁾, Carlos Canelhas ⁽¹⁾, António Raposo ⁽¹⁾, José Cidades ⁽¹⁾

(1) COBA Consultores de Engenharia e Ambiente S.A., Lisboa

Resumo

O grupo COBA, pelos vários campos de atividade e o elevado número de valências que agrega, apresenta um interesse particular relativamente às metodologias BIM, sobretudo no que respeita à gestão centralizada da informação do projeto. O presente artigo pretende apresentar os trabalhos práticos de implementação BIM desenvolvidos até ao momento.

Inicialmente foi recolhida e analisada informação sobre BIM, de forma a identificar as mais-valias desta metodologia, definindo-se de seguida um conjunto de objetivos a alcançar através de uma estratégia de implementação gradual na empresa.

No primeiro projeto piloto foi desenvolvido o modelo estrutural de uma ETA, o que permitiu formar uma equipa na utilização do *software* e estabelecer processos de extração da informação do modelo. De seguida foram desenvolvidas a arquitetura e as estruturas de um edifício, tendo sido criados vários objetos paramétricos e explorada a interoperabilidade entre os formatos DGN e DWG. No último projeto piloto foi modelada uma central hidroelétrica, recorrendo a modeladores em localização remota, na qual foram incluídas especialidades adicionais. Este projeto serviu para aproximar os projetistas do modelo BIM, o qual foi já utilizado na visualização e no apoio à tomada de decisão.

Espera-se num futuro próximo continuar o desenvolvimento das restantes especialidades, aproximando os projetistas do modelo BIM através da utilização de plataformas de visualização, formação interna e da introdução da modelação na fase de conceção das obras.

1. Introdução

O *Building Information Modeling* (BIM) é um processo de gestão da informação inerente às diferentes fases do ciclo de vida da construção, suportado por um ambiente tecnológico comum, o modelo 3D paramétrico. São já conhecidos os desenvolvimentos BIM a nível internacional,

área em que o Reino Unido se encontra claramente destacado, com um *roadmap* BIM imposto pelo governo e com um plano de longo prazo que impõe a utilização BIM na indústria da construção. É convicção da COBA que, em breve, esta imposição legal irá ser alargada a outros países e que as exigências dos donos de obra irão evoluir no sentido de aumentar o rigor nos processos de partilha de informação digital e de gestão do ciclo de vida dos empreendimentos. Foi esta expectativa que levou à introdução do conceito BIM na COBA, tendo sido identificada a necessidade de criar conhecimentos sobre o tema que contribuíssem para incrementar a competitividade da empresa.

Apesar dos fatores identificados, é necessário ter em conta que, nos mercados onde a empresa atua, o BIM não se apresenta como uma necessidade imediata. No entanto, o contacto com a tecnologia BIM permitiu reconhecer algumas vantagens que esta metodologia pode trazer, nomeadamente: o aumento do nível de conformidade entre documentos que têm como origem o modelo BIM, a deteção de problemas e incompatibilidades mais cedo durante o projeto, a coordenação entre especialidades através do modelo 3D e a comunicação com o cliente.

O reconhecimento destas vantagens levou ao desenvolvimento de esforços no sentido de implementar metodologias BIM na empresa que permitam sobretudo facilitar a coordenação entre as várias especialidades e gerir a informação digital produzida.

2. Implementação

A implementação BIM implica sempre um investimento em aquisição de *software*, melhoria de *hardware*, formação de pessoal e quebras de produtividade iniciais. Com vista a minimizar os custos associados a esta fase, em especial na formação e nas quebras de produtividade, foi constituída uma pequena equipa que tinha como principais objetivos:

- Adquirir competências de modelação que permitissem garantir a autonomia na produção de modelos BIM paramétricos nas especialidades mais relevantes à empresa (estruturas, arquitetura e equipamentos);
- Estudar a regulamentação internacional de modo a incorporar as boas práticas atualmente reconhecidas na indústria para organização da informação digital associada ao BIM;
- Estabelecer processos de trabalho associados à produção de informação a partir do modelo paramétrico, conforme os usos a definir;

O carácter disruptivo da alteração de metodologia de trabalho na empresa torna essencial encontrar um conjunto alargado de usos a dar aos modelos paramétricos, tão imediatos quanto possível, sem colocar demasiadas exigências à modelação e ao grau de desenvolvimento dos objetos. Foram então considerados três usos essenciais à produção de modelos BIM:

- A produção de peças desenhadas através da elaboração de cortes dinâmicos no modelo;
- A obtenção de quantidades automaticamente a partir do modelo;
- A elaboração de imagens renderizadas a partir do modelo.

Identificados os usos a dar ao modelo foi realizada uma análise aos recursos humanos disponíveis e verificou-se existir um conjunto de colaboradores com alguns conhecimentos de modelação 3D em *Microstation* e com capacidade para, de forma autónoma, desenvolverem modelos BIM na plataforma escolhida – o *AECOSim Building Designer*. Estes recursos estavam afetos na sua maioria ao Núcleo de Recursos Naturais da empresa, departamento com uma das componentes de produção mais importantes da COBA. Procurou-se então criar as condições para o desenvolvimento mais ou menos autónomo de modelos BIM por parte da equipa, numa abordagem de experimentação com apoio de recursos *on-line* e guias de modelação da *Bentley*. Esperava-se com esta abordagem reduzir os custos de implementação através de um investimento reduzido na formação, mas garantindo uma transição gradual e orgânica, em primeiro lugar dentro do próprio núcleo, e mais tarde transversal a toda a empresa.

Com base nesta estratégia deu-se início ao desenvolvimento de um conjunto de projetos piloto, mais representativos do trabalho realizado habitualmente pela empresa.

3. Projetos Piloto

Devido à elevada componente de trabalho autónomo a que a estratégia idealizada obriga, estes projetos iniciais serviram sobretudo para desenvolver os conhecimentos sobre os programas utilizados, e compreender exatamente o alcance dos objetivos definidos para a implementação BIM na empresa.

O primeiro projeto piloto centrou-se na modelação da especialidade de Estruturas da Estação de Tratamento de Águas apresentada na Figura 1. O objetivo principal para o projeto era o desenvolvimento dos processos associados ao sistema de produção (desenvolvimento do modelo por parte do modelador e obtenção automatizada dos desenhos e das quantidades).

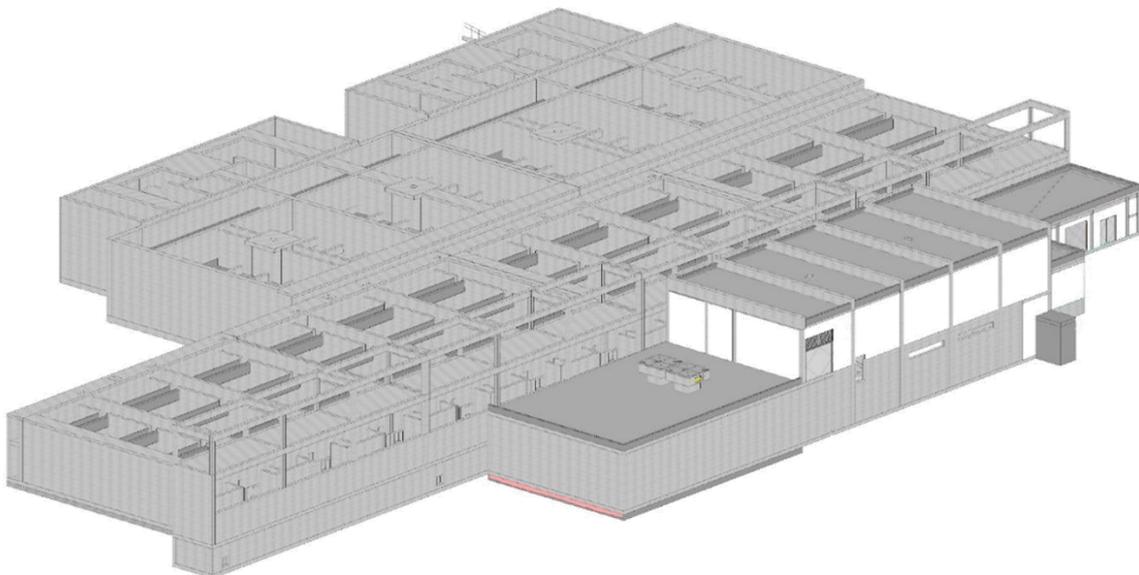


Figura 1: Modelo estrutural da Estação de Tratamento de Água.

Ao nível da modelação verificou-se que o conjunto de ferramentas paramétricas, apesar de limitado, permite modelar uma parte importante da estrutura (vigas, lajes, pilares, paredes, etc.). Existe contudo uma série de objetos que não são habituais nos projetos de edificação e cuja parametrização geométrica não é imediata (nem é a sua classificação nos vários sistemas de classificação da indústria AEC). É, por exemplo, o caso do betão de enchimento dos decantadores (Figura 2), que foram construídos recorrendo às ferramentas de modelação 3D não paramétricas. Estas questões e as respetivas soluções foram sendo registadas num manual de modelação interno para posterior consulta.

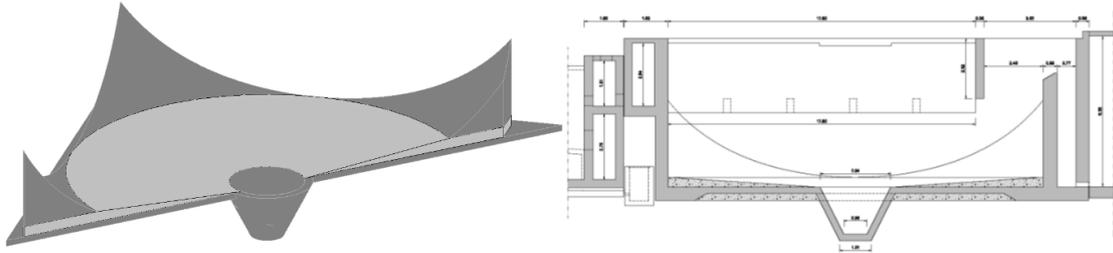


Figura 2: Modelo e desenho parcial de um decantador com betão de enchimento.

Com o objetivo de reduzir as perdas de produtividade na implementação de metodologias BIM, procurou-se minimizar as alterações aos processos de trabalho já existentes na empresa. Ao nível do desenho, isto significa exportar os desenhos obtidos do modelo do formato DGN para DWG. Este processo permite por um lado manter os processos de edição e montagem de desenhos já existentes (e assim reduzir as necessidades de formação e perdas de produtividade associadas), mas obriga a um cuidado maior na etapa de edição de desenho, devido à perda de interatividade que se verifica entre o modelo BIM e o desenho exportado (Figura 3).

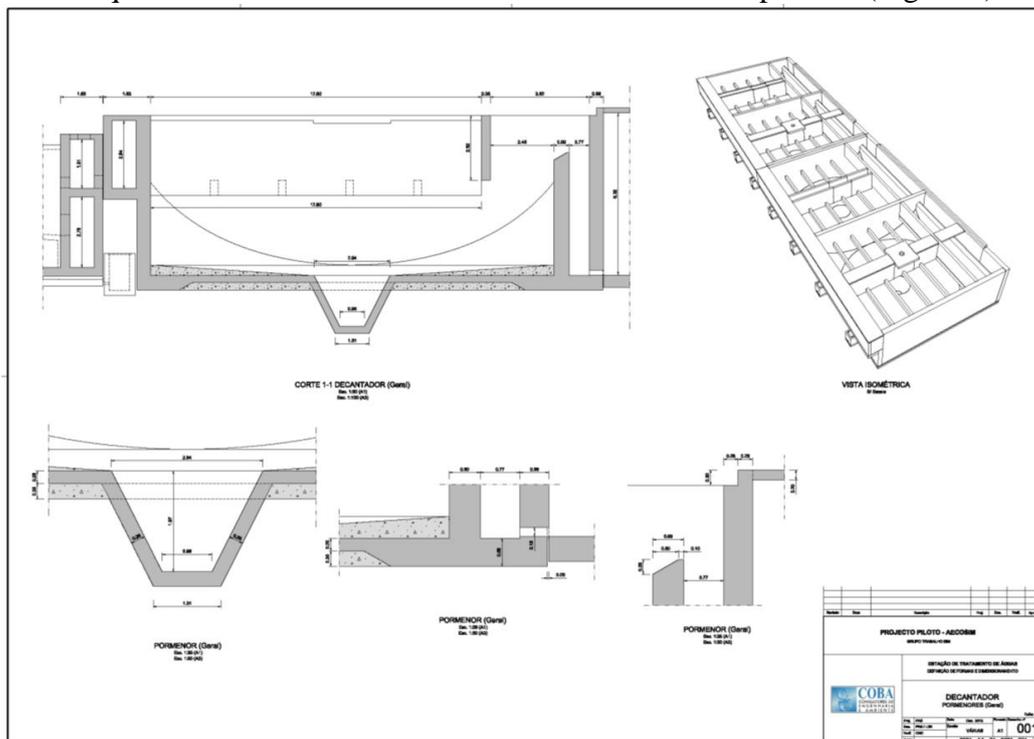


Figura 3: Desenho obtido do modelo paramétrico, exportado para DWG.

Relativamente às quantidades de materiais, o *AECOSim* permite exportar tabelas em *Excel* com os vários objetos que compõem o modelo e os respetivos materiais, mas com uma capacidade de edição da tabela limitada. Por este motivo optou-se por realizar um passo intermédio, utilizando uma *template* de exportação simplificada, ligada à lista de quantidades de trabalho com a formatação utilizada habitualmente. Todas estas transferências de informação foram sendo registadas e organizadas num fluxograma apresentado no final (Figura 10).

O projeto seguinte envolveu um edifício de apoio do aproveitamento hidroelétrico, tendo sido desenvolvidos os modelos de arquitetura, de estruturas e de arranjos exteriores (Figura 4).

Esperava-se nesta etapa melhorar os processos de trabalho explorados no projeto anterior e criar uma base de trabalho alargada para a especialidade de arquitetura. Durante este projeto a equipa adquiriu os conhecimentos necessários para a criação de objetos paramétricos nativos do *AECOSim* recorrendo ao *Parametric Cell Studio*, o que representou um avanço importante para a criação e manutenção de uma biblioteca paramétrica própria.



Figura 4: Modelos Estrutural e de Arquitetura do edifício de apoio.

Este projeto serviu ainda para estabelecer um processo de trabalho para a obtenção de imagens renderizadas (Figuras 5 e 6). Tal como ficou estabelecido para os desenhos técnicos, procurou-se encontrar uma solução que minimizasse qualquer quebra de produtividade relativamente aos mecanismos já implementados na empresa. Por este motivo foram testadas as opções de exportação do modelo BIM para DWG, para posterior importação em *3dStudio Max*. Apesar de mais uma vez esta solução quebrar a interatividade entre os modelos, ela permite aumentar o grau de detalhe dos objetos para o nível necessário à renderização (mas irrelevante para a produção de desenhos e extração de quantidades) sem sobrecarregar o modelo BIM.



Figura 5 – Em cima: modelo BIM original do edifício em DGN. Em baixo: modelo para renderização em DWG.

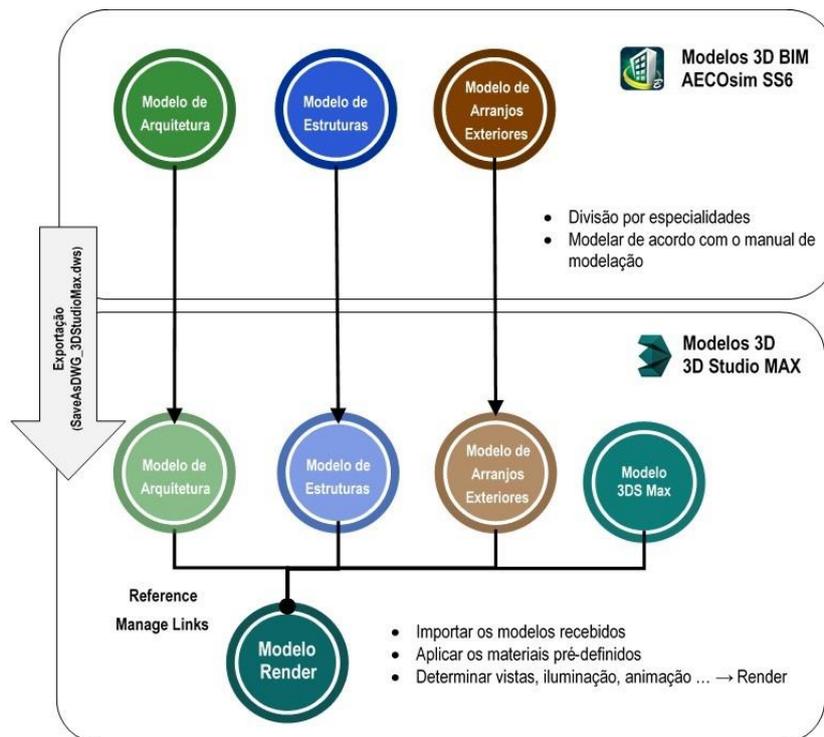


Figura 6: Esquema simplificada do fluxo de informação nos usos a dar ao modelo BIM [2].

O projeto piloto seguinte permitiu aumentar as rotinas de trabalho 3D, melhorar os processos e aproximar o modelo das equipas de projeto. Iniciaram-se então os trabalhos de modelação da Central Hidroelétrica apresentada na Figura 7.



Figura 7: Modelos de Estruturas, Arquitetura e Equipamentos da central hidroelétrica.

Este trabalho foi substancialmente diferente dos restantes, uma vez que o modelo foi realizado em 3D por vários modeladores, um dos quais localizado externamente à COBA. Os modelos BIM foram criados em paralelo, utilizados para coordenação entre especialidades (Figura 8) e como veículo de comunicação entre modeladores internos e externos.

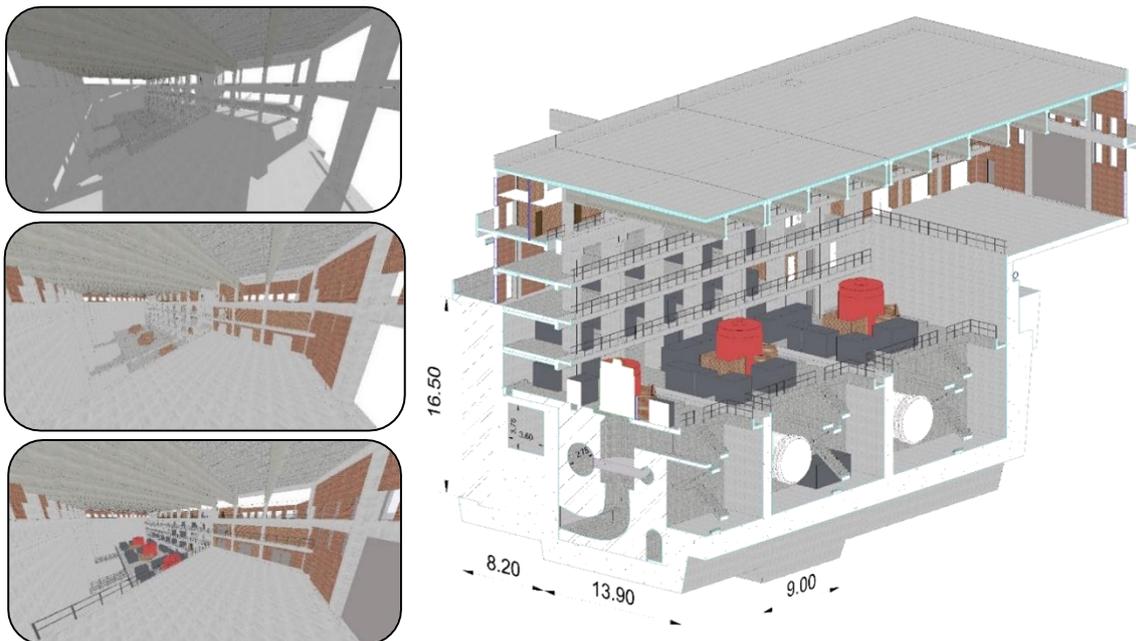


Figura 8: Utilização do modelo para visualização e apoio à tomada de decisão.

Esta necessidade de partilha de informação colocou uma série de novos desafios. A necessidade de transmitir alterações em diferentes modelos, e o facto de não existir uma regra clara sobre o processo e os momentos de partilha de informação, provocaram problemas na interpretação dos modelos por parte de cada um dos envolvidos. Surgiu assim a necessidade de definir um documento orientador dos processos e regras na partilha de informação digital – um *Project BIM Execution Plan* (BEP).

Os projetos apresentados permitiram criar uma base de trabalho sólida (biblioteca paramétrica e conhecimentos de modelação) para os próximos desenvolvimentos, onde se espera aplicar as várias ferramentas utilizadas em projetos reais.

4. Desenvolvimentos futuros

É importante referir uma vez mais que o trabalho apresentado foi desenvolvido com uma componente autónoma que não pode ser ignorada, o que limitou a possibilidade de quantificar os reais ganhos em termos de produtividade na utilização de metodologias de trabalho BIM. Mesmo sem uma quantificação exata, ficou já claro que a utilização de ferramentas BIM representa enormes ganhos nos tempos de produção, nomeadamente nas alterações necessárias numa fase de projeto base. Estes ganhos são obtidos nas fases de produção de desenhos e de quantificação de trabalhos. Esta situação será seguramente apurada quando forem definidos os objetivos para os projetos a desenvolver de seguida. A estratégia de implementação BIM na empresa tem aliás de ser constantemente revista, em conformidade com as dificuldades e as oportunidades que vão sendo identificados em cada projeto.

Para além da necessidade de definir o BEP, é importante estender o processo BIM ao projeto, e aumentar a capacidade de modelação na empresa. Foi então elaborado um plano de formação, que se divide em três módulos distintos: produção, projeto e manutenção da biblioteca BIM. (Figura 9).

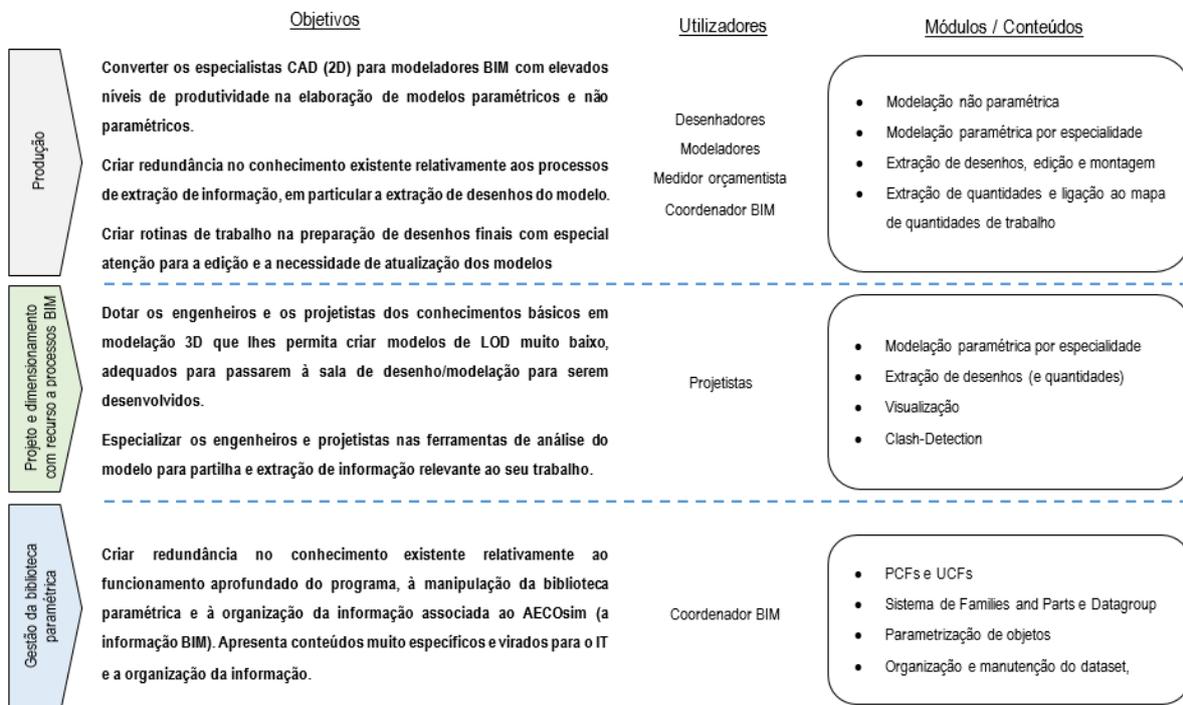


Figura 9: Divisão do plano de formação BIM.

Para além da revisão dos objetivos definidos inicialmente, os projetos desenvolvidos revelaram um conjunto de oportunidades de melhoria nos processos de trabalho internos, que merecem ser exploradas. Todos os processos expostos estão sujeitos a serem revistos, melhorados ou até descartados na eventualidade de se encontrarem alternativas mais produtivas ou que permitam enfrentar novos desafios sem comprometer a integridade dos resultados já estabelecidos.

Das várias etapas documentadas relativamente à extração de informação dos modelos (Figura 10), será interessante eliminar por completo a necessidade de exportar os desenhos para *Autocad*. Utilizando o modelo BIM como origem da informação 2D, a criação e manutenção de um desenho base parece desnecessária, sendo possível fazer a transição diretamente dos cortes dinâmicos para os *layouts*, sempre em ambiente *AECOSim*. Este processo resulta num menor número de ficheiros a gerir, permite manter a interatividade total entre modelos e *layouts*, e possibilita a utilização da meta-informação existente no modelo para anotação dos desenhos (pelo menos de forma mais eficaz). Esta alteração permite ainda utilizar processos de gestão de documentação com recurso às ferramentas existentes no *software*.

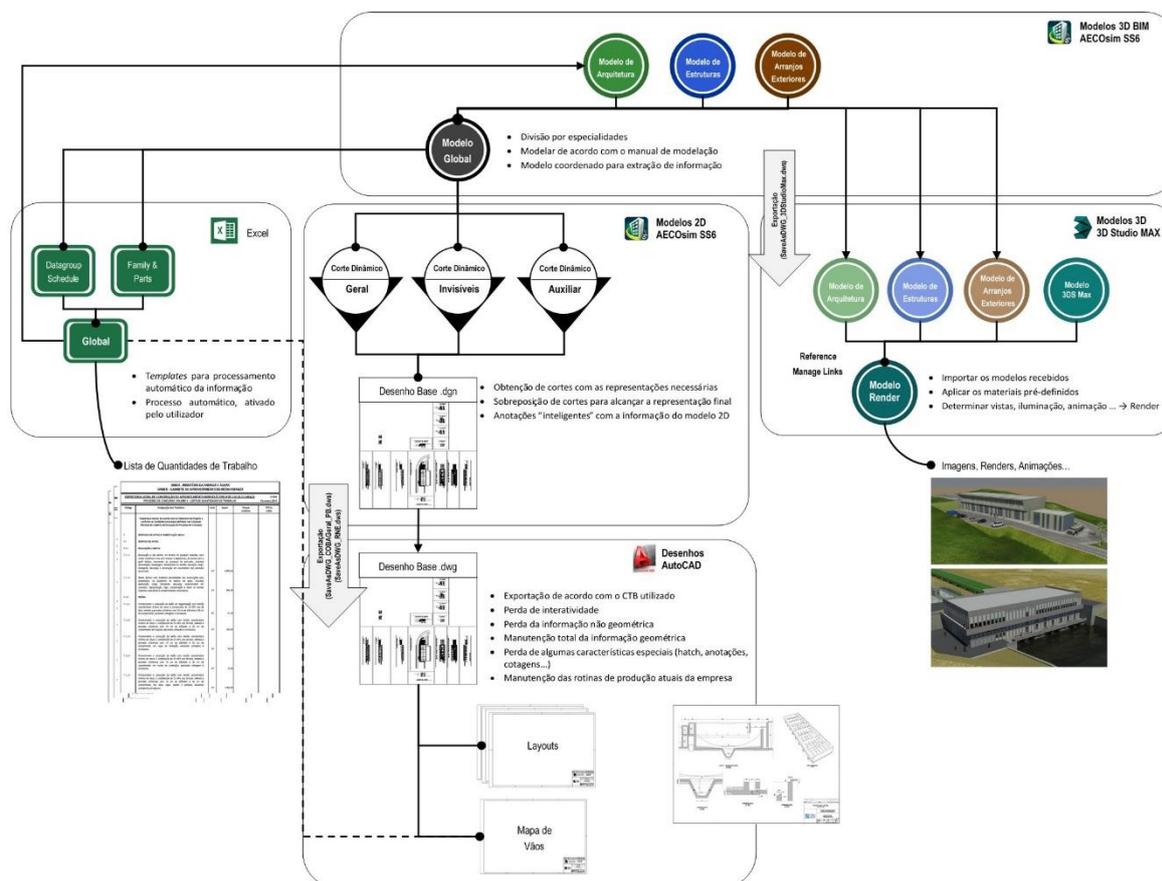


Figura 10: Esquema simplificado do fluxo de informação nos usos a dar ao modelo BIM [3].

Sendo o BIM uma metodologia de trabalho que tem por base a partilha de informação digital iremos continuar a desenvolver o BEP, pondo em prática algumas das regras que foram identificadas como fundamentais no último projeto piloto. Esta etapa pode até ser estendida a outros programas como o *Revit*, utilizando o IFC ou o *i-model* como formatos de transferência

de informação. Parece-nos também relevante diminuir a distância entre as entidades, pondo em prática sistemas informáticos de partilha de informação digital como o *ProjectWise*.

Com uma base de trabalho sólida para as estruturas e a arquitetura, é necessário desenvolver os objetos e as técnicas de modelação para os equipamentos mecânicos, hidráulicos e elétricos. Este trabalho já foi iniciado, estando a ser abordadas as questões do nível de detalhe geométrico dos elementos e a sua inclusão nos processos apresentados. Contribui também para este desafio as definições criadas no plano de formação.

Cada especialidade tem as suas especificidades no que diz respeito à modelação paramétrica. A modelação de estradas, acessos e topografia, exige ferramentas de modelação específicas, encontradas em *softwares* como o *InRoads* ou o *Civil 3D*, programas que já são utilizados na empresa. Será importante incorporar estes programas nos fluxos de informação alcançados.

Com a inclusão de mais especialidades nos vários modelos e com o aumento da complexidade dos projetos, será importante utilizar, de maneira formal, as ferramentas de *Clash-Detection*, e encontrar rotinas e metodologias de trabalho que facilitem a coordenação do projeto.

É necessário aproximar as equipas de projeto do modelo BIM, usando-o como ferramenta, tanto para coordenar as várias especialidades, como para projetar. Para o efeito é necessário identificar uma ferramenta que dê acesso à informação digital (o *AECOSim*, um *i-model* acessível através do *Microstation* ou do *Navigator*, ou pdfs 3D). É ainda necessário munir os projetistas das ferramentas para realizarem parte do seu trabalho em BIM, através da aplicação do plano de formação e da modelação de níveis de detalhe baixos, utilizando objetos paramétricos mais evoluídos construídos, por exemplo, com o *Generative Components* (Figura 11).

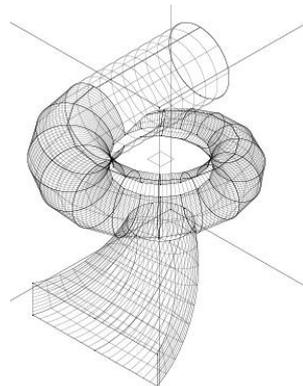


Figura 11: Objeto paramétrico criado em *Generative Components*, do maciço de envolvimento do circuito hidráulico de uma central hidroelétrica.

A utilização do modelo paramétrico como forma de documentação do projeto permite aumentar a produtividade e a qualidade dos entregáveis obtidos, desde que exista uma base de trabalho prévia de preparação da biblioteca paramétrica e de edição de *templates*. Reconhecendo que este trabalho nunca está concluído, acreditamos ter ultrapassado esta etapa no que diz respeito às estruturas e à arquitetura, existindo agora uma biblioteca paramétrica e rotinas de trabalho

que permitem avançar na produção de modelos BIM. No entanto, esta é apenas uma das vantagens da utilização deste tipo de tecnologias, sendo necessário evoluir a aplicação do BIM ao projeto. É necessário aproximar as equipas de trabalho ao modelo para coordenação, utilizar a modelação como ferramenta para projetar, e construir um processo de gestão da informação de uma forma mais eficaz.

Referências

- [1] Bentley, GenerativeComponents V8i Essentials 08.11.08 – Bentley Institute Course Guide, Bentley Systems Inc, 2010.
- [2] N. Davies, Practical Architectural Modelling with AECOsim Building Designer, 1st ed. Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2008.
- [3] C. Eastman, BIM Handbook, a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors, John Wiley & Sons Inc., 2011
- [4] PAS 1192-2:2013, “Specification for information management of the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling,” The British Standard Institution (BSI), 2013.

IMPLEMENTAÇÃO BIM NA CASAIS S.A

Miguel Pires ⁽¹⁾, André Monteiro ⁽²⁾

(1) CASAIS – Engenharia e Construção S.A, Braga

(2) bimTEC, Porto

Resumo

O Departamento Técnico da CASAIS deu início ao processo de implementação da metodologia BIM de modo a capacitar os seus técnicos com a necessária formação e conhecimentos especializados permitindo introduzir nos projetos de conceção interna a abordagem de acordo com o conceito BIM. Em conjunto com a bimTEC, empresa consultora especialista na integração de metodologias e processos BIM, foi desenvolvido um plano de ação para introdução da nova metodologia de trabalho, contemplando uma estratégia faseada, com objetivos definidos para curto, médio e longo prazo.

Os principais objetivos da primeira fase da implementação BIM foram criar o núcleo CASAIS BIM, desenvolver e integrar "*workflows*", e desenvolver e potenciar os serviços BIM no âmbito dos trabalhos do Grupo CASAIS. O objetivo final a atingir é o incremento do ROI e concomitantemente providenciar um melhor serviço aos clientes, interna e externamente, de modo a exceder as suas expectativas.

O projeto de conceção-construção desenvolvido em Gibraltar denominado "Edifício West One" foi selecionado como projeto-piloto BIM. Tendo como principal objetivo a capacitação e consolidação de competências BIM, a modelação do projeto-piloto permitiu ainda avaliar a adequabilidade das opções tomadas. Modelação 3D, extração automática de quantidades, planeamento 4D e deteção de colisões foram funcionalidades BIM exploradas no âmbito do projeto-piloto e exerceram um importante contributo para a equipa de execução da obra da CASAIS.

No presente artigo é descrita a motivação e estratégia relacionadas com a implementação BIM na CASAIS, bem como os primeiros resultados da utilização do BIM no seguimento da metodologia adotada.

1. Introdução

A implementação BIM na indústria da construção, pelo facto de se realizar em contexto multidisciplinar, apresenta desafios acrescidos.

No desenvolvimento da sua atividade, a CASAIS atua na totalidade dos diversos estágios do ciclo da construção: desde a conceção de projeto de raiz, percorrendo a fase comercial de apresentação das propostas de orçamento, através da produção e construção dos edifícios, fase de assistência pós-venda e incluindo por vezes a própria gestão e manutenção de edifícios.

Motivada pelo forte impulso de internacionalização, a atividade da CASAIS desenvolve-se muito para além do mercado português, encontrando-se atualmente a laborar em 14 países. A forte internacionalização da CASAIS induz igualmente diversas variáveis a ter em conta no processo de implementação.

A multidisciplinaridade dos processos e a presença em diversas geografias obrigou, previamente à implementação BIM na empresa, à reflexão ponderada acerca da estratégia e plano de ação a realizar na CASAIS.

Como âncora de desenvolvimento da implementação BIM, foi decisão orientadora a constituição de núcleo BIM na sede da CASAIS, ao nível do Departamento Técnico da construtora. Enquanto área privilegiada de interação com os diversos ramos da empresa, bem como com as diferentes geografias, revelou ser o local mais apropriado para desenvolvimento de competências e especialização BIM. Por outro lado, é no Departamento Técnico que os benefícios mais diretos da aplicação das ferramentas BIM tendem a surgir de forma mais imediata, na medida em que é possível desde logo tirar partido de funcionalidades como a extração automática de vistas e quantidades do modelo, ou a deteção de incompatibilidades [1]. Este tipo de funcionalidade permite, por um lado, agilizar várias das tarefas associadas ao desenvolvimento de projetos, e por outro, facilitar a comunicação entre cliente, equipas projetistas e equipas de produção (fabrico e construção), ambos aspetos muito importantes para a maioria das construtoras [2], incluindo a CASAIS.

No sentido de começar a estabelecer dinâmicas de interação com outras áreas da empresa, em particular, com as equipas de fabrico e de construção, foram desde o início exploradas funcionalidades adicionais como a integração do faseamento construtivo nos modelos e a simulação animada do processo de construção.

2. Estratégia BIM na CASAIS

2.1 Introdução

Qualquer alteração de metodologias, em especial numa indústria como da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), caracterizada pela rigidez dos seus processos, em concomitância com a elevada maturidade da CASAIS (cerca de 6 décadas de atividade), implicam mudanças profundas, resultando em processos delicados.

Foram assim desenvolvidas reuniões estratégicas de discussão com os diversos intervenientes que ocorreram de forma informal, mas essenciais para a correta caracterização dos objetivos. Posteriormente foram realizadas entrevistas mais personalizadas com os responsáveis da equipa técnica bem como o Administrador da tutela e o responsável de sistemas informáticos da CASAIS.

2.2 Objetivos do Plano Estratégico

Previamente à implementação foi realizado um Plano Estratégico que permitisse a avaliação das características próprias da organização, bem como a definição de um plano de formação e de operacionalização personalizados. Os objetivos principais adotados foram os seguintes:

- Definição de objetivos a alcançar com a implementação BIM na CASAIS, compreendendo a formalização de uma visão integrada de adoção de processos BIM na empresa a curto, médio e longo prazo;
- Definição de uma estratégia de implementação BIM que permita uma transição eficiente dos atuais processos 2D centrados na produção de documentos, para processos 3D suportados por modelos BIM paramétricos e enriquecidos de informação;
- Apresentação das metodologias preconizadas e dos processos a implementar no âmbito da implementação operacional do BIM, tendo por base o nível de maturidade tecnológica aferido para a empresa no contexto atual.

2.3 Objetivos da Implementação BIM

Foram definidos 3 objetivos ambiciosos no âmbito da Implementação BIM:

- Curto Prazo - Criar e consolidar o Núcleo BIM CASAIS ancorado no Departamento Técnico da empresa;
- Médio Prazo - Integrar *workflows* e processos de trabalho suportados em modelos BIM nas diferentes áreas de atividade do Grupo CASAIS;
- Longo Prazo - Desenvolver e integrar novas áreas de negócio suportadas por processos BIM no portfólio de serviços do Grupo CASAIS.

2.4 Motivação da Implementação BIM

A motivação para a implementação BIM na CASAIS ocorreu predominantemente pelos fatores seguintes:

- Acompanhar as exigências do mercado: O contacto com clientes internacionais que num contexto de mercado globalizado e numa industria cada vez mais qualificada e especializada. A CASAIS enquanto empresa que pretende estar posicionada neste tipo de mercados de criação de Valor, pretende adotar e incorporar a metodologia BIM;
- Consciência da necessidade de evolução: O contacto da equipa técnica com aplicações BIM e a perceção das suas vantagens e potencialidades criou uma consciência da necessidade de mudança de paradigma na realização da atividade de projeto;
- Veiculo para potenciar sinergias internas: Beneficiar do potencial da metodologia BIM nas diversas fases do ciclo de vida do projeto.

3. Análise SWOT

Como forma prática de sistematizar as diversas perspetivas e variáveis foi realizada uma análise SWOT (Figura 1) enquanto metodologia apropriada na cenarização para apoio à decisão.

INTERNO	FORÇAS	FRAQUEZAS
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Infraestruturas necessárias à implementação BIM ▪ Equipa BIM com conhecimento prévio sobre ferramentas e métodos ▪ <i>Know-how</i> tecnológico e abertura da equipa ▪ Rácio engenheiro/desenhador elevado ▪ Sensibilidade da administração para a necessidade da exploração comercial do BIM ▪ Formação em processos e <i>software</i> BIM 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Preponderância atual das ferramentas CAD 2D na produção ▪ Duração relativa à implementação de um <i>workflow</i> BIM transversal a toda a empresa ▪ Desequilíbrio nos colaboradores alocados às diferentes especialidades ▪ Relação nível de desenvolvimento / ritmo de produção do Projeto Base ▪ Normas de desenho e representação não uniforme entre departamentos ▪ Sistema de gestão documental não uniforme entre departamentos
EXTERNO	OPORTUNIDADES	AMEAÇAS
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tendência do mercado para começar a exigir BIM, sendo já obrigatória a sua utilização em alguns países ▪ O BIM potencia novas áreas de negócio como o <i>Facility Management</i> ou o <i>Clash Detection</i> ▪ A implementação BIM por si só potencia a adoção de novas práticas de produção que resultam de uma reflexão estratégica sobre os problemas atuais ▪ Os processos BIM tornam tendencialmente a produção mais eficaz ▪ Potencial para integração do BIM no domínio da construção 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dimensão da empresa e abrangência de serviços pode constituir fator de dispersão ▪ A solicitação de serviços BIM ainda não é tão considerável que justifique por si só um investimento com ROI garantido ▪ A integração incompleta e/ou deficiente de ferramentas e processos BIM num <i>workflow</i> consolidado pode resultar na quebra de produtividade e motivação ▪ O custo por posto (<i>Hardware, Software</i> e Formação) não é um investimento garantido a curto prazo
	POSITIVO	NEGATIVO

Figura 1: Análise SWOT.

4. Implementação

4.1 Integração por Fases da Implementação

Foi prevista a criação por fases do processo de implementação, definidas conforme o esquema da Figura 2. A primeira fase corresponde ao definido no Plano Estratégico ao estágio temporal de Curto Prazo, sendo o mais importante para constituir a base de fundação da implementação BIM.

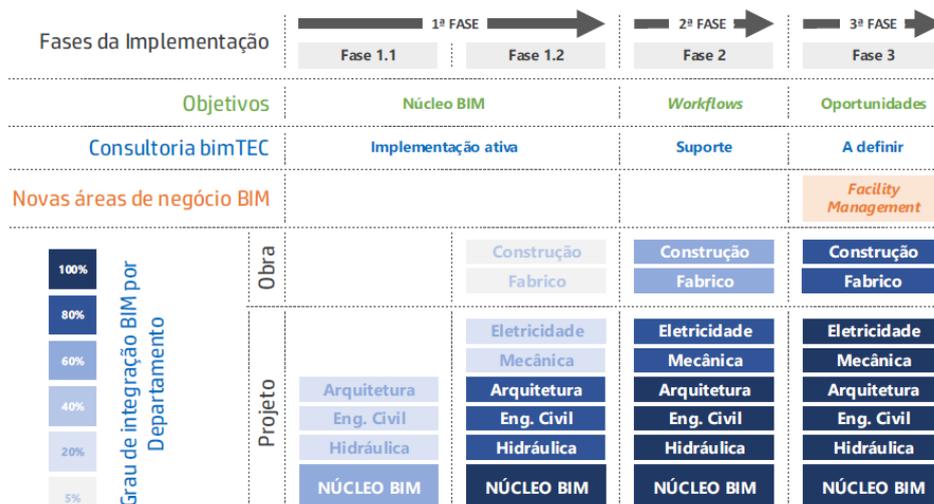


Figura 2: Fases de implementação.

4.2 Vetores Principais da Implementação

Na primeira fase da implementação foram definidos os 4 vetores principais:

- Formalização do Núcleo BIM da CASAIS: Constituído por 2 arquitetos, 3 engenheiros de estruturas, 1 engenheiro de mecânicas, 1 engenheiro eletrotécnico e 1 desenhador;
- Desenvolvimento de competências de modelação BIM: Desenvolvimento de aulas de formação teórica e prática para aprendizagem do *software*;
- Integração da infraestrutura de suporte: Criação do Template de representação, realização de manual de boas práticas BIM;
- Integração de processos e operacionalização da equipa BIM.

5. Projeto-piloto

5.1 Introdução

A CASAIS Gibraltar, motivada pelo impulso anglo-saxónico atualmente presente na adoção e obrigatoriedade de projetar de acordo com metodologia BIM [3], apadrinhou enquanto patrocinador a iniciativa de implementação. A escolha do projeto-piloto recaiu pelo edifício “West One” cuja conceção construção foi totalmente desenvolvida pelos técnicos da CASAIS e que o Dep. Técnico coordenou. É um edifício de 12 andares destinado a habitação com os dois pisos iniciais aptos para comércio e a presença de uma *penthouse* no último piso.

5.2 Sistema de Classificação

No âmbito da especialidade de Estabilidade foi desenvolvido um sistema de classificação dos diversos elementos baseado no sistema definido no NRM2 – “*RICS new rules of measurement – Detailed measurements for building works*” [4]. Este sistema permitiu classificar os elementos de modo a obter de forma automática as medições em tabelas criadas dinamicamente e que são atualizadas automaticamente sempre que o modelo sofre alterações. O sistema de classificação é implementado no Revit por via dos “Keynotes” (Figura 3).

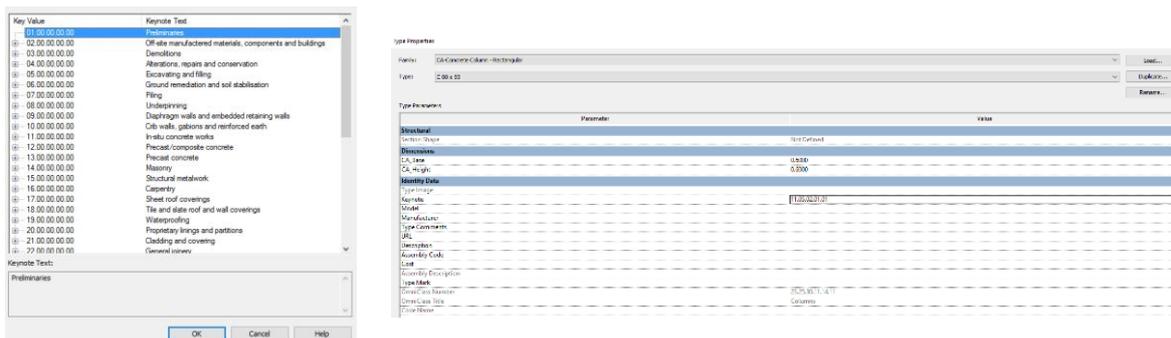


Figura 3: Utilização do “Keynote” para classificação dos elementos.

5.3 Modelação e Detecção de Incompatibilidades

O *software* utilizado para a modelação do edifício foi o “Revit” da Autodesk. Foram realizados modelos distintos das diversas especialidades (Figura 4): Arquitetura, Estrutura e MEP.



Figura 4: Modelos BIM (Arquitetura, Estruturas e MEP).

A realização dos modelos permitiu a visualização de diversas incompatibilidades durante os estudos de projeto bem como apresentar diversas versões da fachada para aprovação do cliente, revelando-se de enorme interesse e utilidade a sua utilização no decurso dos trabalhos de projeto.

5.4 Extração de Quantidades

A utilização da metodologia BIM permitiu atingir a extração automática de quantidades diretamente do modelo sendo importante a adoção de rigorosos critérios de modelação para garantir a qualidade e fiabilidade da informação obtida. O resultado final traduz-se na forma de tabelas onde a informação é organizada segundo os critérios definidos (Figura 5).

Quantidades Globais		
Tipo de Elemento	Qty.	Volume
Escadas		
Betão	22	22 m³
Fundações		
Betão de Limpeza	22	19 m³
Estaca	344	13 m³
Maciço de Estacas	22	211 m³
Sapata Contínua	14	87 m³
Lajes		
Aligeiradas	4	10 m³
Maciças	68	1562 m³
Paredes		
Núcleos	241	373 m³
Pilares		
Betão	204	169 m³
Metálicos	36	1 m³
Vigas		
Vigas de Betão	273	227 m³
Vigas Metálicas	98	2 m³
Grand Totals: 1348	1348	2695 m³

Figura 5: Exemplo de extração automática de quantidades para as Estruturas.

5.5 Planeamento da Construção

Ao nível da especialidade de Estrutura foi possível realizar a simulação do planeamento construtivo alicerçado no plano de trabalhos da execução da obra. O *software* utilizado foi o “Navisworks”.

5.6 Resultados do projeto-piloto

O objetivo do projeto-piloto passava pela criação do modelo do projeto “West-One” evoluído até um nível em que o modelo pudesse ser utilizado como complemento ao projeto, permitindo

uma inspeção visual da geometria e da informação associados aos elementos. Testar a utilização das funcionalidades descritas anteriormente eram aspetos valorizadores do projeto-piloto, numa ótica de antecipar o tipo de utilização que se pretende dar aos modelos a curto prazo.

Os resultados do projeto-piloto foram particularmente encorajadores para as Estruturas, especialidade cujo modelo foi criado mais rapidamente, inclusivamente, com uma demora inferior ao esperado. A falta dos objetos específicos para o modelo de instalações foi um fator condicionante, no entanto, foi possível desenvolver o modelo recorrendo a objetos semelhantes da biblioteca do *software*. A abordagem ao desenvolvimento do modelo de arquitetura foi ambiciosa, tendo-se optado pela modelação a um nível de detalhe elevado, o que por sua vez também resultou no aumento do tempo necessário para concluir o modelo.

6. Projetos Adicionais

Decorrente da implementação BIM e da experiência alcançada foram realizadas outros projetos pelo Núcleo BIM nomeadamente (Figura 6):

- Projeto de Contenção Periférica da obra “Ocean Spa Plaza” em Gibraltar;
- Projeto de Estabilidade do edifício “Consulado de Angola” no Porto;
- Projeto de Contenção de Fachada e de Estabilidade do “Edifício Estrela 24” em Lisboa;

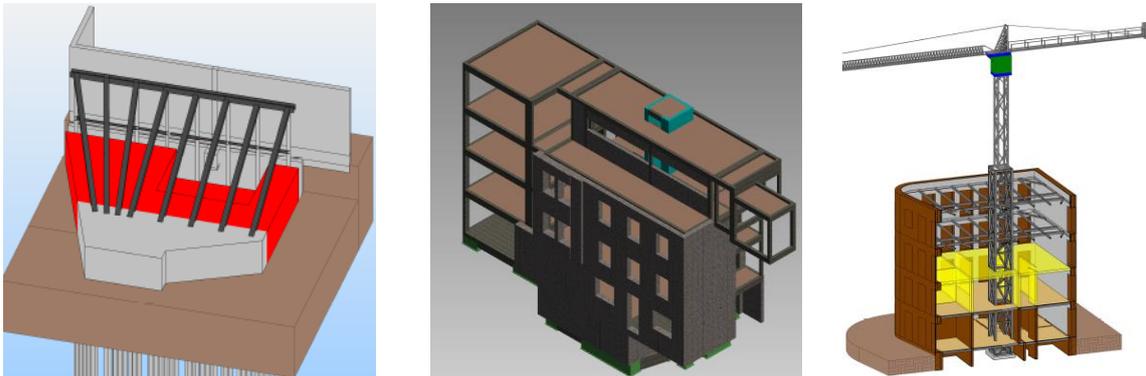


Figura 6: Exemplo de modelos adicionais. Da esquerda para a direita, “Ocean Spa Plaza”, “Consulado de Angola”, Edifício Estrela 24”.

7. Conclusão

A implementação BIM na CASAIS tem-se revelado um desafio interessante, possibilitando a interação profunda entre as diversas especialidades ao nível da conceção de projeto. Em complemento permite de forma muito competente e clarificadora expor e apresentar o faseamento construtivo em obras de especial complexidade às equipas de Direção de Obra. A apresentação de soluções alternativas bem como o controlo automático das medições são uma garantia de apoio à decisão e cruciais na fase comercial da apresentação de propostas.

Na relação com os Clientes e com os demais intervenientes (técnicos de licenciamento camarário, Fiscalizações, Subempreiteiros, etc.) é uma mais-valia ao melhorar a comunicação, deteção de incompatibilidades e a deteção de colisões entre especialidades.

A implementação BIM é uma evolução positiva e a criação do Núcleo BIM permite não só atuar no presente, ao nível da realização de projetos, mas garantir a incorporação do conhecimento e sua difusão para o futuro, alicerçando as bases de evolução numa metodologia de grande potencial e na aplicação aos diversos estágios do ciclo da construção.

Referências

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, Hoboken, N.J: Wiley, 2008.
- [2] SmartMarket Report, “The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets,” McGraw Hill Construction, USA, 2014.
- [3] NBS, *International BIM Report 2016*, England: NBS, 2016.
- [4] RICS, *RICS new rules of measurements 2: Detailed measurement for building works*, UK: Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), 2013.

IMPLEMENTAÇÃO BIM NUMA EMPRESA DE ESTUDOS E PROJETOS DE ENGENHARIA (CENOR)

André Monteiro⁽¹⁾, João Lima⁽¹⁾, Sofia Henriques⁽²⁾, Luís Rodrigues⁽²⁾, Luís Ribeirinho⁽²⁾

(1) bimTEC, Porto

(2) CENOR Consultores, S.A., Lisboa

Resumo

O Departamento de Estudos e Projetos da CENOR deu início à implementação da metodologia BIM nos seus processos de trabalho, tendo como principais objetivos, por um lado, integrar novos processos que permitam aumentar o nível de automação e sistematização, e por outro, dar resposta a solicitações específicas do mercado nacional e internacional. Para tal, foi desenvolvido em conjunto com a bimTEC, empresa consultora especialista na integração de metodologias e processos BIM, um plano de ação para introdução da nova metodologia de trabalho de forma faseada, definindo objetivos a curto, médio e longo prazo.

Em termos operacionais, a estratégia de implementação desenvolveu-se segundo quatro vertentes principais: 1) Planeamento estratégico; 2) Formação; 3) Desenvolvimento do Projeto-piloto; 4) Formalização dos processos e ferramentas de apoio à aplicação da metodologia BIM.

O presente artigo descreve com algum detalhe o processo de implementação BIM na CENOR, dando especial ênfase à evolução processual observada nos projetos BIM, entretanto desenvolvidos na CENOR, salientando-se os principais resultados operacionais alcançados, dificuldades e benefícios encontrados, assim como a aferição e análise dos indicadores chave de desempenho estabelecidos para este processo.

1. Introdução

Uma das tendências de maior relevo na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) durante os últimos anos é a ascensão do *Building Information Modeling* (BIM) enquanto processo de abordagem ao desenvolvimento e gestão de projetos [1], [2]. Em Portugal esta tendência não é tão evidente [3], no entanto, empresas com forte atividade no mercado internacional, nas quais se incluem a CENOR, começam a procurar formas de integrar

a metodologia BIM nos seus processos de trabalho, fruto não só das solicitações de clientes como do próprio reconhecimento do potencial da metodologia nos processos internos.

O processo de implementação BIM não obedece a uma fórmula rigorosa e inflexível, no entanto, existem aspetos que podem ser generalizados. Simplificadamente, um processo de implementação exige, no mínimo, a criação de uma equipa e a disponibilização de uma infraestrutura que lhe permita desenvolver projetos BIM de forma expedita e consistente [4]. A ênfase na equipa é decisiva na medida em que será a equipa a pôr em prática a metodologia BIM. Por outro lado, e assumindo que a primeira equipa BIM se resume a um pequeno núcleo, será esta a responsável por suportar a disseminação da metodologia BIM dentro da empresa em fases futuras.

A transição de uma abordagem CAD para uma abordagem BIM implica alterações estruturantes da forma de trabalhar, pelo que serão sempre esperados desafios em qualquer processo de implementação BIM [5].

2. Enquadramento do BIM na CENOR previamente à implementação

Enquanto método de abordagem ao desenvolvimento de atividades relacionadas com os projetos da indústria da AEC, o BIM enquadra-se na área/campo de pesquisa/exploração da Comissão para a Modernização Informática da CENOR (CMIC), um grupo constituído por um representante de cada serviço, cujo objetivo principal é a otimização e automatização de processos, seja por via da programação, seja por integração de novas aplicações informáticas ou metodologias nos métodos de trabalho internos. A identificação do BIM como um dos principais vetores a explorar surge no âmbito do trabalho desenvolvido pela CMIC e consolida-se com o aparecimento da primeira oportunidade para o desenvolvimento de um modelo BIM. Este primeiro contacto com o BIM consistiu na modelação de uma ETAR, infraestrutura existente, com vista à criação de um repositório digital da informação do respetivo projeto (Figura 1).



Figura 1: Sobreposição do modelo da ETAR e da respetiva nuvem de pontos.

No sentido de acompanhar uma tendência cada vez mais presente e de dar resposta a solicitações concretas como o caso da ETAR, foi contratado um colaborador com vários anos

de experiência no desenvolvimento de projetos em BIM. Paralelamente, alguns membros da equipa frequentaram ações de formação nesta área.

Com o desenvolvimento do primeiro projeto BIM, ficou claro que uma implementação estruturada e transversal a vários departamentos da CENOR só seria possível mediante um esforço organizativo alicerçado num conhecimento profundo da metodologia BIM. Para tal seria necessário mobilizar colaboradores cuja dispensa dos projetos aos quais se encontravam alocados não era possível. Assim, a CENOR decidiu recorrer a uma empresa consultora especializada para desenvolver e pôr em prática uma estratégia de implementação da metodologia BIM. A bimTEC foi a empresa escolhida para o efeito.

3. Descrição do processo de implementação

A estratégia de implementação (Figura 2) desenvolveu-se segundo as seguintes quatro vertentes principais:

1. Planeamento estratégico: Que consistiu na realização de um diagnóstico à empresa para identificar o nível BIM e definir os principais vetores de desenvolvimento da estratégia de implementação;
2. Formação: Modular por especialidade e por nível de complexidade;
3. Projeto-piloto: No qual foram aplicados os conceitos adquiridos por via da formação;
4. Integração da infraestrutura: Onde foram formalizados processos e ferramentas de apoio à aplicação da metodologia BIM.

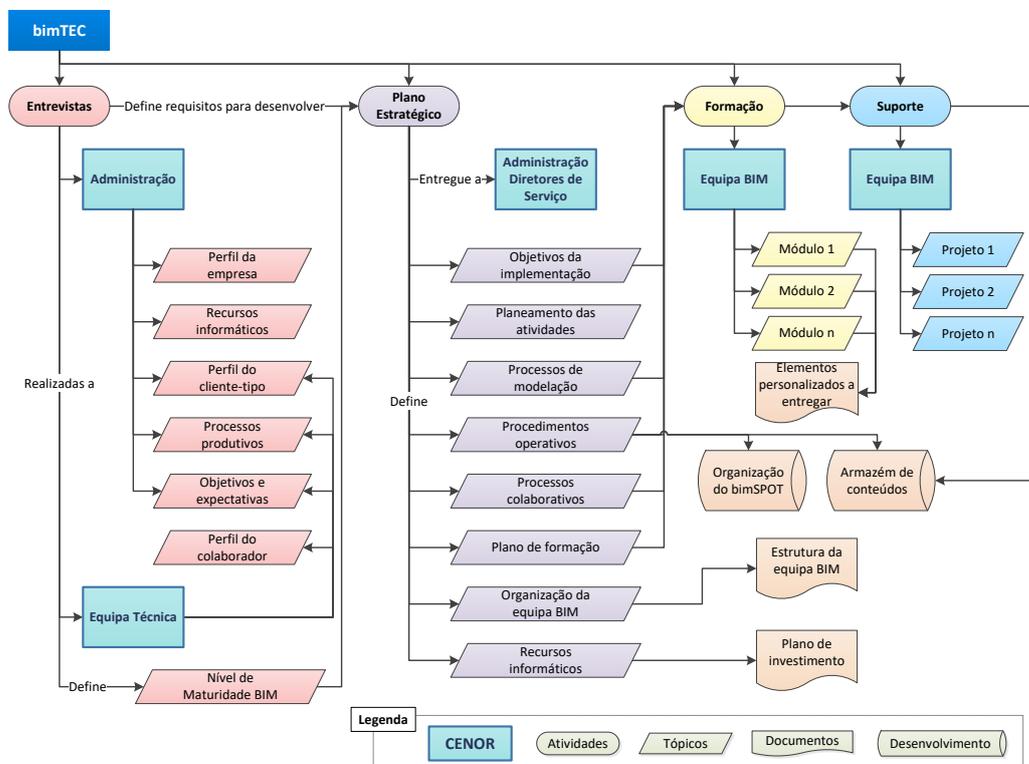


Figura 2: Diagrama do processo de implementação proposto.

3.1 Planeamento estratégico

A primeira etapa do processo de implementação, o planeamento estratégico, desenvolve-se com base num diagnóstico realizado internamente com o objetivo principal de identificar o nível BIM da CENOR e os processos em que a metodologia BIM seria mais facilmente implementada e/ou que retornaria maiores benefícios. No relatório do planeamento estratégico foram identificadas as conclusões do diagnóstico realizado e foi formalizada a estratégia a adotar na implementação, incluindo a composição e caracterização da equipa que veio a liderar a integração do BIM na empresa. O esboço da equipa BIM teve em conta aspetos como o perfil tecnológico dos membros e as dinâmicas de trabalho expectáveis em regime de produção [6]. Esta equipa foi o foco das atividades contempladas no processo de implementação.

A discussão do relatório estratégico foi uma das etapas mais importantes do início da implementação na medida em que foi quando o plano de ação foi formalizado com base na calendarização das atividades e nos recursos disponíveis. Alguns aspetos como a constituição da equipa BIM ou os objetivos traçados para a implementação foram ligeiramente alterados em virtude dos recursos mobilizáveis internamente. Manter os níveis de produção num patamar aceitável é um dos principais requisitos da implementação de processos transformativos na maioria das empresas. A CENOR não foi exceção pelo que, a flexibilização da estratégia foi um aspeto essencial na abordagem à implementação do BIM.

3.2 Formação

A segunda etapa do processo de implementação passa pela formação dos membros da equipa BIM.

A formação foi desenvolvida de forma modular, por especialidade e por nível de complexidade. As primeiras ações de formação tiveram como objetivo o desenvolvimento de competências básicas de modelação em colaboradores sem contacto prévio com aplicações BIM. A consolidação das competências foi concretizada, numa primeira fase, com o desenvolvimento do projeto-piloto e, posteriormente, com uma segunda vaga de ações de formação focadas em cada uma das especialidades de projeto existentes na CENOR, incluindo ainda formação de carácter geral, focada na definição de processos e de metodologias aplicáveis ao desenvolvimento de projeto BIM.

O início do projeto-piloto após os módulos de introdução à modelação BIM resultou da vontade de testar as metodologias BIM e CAD em paralelo num mesmo projeto, o que obrigou a uma reestruturação do plano de formação inicialmente previsto. Alguns dos métodos e processos abordados nos módulos de modelação avançada ministrados após o projeto-piloto teriam sido úteis durante a criação do modelo, no entanto, a antecipação do projeto-piloto teve a vantagem de permitir que a equipa frequentasse os módulos avançados já com os conhecimentos básicos bastante consolidados.

3.3 Projeto-piloto

A escolha do projeto-piloto recaiu sobre o projeto de uma estação de metro. A generalidade das aplicações de modelação BIM encontra-se otimizada para a modelação de edifícios regulares e não de edifícios de infraestruturas enterradas como uma estação de metro, pelo que uma estrutura mais regular não implicaria desafios da mesma ordem. A opção por um projeto desta

envergadura e complexidade justifica-se pelo facto de se tratar de um projeto típico da CENOR tornando-se, por este motivo, de primordial importância a identificação dos desafios associados ao desenvolvimento deste tipo de projeto o mais cedo possível. O facto de a componente geotécnica ser preponderante no projeto da estação foi outro fator que contribuiu para a sua escolha enquanto projeto-piloto, na medida em que o serviço de geotecnia da CENOR, e apesar das ferramentas BIM não estarem ainda muito desenvolvidas nesta área, era um dos sectores que maior interesse mostrou na implementação.

O projeto contemplou, essencialmente, duas especialidades (Figura 3): geotecnia e estruturas. A primeira incluiu a modelação do terreno e o faseamento construtivo associado ao movimento de terras, e a modelação das paredes moldadas e a respetiva estrutura temporária de escoramento. A segunda incluiu a modelação de toda a estrutura de betão armado, com exceção da modelação de armaduras. A modelação das redes e instalações não foi contemplada para este projeto.

Inicialmente, os objetivos do projeto-piloto passavam pela mobilização formal da equipa BIM, pela consolidação dos conhecimentos adquiridos na formação, pelo teste de diversas metodologias de modelação e pelo suporte à criação e validação do *template Revit* (um dos *softwares* adotados). Com o evoluir do projeto, a preparação do modelo numa perspetiva 4D com vista à criação de uma simulação animada do faseamento construtivo da obra foi também estabelecida como um dos principais objetivos do projeto-piloto. Sendo o processo de implementação focado essencialmente no desenvolvimento e produção de projetos utilizando metodologias BIM, a componente 4D assume uma grande relevância na promoção interna e externa do projeto BIM. Em empresas da dimensão da CENOR com estruturas organizadas por núcleos/áreas de atividade, a promoção interna é particularmente importante na disseminação de novos métodos de trabalho.



Figura 3: Modelos desenvolvidos no âmbito do projeto-piloto. Da esquerda para a direita: modelo de coordenação, modelo da geotecnia, modelo de estruturas.

3.4 Integração da infraestrutura BIM

A utilização eficaz de uma metodologia BIM obriga à preparação de uma infraestrutura que suporte o desenvolvimento, utilização e gestão dos modelos. A infraestrutura abrange aspetos concretos como a preparação de toda a componente informática, a nível de *software* e *hardware*,

a preparação de *templates* e de normas de classificação e codificação de elementos; por outro lado, enquadram-se igualmente no domínio da preparação da infraestrutura a definição de processos de trabalho colaborativos. Com a conclusão do projeto-piloto e a identificação dos *workflows* mais relevantes e passíveis de serem utilizados na generalidade dos projetos a desenvolver futuramente, foram formalizados os vários aspetos processuais da infraestrutura BIM em conformidade.

Uma das mais importantes ferramentas da infraestrutura é a plataforma para consulta e partilha de conhecimento que agrega os vários documentos e *workflows* que compõem a metodologia BIM, tendo uma plataforma tipo “Wiki” sido escolhida para o efeito.

4. Análise de resultados

4.1 Benefícios diretos

Do processo de implementação e em particular da experiência retirada do desenvolvimento do projeto-piloto, foi possível confirmar vários dos benefícios diretos expectáveis com a utilização da metodologia BIM, nomeadamente:

- Detecção de erros e incompatibilidades de projeto em fase adiantada do processo de modelação, sendo frequente a sua identificação como consequência do próprio processo de modelação que, por obrigar a uma caracterização geométrica mais completa do edifício, resulta habitualmente num maior rigor de representação que faz sobressair erros e incompatibilidades;
- Criação de desenhos coerentes de forma sistemática e capacidade de complementar as peças desenhadas “tradicionais” com vistas tridimensionais do modelo que ajudam consideravelmente na comunicação do projeto;
- Extração automática de quantidades do modelo de forma expedita, permitindo reduzir o tempo de medição do projeto e obter valores sempre consistentes com a geometria modelada;
- Introduzir alterações ao projeto e retirar quantidades e desenhos atualizados sem grande esforço adicional;
- Aproveitar o modelo de projeto para explorar funcionalidades complementares como a produção de *renders* ou a simulação animada do faseamento construtivo;
- Utilizar o modelo como ferramenta de comunicação e promoção, interna e externamente, dos projetos desenvolvidos.

4.2 Desafios

Apesar de expectáveis, os desafios sentidos ao longo do processo de implementação e em particular do desenvolvimento do projeto-piloto acabaram por se revelar incontornáveis, sendo os seguintes os mais relevantes:

- Conciliar a formação (participação nas ações de formação e no desenvolvimento do projeto-piloto) com a necessidade de dar resposta aos projetos em curso; a produção não pode ser completamente interrompida, o que obriga a um compromisso entre as duas atividades;

- Consolidar competências de modelação é algo moroso e que apenas evolui com a utilização contínua de ferramentas e processos;
- Os *workflows* BIM encontram-se em constante atualização por força da evolução das ferramentas de modelação e do tipo de solicitação, o que obriga a um acompanhamento constante das alterações aos métodos e processos por parte dos utilizadores.

4.3 Pós projeto-piloto

Imediatamente após o desenvolvimento do projeto-piloto a CENOR deu início a dois outros projetos BIM, designadamente: o projeto de uma estação elevatória de água e de uma segunda estação de metro. Relativamente ao primeiro, o objetivo principal passava pela produção de desenhos para fabrico apoiados em isometrias com elevado nível de detalhe (geométrico e informativo). Neste projeto foi possível integrar duas vertentes menos exploradas no projeto-piloto, nomeadamente, a componente do desenvolvimento de modelos de redes (MEP) e a componente de trabalho em simultâneo no mesmo modelo (“Worksharing”). O projeto da segunda estação permitiu a aplicação dos princípios do projeto-piloto, mas de forma mais linear e consistente, bem como o desenvolvimento de novas metodologias e *workflows*.

Existem alguns indicadores que permitem analisar a evolução da implementação da metodologia BIM sob diferentes perspetivas. Relativamente à comparação entre tempo de produção do projeto segundo a abordagem tradicional baseada em desenhos isolados, frequentemente denominada de metodologia CAD, e a abordagem a implementar, metodologia BIM, houve uma diferença muito ligeira de 2% a favor da última. Note-se contudo, que a bimTEC acompanhou o trabalho, colmatando a inexperiência da equipa. É expectável que a equipa BIM da CENOR venha a necessitar de cada vez menos apoio e tempo para desenvolver o projeto BIM.

Após a implementação, foi possível constatar, a nível de recursos dedicados ao BIM, uma consolidação da equipa BIM e um fluxo constante de novos projetos BIM. O nível de complexidade e de pormenorização dos projetos tem também vindo a aumentar como consequência da maior destreza adquirida por parte dos modeladores e da diminuição de receios sobre a metodologia BIM, em virtude das provas dadas.

A nível de funcionamento da equipa de modelação, tem-se registado um decréscimo gradual de necessidade de apoio à modelação corrente por parte do BIM Manager da CENOR, que se vem dedicando mais à supervisão e gestão dos modelos. É expectável que a tendência se mantenha à medida que a equipa ganhe experiência, destreza e autonomia de modelação.

Além dos *workflows* básicos formalizados, existem já novos processos avançados de trabalho em desenvolvimento pela equipa BIM, pelo que a estrutura atual já permite a formalização e integração de novos *workflows* avançados.

5. Generalização das práticas

As características próprias de cada empresa não permitem que um processo de implementação seja completamente replicado em diferentes organizações, no entanto, existe um conjunto de procedimentos que podem ser generalizados e aplicados transversalmente com apenas pequenos ajustes.

5.1 Planeamento estratégico

Existem dois aspetos estratégicos fundamentais a considerar: a definição do principal objetivo da implementação e a definição da equipa BIM.

Estabelecer corretamente o objetivo para a implementação é o que permitirá desenvolver uma metodologia e uma infraestrutura BIM à medida da empresa/organização/equipa. A definição da equipa, por outro lado, condicionará decisivamente a otimização dos recursos necessários a mobilizar para a implementação e posteriormente para a operacionalização da metodologia BIM.

O objetivo da implementação deriva da identificação da motivação para a implementação e da definição do principal domínio de reestruturação de *workflows*. A definição da equipa BIM resulta da identificação dos colaboradores mais compatíveis com a forma de trabalhar segundo a metodologia BIM, seja por experiência, vocação ou ambos, e da disponibilidade de alocação às atividades de formação.

5.2 Formação

Abordar a formação de forma intensiva e contínua tem a vantagem de permitir expor as equipas a uma gama alargada de funcionalidades e técnicas de modelação desde o início do processo de aprendizagem, o que tende a estimular o interesse e o entusiasmo pelos novos métodos de trabalho, no entanto, a consolidação dos princípios básicos é muito importante para garantir destreza na utilização das funcionalidades mais avançadas das ferramentas; este tipo de conhecimento é habitualmente obtido por via da utilização repetida, isto é, com a experiência e utilização diária. Por norma, o fator decisivo para intercalar ou não os módulos de formação reside na articulação com o restante calendário de atividades relacionadas com a implementação e com a produção.

5.3 Projeto-piloto

O grande objetivo do projeto-piloto passa pela aquisição de competências de modelação, especialmente em equipas cujos colaboradores se encontrem a dar os primeiros passos na modelação BIM. Dominar a capacidade de modelar significa ganhar um nível de destreza e autonomia que permita abordar qualquer tipo de projeto. Só com as competências de modelação consolidadas se poderá passar para a aplicação de *workflows* mais avançados.

5.4 Metodologia BIM

A metodologia BIM define um conjunto de métodos, processos e regras para abordar o desenvolvimento de projetos BIM de forma célere, consistente e uniforme. As regras de nomenclatura transversais aos vários projetos, independentemente da especialidade, são particularmente importantes para minimizar a entropia que se gera ao trabalhar com modelos

cada vez mais complexos. Os *workflows* que surgem no âmbito de determinado projeto devem sempre ser formalizados de modo a poderem ser reutilizados ou evoluídos em projetos futuros.

6. Conclusões

A CENOR deu início à implementação formal da metodologia BIM no seu Departamento de Estudos e Projetos. Os primeiros resultados mostram, por um lado, os benefícios de utilizar a metodologia, quer a nível de tempo de desenvolvimento de projeto como do tipo de informação e esquemas adicionais que é possível obter sem grande esforço adicional.

A definição da estratégia de implementação deve obrigatoriamente ter em conta a mobilização dos recursos internos alocados às atividades de produção de modo a conciliar com as atividades da implementação. A formação BIM, incluindo as atividades de formação e o desenvolvimento do projeto-piloto, deve ter como objetivo principal desenvolver na equipa níveis de destreza e autonomia que lhes permita fazer face à generalidade dos desafios básicos de produção de qualquer tipo de projeto BIM.

A proliferação interna do BIM e a sua utilização em diferentes áreas do projeto são os objetivos mais prementes estabelecidos pela CENOR para o desenvolvimento interno da implementação do BIM a curto-prazo.

Referências

- [1] NBS, International BIM Report 2016, England: NBS, 2016.
- [2] SmartMarket Report, Measuring the Impact of BIM on Complex Buildings, USA: Dodge Data & Analytics, 2015.
- [3] P. Carvalho, Avaliação do estado de implementação da tecnologia BIM no setor da construção em Portugal, Porto: FEUP, 2016.
- [4] David Miller, BIM Mobilisation to Implementation - an SME Perspective, England: BIM Task Group, 2013.
- [5] G. Lea, Investigating the 'triple bottom line': CAD vs BIM, Preston, UK: Department of the Built and Natural Environment, University of Central Lancashire, 2011.
- [6] J. Joseph, BIM Titles and Job Descriptions: How Do They Fit in Your Organizational Structure?, BIM/CAD/Technologies: Autodesk University 2011, 2011.
- [7] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors, Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.

O QUE HÁ DE BIM EM NOZ

Ana Silva ⁽¹⁾, Daniela Silva ⁽¹⁾, Flávio Silva ⁽¹⁾, Rui Dias ⁽¹⁾

(1) NOZ Arquitectura, Lisboa

Resumo

A NOZ é um estúdio de arquitetura sediado em Lisboa desenvolvendo projetos para Portugal e Reino Unido.

O BIM é parte integrante de todos os projetos desenvolvidos na NOZ, desde o conceito até à construção.

Só através da implementação de modelos BIM é possível responder de forma rápida, eficaz e assertiva, atendendo às necessidades de colaboração e interação à distância, e à grande exigência e complexidade dos projetos que desenvolvemos.

Para a conferência PT BIM, a NOZ propõe-se a partilhar a sua experiência, utilizando como exemplo o desenvolvimento dos projetos Dylan Site Redevelopment, para 250 apartamentos, em Londres, e a obra de reconversão do The Courtyard Theatre, em Stratford-upon-Avon.

Ambos os projetos foram inteiramente desenvolvidos em ambiente BIM, desde a sua fase inicial com a elaboração de diversos estudos de massas e áreas até à fase final de execução e construção, sempre tirando partido dos diversos recursos que as ferramentas proporcionam no desenvolvimento do processo criativo, nomeadamente ao nível de '*scheduling*', '*design options*', faseamento, '*report*', '*clash detection*' e visualização.

This is how we BIM. How do you BIM?

1. Introdução

"Deus quer, O Homem sonha, a Obra nasce." Em 'Mensagem – Mar Português' de Fernando Pessoa.

A necessidade de cumprimento de um objetivo implica sempre a determinação de um conjunto de passos necessários à sua concretização. A existência de um plano, contribui antecipadamente para o sucesso de uma determinada tarefa ou conjunto de tarefas, tentando antecipar os eventuais riscos ou identificar oportunidades na sua prossecução. Define uma estratégia. Um projeto.

Na construção, bem como nas ciências ou negócios, um plano ou estratégia, têm um carácter de projeto, do latim *projectum* ou 'antes da ação'.

Ao longo da história, e à medida que os objetivos se tornaram mais complexos e ambiciosos, a necessidade de planificar, antevendo potenciais riscos e reduzindo o erro, implicaram também projetos cada vez mais complexos e completos, envolvendo estudos adicionais e pesquisa de soluções. A indústria da construção ilustra de forma clara a evolução do projeto, bastando para tal comparar um projeto atual, com um projeto de à 100 anos.

Durante este tempo, a forma de produção de projeto foi também sofrendo alterações, fruto da evolução tecnológica e da introdução dos computadores, com enormes ganhos de produtividade.

2. *Modelling. Information. Building.*

2.1 *Modelling*

A introdução do computador, e no caso o desenho assistido por computador (CAD), não se traduziu numa efetiva mudança de paradigma. O desenhador deixou de desenhar num estirador, passando a desenhar num monitor. Evidentemente que os ganhos de produtividade foram vários, abrindo-se novas oportunidades, criando-se e explorando novas ferramentas. Tornou-se banal ilustrar um edifício por meio de representações tridimensionais, e efeitos foto-realistas. Não obstante, e apesar da evolução, o paradigma manteve-se, e a sua origem continua a ser traçada ao estirador. Uma linha mantém-se uma linha. Mesmo tratando-se de uma representação tridimensional, mesmo sendo possível a parametrização das linhas e das superfícies geradas pelo conjunto de linhas, a informação contida num determinado desenho ou modelo baseia-se ainda na linha.

O conceito BIM altera este paradigma de uma forma que a introdução do CAD não permitia. Deixámos de tratar de representações geométricas, e passámos a lidar com bases de dados. Uma linha não é mais apenas uma linha. É um objeto específico, com características físicas precisas. Uma linha, passa a ser, por exemplo, uma parede, com uma determinada espessura, altura, material, cor. E porque uma 'linha' é agora um objeto que reside num espaço e tem uma relação tridimensional, e não apenas bidimensional, a ação base de projeto consiste na modelação.

Habilidade que aprendemos com o CAD, e que será provavelmente uma das últimas evoluções desse paradigma.

Num ambiente BIM, um desenho, é apenas uma das formas de inquirir a base de dados em que o projeto agora se transforma.

As ferramentas BIM acrescentam um novo nível de caracterização das superfícies geradas, sendo estas apenas um suporte aos vários elementos construtivos. Elementos estes que correspondem na realidade a elementos de construção existentes, com determinadas características físicas específicas. Sendo assim, a modelação de uma determinada superfície, permite gerar uma peça de mobiliário, ou uma parede, ou toda a envolvente de um edifício. Porém, tratando-se de uma base de dados, é possível adicionar parâmetros aos elementos obtidos através das superfícies modeladas, permitindo a alteração destes a partir da introdução de dados numéricos, sem necessidade de desenho adicional, ou obter do modelo dados que sejam pertinentes à produção de relatórios, nomeadamente áreas, volumetrias, quantidades, entre outros.

A mudança de um paradigma de representação para um paradigma de modelação, torna o projeto mais próximo da realidade, algo efetivamente também possível num ambiente CAD, mas que o paradigma BIM permite expandir para outras possibilidades. Tendo desde logo uma visualização tridimensional do modelo, é possível antever a obra, no processo normal de desenvolvimento do trabalho, sem necessidade de ferramentas ou processos adicionais.

A Figura 1 mostra a modelação de uma peça de mobiliário, de forma não dissimilar da modelação em CAD. No entanto, em BIM, é possível definir as funções desse objeto, nomeadamente que, ao ser colocado num modelo, apenas será possível colocá-lo sobre um pavimento (chão) e passará a constar do mapa de quantidades, especificamente como peça de mobiliário com indicação automática do compartimento em que foi colocado.

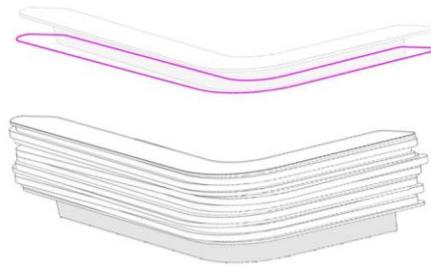
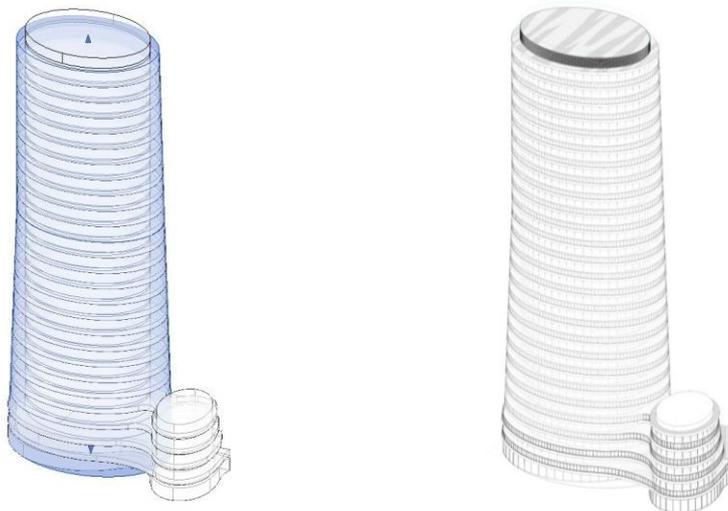


Figura 1: Fases de modelação de uma peça de mobiliário para PUMP FITNESS SPIRIT.
© NOZ Arquitetura.



Figura 2: Foto do balcão de atendimento no ginásio PUMP FITNESS SPIRIT em Alvalade, Lisboa. Foto por FG+SG. © NOZ Arquitetura.

As figuras 3 e 4 mostram a modelação de um edifício de escritórios no centro de Londres. Os estudos iniciais envolveram a modelação de um conjunto de superfícies geratrizes de diferentes elementos das fachadas em ‘cortina’, extensão das varandas e inclinação das guardas. A alteração das superfícies geratrizes atualiza automaticamente os diferentes elementos construtivos associados, com possibilidade de atualizar também, tabelas de área, estimativas de custos, entre outros.



Figuras 3 e 4: Modelação de superfícies e aplicação de fachada de ‘cortina’ para um estudo de uma torre em Londres, Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

A figura 5 mostra o modelo completo do projeto de Remodelação e Ampliação da Escola da Murteira. Porquanto o modelo de arquitetura esteja totalmente modelado, estão ainda omissos elementos de especialidade e outras informações referentes às características físicas dos

materiais e o seu comportamento. Não obstante, o modelo permite já um elevado grau de coordenação e verificação, reduzindo a possibilidade de erros e omissões em fase de projeto.

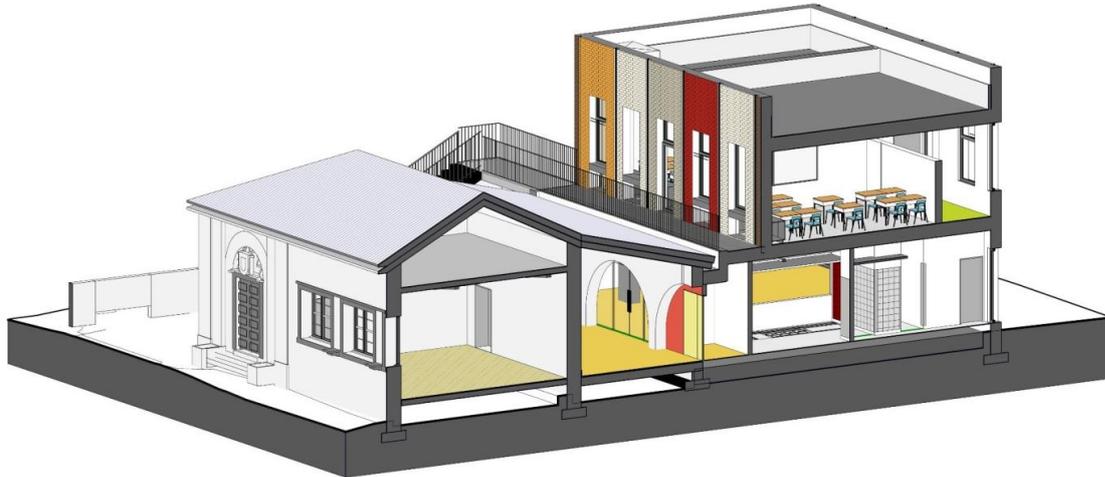


Figura 5: Modelo básico do projeto para a Remodelação e Ampliação da Escola da Murteira. © NOZ Arquitetura.

2.2 Information

No entanto, e porque se trata de uma base de dados, relativamente aberta, com uma capacidade de compilação e agregação de informação virtualmente infinita, uma linha, além de ter um registo tridimensional, pode agregar ainda mais informação. A linha anteriormente traçada num estirador, e mais tarde traçada num ecrã, tem agora determinadas características espaciais e também, características físicas. Se for uma parede, uma ‘linha’ será composta por várias camadas, com indicação de materiais com características físicas específicas como de resistência térmica, transparência, refletância, acústica, entre outros. Similarmente, a informação contida em determinada ‘linha’, será distinta se for um cabo de telecomunicações ou uma conduta de ventilação, ou seja, as linhas traçadas no ecrã podem agora corresponder de forma muito específica e completa a elementos e componentes de construção que existem na realidade, que estão modelados espacialmente, e contextualizados num determinado espaço ou modelo. Se um objeto está modelado e ‘informado’ que só pode ser colocado numa parede, apenas será permitida a sua colocação numa parede, ficando na dependência desta. Se a parede mover, o objeto moverá com a parede. Se porventura a parede desaparecer, o objeto também desaparecer. O nível de antecipação e capacidade de coordenação e eliminação de erro de manuseamento de um projeto aumentou significativamente. A consequência é que alguns erros de manuseamento têm a possibilidade de propagação catastrófica num modelo se não estiverem devidamente implementados mecanismos de controlo.

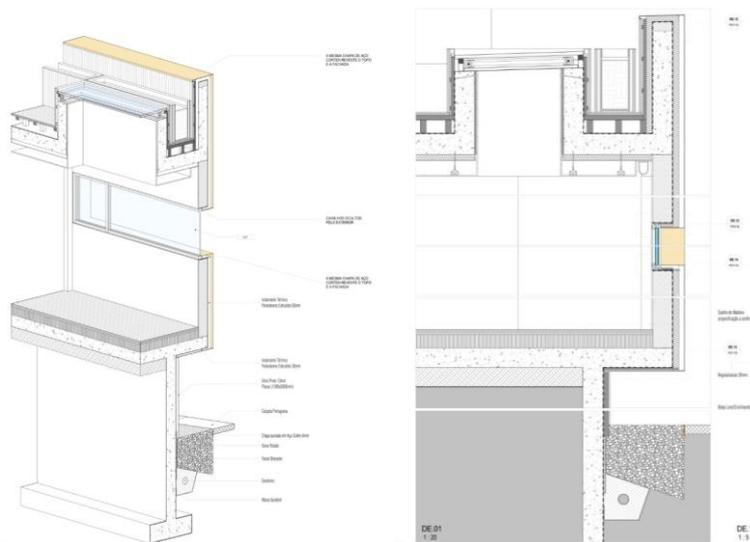
As ferramentas BIM apresentam um conjunto de famílias e objetos que contêm inicialmente um conjunto básico de informação. É com estes objetos – paredes, portas, janelas – que se iniciam os primeiros passos dum ambiente BIM.

Porque se trata de uma base de dados, é possível complementar e adicionar aos elementos do modelo informações como custo, função, acabamento, designação, entre outros, enriquecendo o modelo de uma forma que permite um cruzamento de dados cada vez mais completo e complexo.

Por outro lado, a colocação num espaço tridimensional gera uma relação espacial entre estes, permitindo a extração de um conjunto de informações adicionais. Extrair quantidades, áreas, filtrando por função, cor, ocupação ou qualquer outro parâmetro que tenha sido introduzido no modelo, estabelecendo relações e rácios, por exemplo, a relação de áreas úteis por áreas brutas, a relação entre ocupantes e número de lugares de estacionamento necessários, o pré-dimensionamento de percursos de fuga baseado em níveis de ocupação, etc., passam a ser ferramentas importantes de decisão e comunicação do projeto com as várias partes interessadas, em particular com os clientes.

A inquirição do modelo – a base de dados - permite agora a extração de informação cada vez mais completa e complexa, muito para além da extração de desenhos necessários à sua construção.

As figuras 6 e 7 mostram um corte de fachada com indicação dos vários elementos constituintes de uma parede ou de uma laje. A legendagem do desenho é obtida automaticamente com a introdução prévia da informação no modelo. Desta forma garante-se um elevado nível de consistência entre as várias peças do projeto.



Figuras 6 e 7: Cortes de fachada axonométrico e planificado de uma moradia.
© NOZ Arquitetura.

As figuras 8 a 11 mostram um conjunto de informação extraída de um modelo para um edifício habitacional, como nº de unidades, relação de tipologias, e respetivas ocupações. Estas informações base permitem estimar requisitos paralelos para um edifício do género como o nº de lugares de estacionamento necessários (automóveis e bicicletas), área para armazenamento de resíduos ou áreas técnicas. Estas informações podem ser extraídas ainda antes de existir uma ideia de arquitetura, permitindo influenciar e informar o próprio processo de desenho,

contribuindo para que os objetivos iniciais são cumpridos com menores margens de tolerância e consequentemente com menores custos.

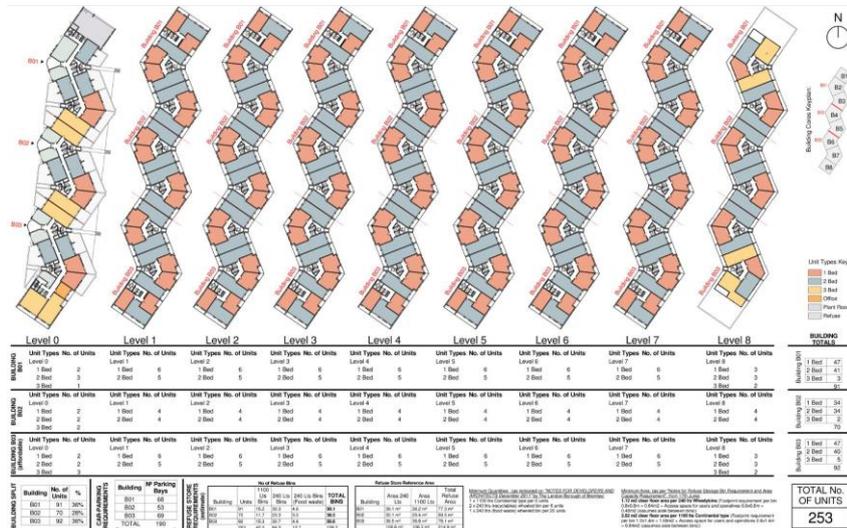


Figura 8: Mapa de unidades tipo, e requisitos para a definição do nº de estacionamento e área para armazenamento de lixos. Zig-Zag House em Londres. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

Building	No of Refuse Bins				Refuse Store Reference Area			Minimum Quantities (as indicated on 'NOTES FOR DEVELOPERS AND SPECIFICATIONS' December 2011 by The London Borough of Bromley)	Minimum Area (as per 'Notes for Refuse Storage Bin Requirement and Area Capacity Requirements' from 17th June)
	Units	1100 Lts Bins	240 Lts Bins	240 Lts Bins (Food waste)	Building	Area 240 Lts	Total Refuse Area		
B01	91	15.2	30.3	4.6	B01	39.1 m ²	38.2 m ²	77.3 m ²	1.12 m ² clear floor area per 240 lts Wheelybins (Footprint requirement per bin 0.8x0.8m = 0.64m ² + Access space for users and operatives 0.6x0.8m = 0.48m ² assumes aisle between bins)
B02	70	11.7	23.3	3.5	B02	30.1 m ²	29.4 m ²	59.5 m ²	2.52 m ² clear floor area per 1100 lts Continental type (Footprint requirement per bin 1.2x1.4m = 1.68m ² + Access space for users and operatives 0.6x1.4m = 0.84m ² assumes aisle between bins)
B03	92	15.3	30.7	4.6	B03	39.5 m ²	38.9 m ²	78.4 m ²	
TOTAL	253	42.2	84.3	12.7		108.6 m²	106.3 m²	214.9 m²	

Figura 9: Extrato da figura 8, referente aos requisitos para o dimensionamento da área para armazenamento de lixo. Zig-Zag House em Londres. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

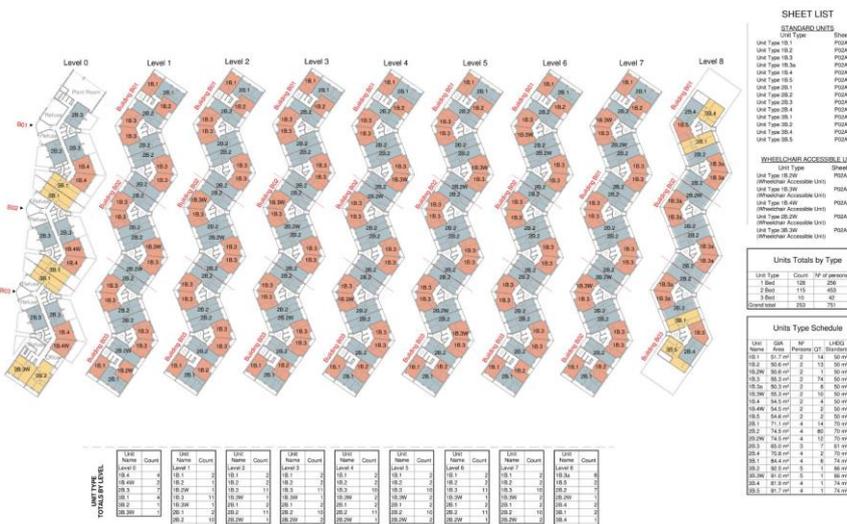


Figura 10: Mapa Unidades tipo, com tabela de áreas interiores brutas, ocupação e desvio ao padrão de áreas mínimas estipuladas no *London Housing Design Guide*. Zig-Zag House em Londres. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

Units Type Schedule

Unit Name	GIA Area	Nº Persons	QT.	LHDG Standard	Area variat.
1B.1	51.7 m ²	2	14	50 m ²	3.3%
1B.2	50.6 m ²	2	13	50 m ²	1.2%
1B.2W	50.6 m ²	2	1	50 m ²	1.2%
1B.3	55.3 m ²	2	74	50 m ²	10.6%
1B.3a	50.3 m ²	2	8	50 m ²	0.6%
1B.3W	55.3 m ²	2	10	50 m ²	10.6%
1B.4	54.5 m ²	2	4	50 m ²	9.0%
1B.4W	54.5 m ²	2	2	50 m ²	9.0%
1B.5	54.6 m ²	2	2	50 m ²	9.2%
2B.1	71.1 m ²	4	14	70 m ²	1.5%
2B.2	74.5 m ²	4	80	70 m ²	6.4%
2B.2W	74.5 m ²	4	12	70 m ²	6.4%
2B.3	65.0 m ²	3	7	61 m ²	6.5%
2B.4	70.8 m ²	4	2	70 m ²	1.1%
3B.1	84.4 m ²	4	6	74 m ²	14.0%
3B.2	92.5 m ²	5	1	86 m ²	7.6%
3B.3W	91.0 m ²	5	1	86 m ²	5.8%
3B.4	81.9 m ²	4	1	74 m ²	10.7%
3B.5	91.7 m ²	4	1	74 m ²	24.0%

Figura 11: Extrato da figura 10 referente à tabela de áreas interiores brutas, ocupação e desvio ao padrão de áreas mínimas estipuladas no *London Housing Design Guide*. Zig-Zag House em Londres. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

2.3 Building

Uma maior densidade de modelação, e a introdução de cada vez maiores quantidades de informação, permitem a inquirição sobre muitos aspetos do edifício, e sobre aspetos muito específicos. A integração de modelos de diferentes especialidades permite uma coordenação cada vez mais fina, minimizando riscos e erros.

O modelo fica apto para um conjunto de simulações ao nível do comportamento físico – estrutural, térmico, acústico – e consoante o nível de detalhe, pode ser possível a exportação direta de elementos para fabricação. O nível adequado de informação, ao nível de especificações técnicas e informação comercial de determinados materiais, possibilita a extração e compilação de cadernos de encargos através do cruzamento de bases tipificadas de cadernos de encargos como o *National Building Standards* britânicos.

Evidentemente, que há um custo-benefício a considerar, sendo que a modelação à exaustão deixará, em certo ponto, de corresponder a um ganho prático de eficiência, pelo que deverá ser analisado caso-a-caso, consoante a complexidade do projeto e acompanhamento pretendido durante o período de vida pós-obra.

As figuras 12 e 13 mostram modelos de trabalho do teatro The Other Place, com definição das várias camadas constituintes dos diferentes elementos construtivos e integração dos modelos de estruturas e instalações mecânicas. A execução integrada dos modelos de arquitetura e especialidades permite, com os procedimentos de controlo adequados, prever possíveis situações de conflito, com uma margem de erro reduzida. A execução do modelo de serviços sobre o modelo de arquitetura, com informação de função e ocupação dos diversos compartimentos, ou a existência de equipamentos especiais, como portas assistidas (figura 14), permite informar, no modelo, as premissas e requisitos base para o desenvolvimento dos projetos de especialidades.



Figura 12: Visualização seccionada do teatro The Other Place, com integração do modelo de estruturas. Em Stratford-upon-Avon, Reino Unido. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

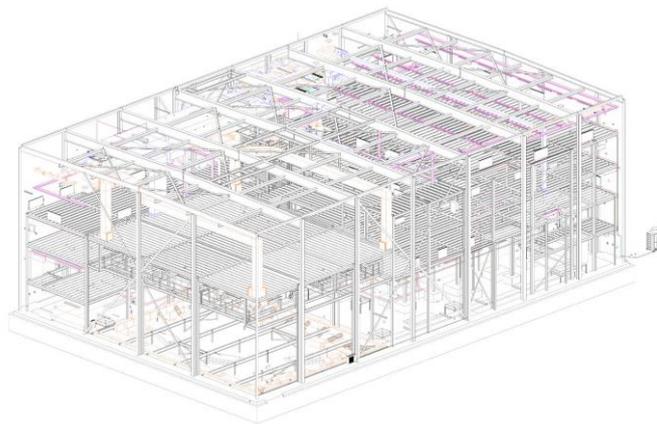


Figura 13: Visualização integrada dos modelos de especialidades de estruturas, instalações mecânicas do teatro The Other Place, em Stratford-upon-Avon, Reino Unido. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.

Level 2 to 4 - Door Information																			
Door No.	Location Room / Access to room	Location Room / Access from room	Function	Door Functionality Statement	Phasing	Door Type	Construction Type	Height (SO)	Width (S.O.)	Clear Opening Width	Clear Opening Height	Number of Leaves	Vision Panel	Architrave on hinge side	Architrave on opposite side	Fire Rating	Acoustical rating	Spec. Ref.	Door Drawing No.
Level 3 - Rehearsal Room																			
D103.S.01	Circulation	Rehearsal Room 2	Interior	Internal double door from RR2 to RR2 acoustic lobby, means of escape from RR2, access/egress for staffactors, D handle with push plate.	New	Type A6	Timber	2100	2200	1800		Double	yes	No	No	no rating	37dB	L20221	IRAL-32-DT-01
D103.S.02	Rehearsal Room 2 Storage	Rehearsal Room 2	Interior	D10 Internal double door for storage room access inside RR2, access for staffactors, mechanical lock key operated, finger pull lock.	New	Type K	Timber	2400	--	--		Double	no	No	No	no rating	no rating	L20222	IRAL-32-DT-01
D103.S.03	Rehearsal Room 2	SE Fire Escape Lobby	Interior	Internal double fire door from RR2 to SE fire escape lobby, means of escape from RR2, access/egress for staffactors, D handle with push plate, means of escape from RR2, access/egress for staffactors, D handle with push plate.	New	Type A5	Timber	2100	2200	1800		Double	yes	No	No	60 mins.	37dB	L20204	IRAL-32-DT-01

Ironmongery / Controls													
Ironmongery Set	Access Control on pull side	Access Control on push side	Hold Open	Power Assisted	Air Vent Grill / undercut	Door Contact	Door Statutory Signage	Thermal Insulation	Earthing Required	Building Regulation Compliance	Algorot Ref. - For Historic Info only	Special Requirements / Notes	Door No.
D4g			No	n/a	n/a	No	"Fire Door Keep Shut" sign			BM	10		D103.S.01
T2				n/a	n/a	None					18	Please see IRAL-28-80-10 for door sizes.	D103.S.02
D4b			No	n/a	n/a	No	"Fire Door Keep Shut" sign			BM	10		D103.S.03

Figura 14: Extrato do mapa de portas do teatro The Other Place, em Stratford-upon-Avon, Reino Unido. Ian Ritchie Architects Ltd. © Ian Ritchie Architects Ltd.



Figura 15: Foto do auditório do teatro The Other Place, em Stratford-upon-Avon, Reino Unido. Ian Ritchie Architects Ltd. © Rui Dias.

3. *Building Information Modelling. And Management.*

Da mesma forma que o aparecimento do CAD permitiu a evolução da representação planificada para uma situação de modelação, também o BIM evoluirá permitindo o surgimento de novas soluções alicerçadas nas ferramentas BIM. A gestão de património e instalações é o passo natural para a evolução do BIM. Um modelo devidamente estruturado e suficientemente completo, incluirá informação relevante em quantidade suficiente para a gestão e manutenção de instalações.

A existência do modelo como o reflexo de uma base de dados, que é agora o nosso projeto de edifício, abre a possibilidade de cruzamento ou exportação para outras bases de dados, específicas à gestão de instalações na sua vertente técnica e económica.

Com a progressiva implementação da 'internet das coisas', é possível conceber um sistema de 'report' à base de dados do edifício, indicando com precisão os equipamentos que carecem de atenção.

O advento de equipamentos de Realidade Virtual permitirá a navegação em fase de projeto, e Realidade Aumentada permitirá a navegação em obra, sobrepondo sobre esta, o modelo que se encontra em projeto, permitindo verificar se a construção está a seguir os planos iniciais, e registando, no próprio modelo, o andamento dos trabalhos.

Após a conclusão, a existência de um 'modelo final' – *as built* – por analogia às telas finais, permitirá navegar num determinado espaço construído, sobrepondo sobre este todos os serviços e infraestruturas que se encontram ocultos, facilitando a despistagem de incidentes e o planeamento de alterações.

Esta é uma realidade que começa a dar os primeiros passos, de que se prevê um enorme crescimento. O próprio acrónimo tenderá a evoluir de BIM, para BIMM. *Building Information Modelling and Management*.

Referências

- [1] I. Ritchie, *Being: an Architect*. Royal Academy of Arts, London, 2014.
- [2] I. Ritchie, *RSC Courtyard Theatre*. Categorical Books, London, 2006.
- [3] I. Ritchie, *(Well) Connected Architecture*. Academy Editions, London, 1994.
- [4] P. Cook, K. Oosterhuis. *Architecture Goes Wild: Manifest Writings*. 010 Publishers, Rotterdam, 2002.
- [5] K. Oosterhuis. *Hyperbodies*. Birkhauser, Basel, 2003.
- [6] K. Oosterhuis, “WEB of North Holland”, *A+U:Architecture and Urbanismo*, no.10, pp.46- 49, October 2002.
- [7] HM Government, “Industrial strategy: government and industry in partnership“, 2012.
- [8] HM Government, “Digital Built Britain. Level 3 Building Information Modelling – Strategic Plan”, Fevereiro 2015.
- [9] Cabinet Office, ”Government Construction Strategy”, Maio 2011.

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE INFORMAÇÃO INTEGRADO NO BIM EM OBRA FERROVIÁRIA

Martim Bernardo Ribeiro ⁽¹⁾, Miguel Chichorro Gonçalves ⁽¹⁾, Pedro Mêda Magalhães ⁽¹⁾

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Resumo

O presente artigo aborda um caso de estudo de uma obra ferroviária existente. A obra em causa é uma passagem superior de peões. Elementos de diferentes especialidades foram modelados no Revit para posteriormente se proceder à análise da sua implementação.

Foi modelada parte da obra, após o que se procedeu a uma análise comparativa entre os elementos de projeto, no ProNIC e no Revit para averiguar a qualidade dos objetos nativos do Revit. Foi feita uma análise ao nível do detalhe gráfico entre elementos desenhados do projeto e do modelo, e uma análise ao nível da informação de cada família de objetos abordada.

Concluiu-se que apesar dos softwares como o Revit apresentarem vantagens imediatas às empresas que os adotem, também apresentam desvantagens. Ao nível gráfico verificou-se que há de facto vantagens imediatas quando comparado com softwares CAD. Ao nível da informação, no entanto, ainda há um longo caminho a percorrer visto que será necessário que a quase totalidade das empresas envolvidas na indústria da construção tomem parte no processo. O grande obstáculo prende-se com a falta de objetos para utilizar em modelos. Verificou-se ainda que é economicamente inviável em muitos dos casos às empresas criarem os seus próprios objetos.

1. Introdução

Um dos grandes desafios da indústria da construção nos dias de hoje é procurar novos métodos e formas de dar resposta à ineficiência que está muitas vezes, e de um modo negativo, associada à construção civil. Felizmente, o desenvolvimento e progresso tecnológico acompanham e influenciam o mundo empresarial diretamente. O *BIM*, e todas as teorias associadas, aparece na vanguarda tecnológica atual e promete revolucionar todo o mercado da construção. De acordo com a *NBS (National Building Specification UK)*, *BIM* é um acrónimo para *Building*

Information Modelling em que são descritos os meios através dos quais todas as entidades conseguem compreender um edifício através do uso de um modelo digital [1]. Apesar de já ser utilizado em alguns países, sendo que noutros já é mesmo obrigatório o seu uso [2], ainda existem muitos problemas por resolver. Os desafios da indústria ao nível do *BIM* passam não só pela sua implementação, mas também por problemas que transcendem o uso de softwares [3].

O *BIM* possibilita a utilização de softwares de modelação por objetos permitindo realizar projetos de uma forma mais eficiente e menos dispendiosa a longo prazo. Além disso, e esse é um dos desafios atuais, as entidades associadas ao *BIM* pretendem criar fluxos de informação unívocos entre as várias entidades da indústria da construção civil. O expoente máximo do *BIM* é permitir que uma equipa de projetistas desenvolva um projeto, num determinado software e ao mesmo tempo, com objetos que contenham toda a informação (detalhe gráfico e informação intrínseca) necessária durante aquela fase, e consigam fazer chegar essa mesma informação a todas as entidades que necessitem da mesma nas fases seguintes. Isto pressupõe que não haja perdas de informação entre softwares distintos [3].

De acordo com a parceria “Portugal 2020”, que consagra a política de desenvolvimento económico, social, ambiental e territorial em Portugal, definindo as intervenções, os investimentos e as prioridades de financiamento necessárias para promover o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo do país, estão planeadas intervenções significativas na rede ferroviária nacional. Exemplifica-se na tabela 1 as extensões previstas [4].

Tabela 1: Intervenções na rede ferroviária nacional.

Caracterização da RFN	Extensão (KM) 2013	Extensão (KM) 2020/2022
Rede ferroviária nacional	2.432	2.585
Rede eletrificada	1.630	2.371
Rede com sistema de sinalização eletrónica e elétrica	1.652	2.200
Rede com sistema de sinalização mecânica	780	385
Rede com sistema de controlo de velocidade (Convel)	1.513	1.215
Rede com sistema ETCS - em funcionamento ou emulado com sistema nacional (Convel)	136	985
Rede com sistema de telecomunicações rádio solo-comboio	1.509	1.509
Rede com sistema GSM-R	0	916

Partindo desta realidade, foi selecionada uma passagem superior de peões já existente num troço ferroviário em funcionamento em Portugal como objeto de estudo. A obra em causa denomina-se: “PSP ao KM 6+600 Águas Santas / Palmilheira”, e tal como o nome indica, trata-se de uma passagem no apeadeiro de Águas Santas / Palmilheira pertencente à linha ferroviária do Minho. O motivo para esta escolha deve-se ao facto de estas passagens se tratarem de objetos de moderada complexidade e de se tratarem de construções que vão ser executadas dezenas de vezes no âmbito do plano estratégico nacional. Além disso, estas construções fogem à norma daquilo que podem ser consideradas construções correntes (estruturas porticadas de betão armado), visto tratarem-se de estruturas metálicas. Estes fatores foram decisivos para dar resposta aos objetivos propostos; Figura 1.

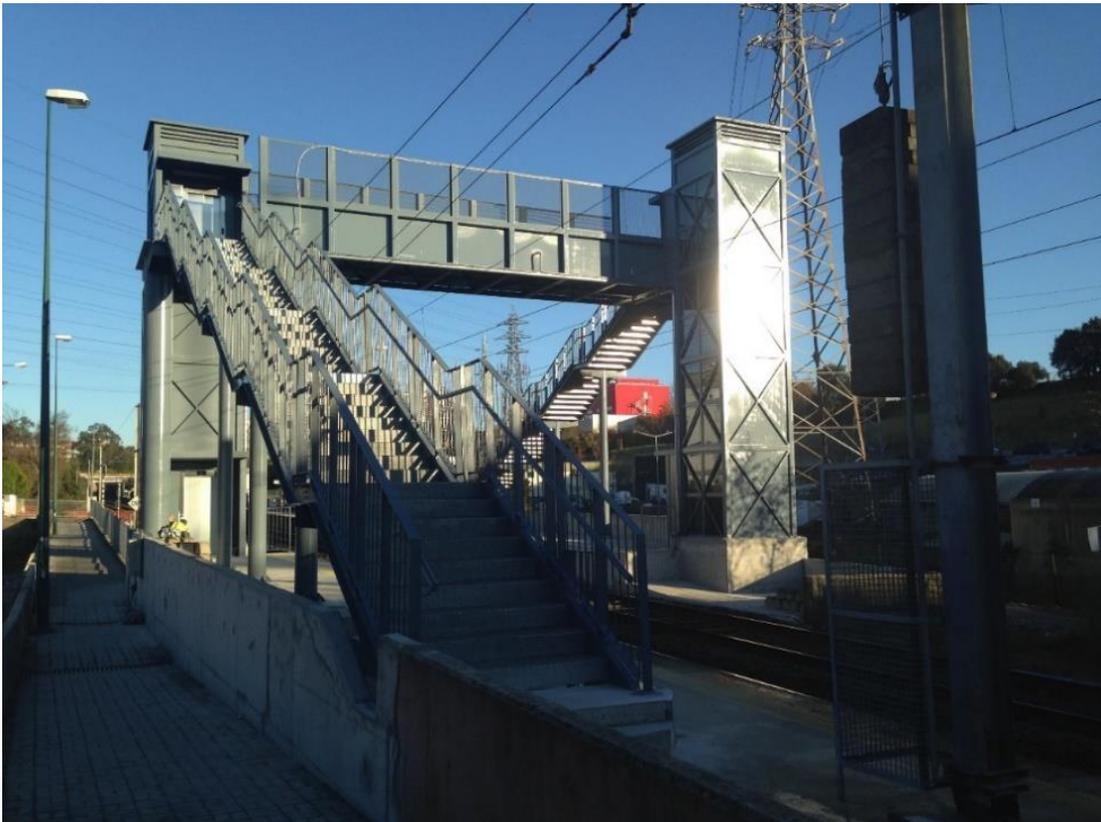


Figura 1: Passagem superior de peões Águas Santas / Palmilheira.

Dos dois principais objetivos propostos o primeiro consiste em tentar compreender em que pontos é que os *softwares* de modelação por objetos (mais precisamente o *Revit*®) são superiores a *softwares CAD* na realização das mesmas tarefas. Espera-se que através da modelação parcial da infraestrutura em *Revit*®, se consiga comprovar as vantagens entre os dois tipos de *software*. O segundo objetivo é o de tentar compreender se as famílias de objetos nativas do *Revit* estão aptas para dar resposta às especificações técnicas exigidas pelo Protocolo para a Normalização da Técnica na Construção (ProNIC®). Este protocolo é uma iniciativa do Estado Português aprovado em dezembro de 2005, no âmbito do Programa Operacional Sociedade do Conhecimento (POSC) que permite a criação de documentação técnica normalizada, nomeadamente mapas de quantidades e trabalhos [5]. Através de uma análise

qualitativa entre famílias de objetos concretas representados no ProNIC® e no *Revit*® espera-se obter uma ideia geral de como é que os objetos em *Revit*® conseguem de um modo geral dar resposta às exigências técnicas Nacionais.

2. Metodologia

Foi modelada e analisada parte desta estrutura com dois objetivos em mente. O primeiro era compreender se havia de facto vantagens em usar softwares de modelação por objetos que seguem a metodologia *BIM*, nomeadamente o *Revit*®. A existência, ou não, destas vantagens passou por analisar e comparar o projeto original ao projeto em *Revit*®. Posteriormente verificou-se se estas metodologias foram mais eficientes do que as práticas atuais.

O segundo grande objetivo era o de analisar o nível de informação dos objetos no *Revit*® e compará-los com o mapa de quantidades e trabalhos do projeto original. Ainda dentro deste objetivo, pretendeu-se fazer outra comparação entre os elementos descritos anteriormente e um mapa de quantidades e trabalhos normalizado realizado em ProNIC®. Através destes passos, compreendeu-se até que ponto a informação presente em softwares de modelação por objetos correspondem às exigências nacionais feitas para descrever elementos em obra.

A metodologia adotada passou essencialmente por analisar os elementos “tradicionais” de projeto e verificar que transposições podem ser realizadas no âmbito de softwares de modelação gráfica por objetos que se enquadrem na metodologia *BIM*.

Aquilo que se entendem por elementos “tradicionais” de projeto, compreendem todos os documentos compostos pelas peças escritas e desenhadas que são as utilizadas na realização de projetos e obras em Portugal. Estes documentos representam a quase globalidade de informação relativa a uma empreitada. Partindo desse pressuposto, foram realizados paralelismos entre esses documentos e novas formas de realizar projeto utilizando softwares de metodologia *BIM* em conjunto com o ProNIC®. Para este efeito, parte da obra existente (infraestrutura metálica, sinaléticas e luminárias) foi replicada no *Revit*®, em conjunto com a elaboração de um mapa de quantidades e trabalhos normalizado utilizando o ProNIC®.

O objetivo consistiu em compreender de que modo é que os projetos “tradicionais” em Portugal podem evoluir no sentido da implementação de metodologias *BIM*, acompanhados pelo uso do ProNIC® como um meio de normalização para a qualidade da informação. Tentou-se compreender do mesmo modo, se estas metodologias trazem vantagens ou não ao mercado da construção civil.

Partindo das peças escritas, nomeadamente o mapa de quantidades e trabalhos e as condições técnicas, Portugal terá que encontrar um processo de normalização idêntico ao *Omniclass* e ao *Uniclass* de modo a conseguir criar fluxos de informação unívocos ao longo de toda a cadeia produtiva na indústria da construção. Foi neste ponto que se olhou para o ProNIC® como uma ferramenta fundamental para dar resposta a esta questão. É também sem margem para dúvidas através do ProNIC® que se fará a ponte entre os processos de normalização associados às peças escritas. No que toca às peças desenhadas, será através da digitalização das mesmas,

nomeadamente em softwares de modelação gráfica por objetos como é o caso do *Revit*®, que se evitarão erros de projeto comuns.

Exemplifica-se através da figura 2 um diagrama de como é que o conjunto de peças escritas e peças desenhadas foram abordados. A criação do modelo em *Revit*® associada ao *LOD* (*level of detail*) e a elaboração dos documentos do ProNIC® associadas ao *LOI* (*level of information*) [6].

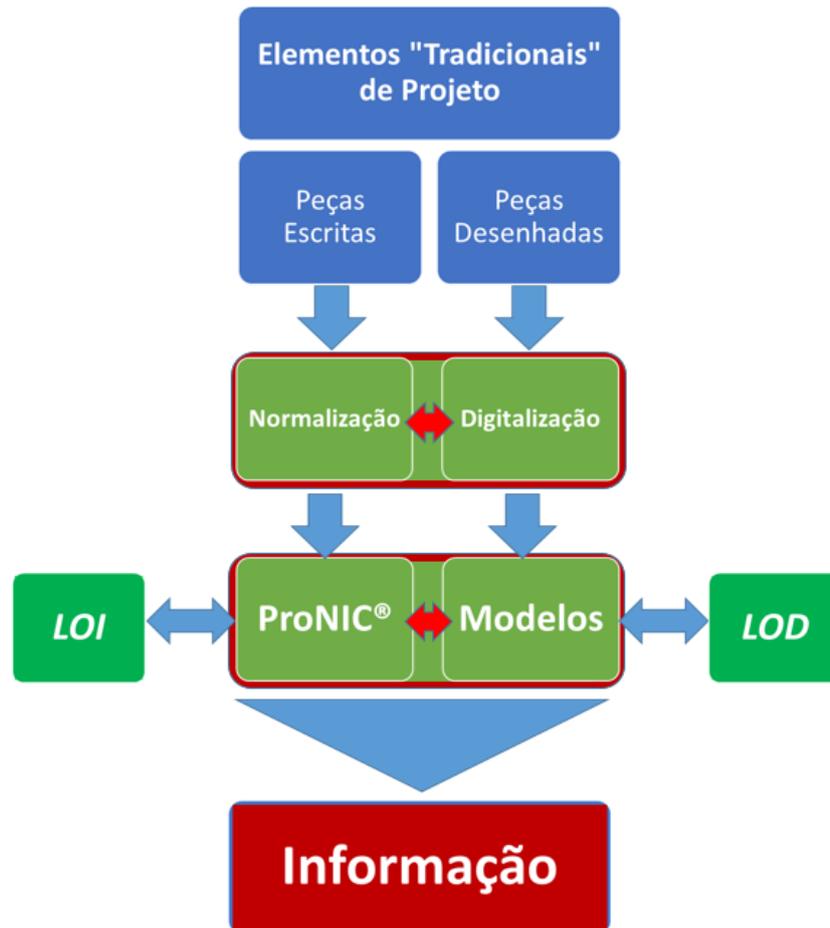


Figura 2: Esquema da Metodologia [6].

Foi detalhado o processo de modelação em *Revit*® da obra, utilizando as peças desenhadas como elemento base. Foi feita uma descrição exhaustiva daquilo que o *Revit*® oferece enquanto software. Posteriormente, foi feita uma análise ao projeto na medida em que se pretendeu verificar quais eram os pontos fortes do *Revit*® contrastados com as peças escritas na sua forma tradicional. Exemplifica-se na figura 3 um exemplo gráfico de uma das incompatibilidades presentes no projeto quando se procedeu à modelação do mesmo em *Revit*®. Como se percebe, a incompatibilidade representa dois perfis metálicos que se intersectam. Por muito pequenas que estas situações sejam, podem poupar recursos importantes a todas as entidades responsáveis.

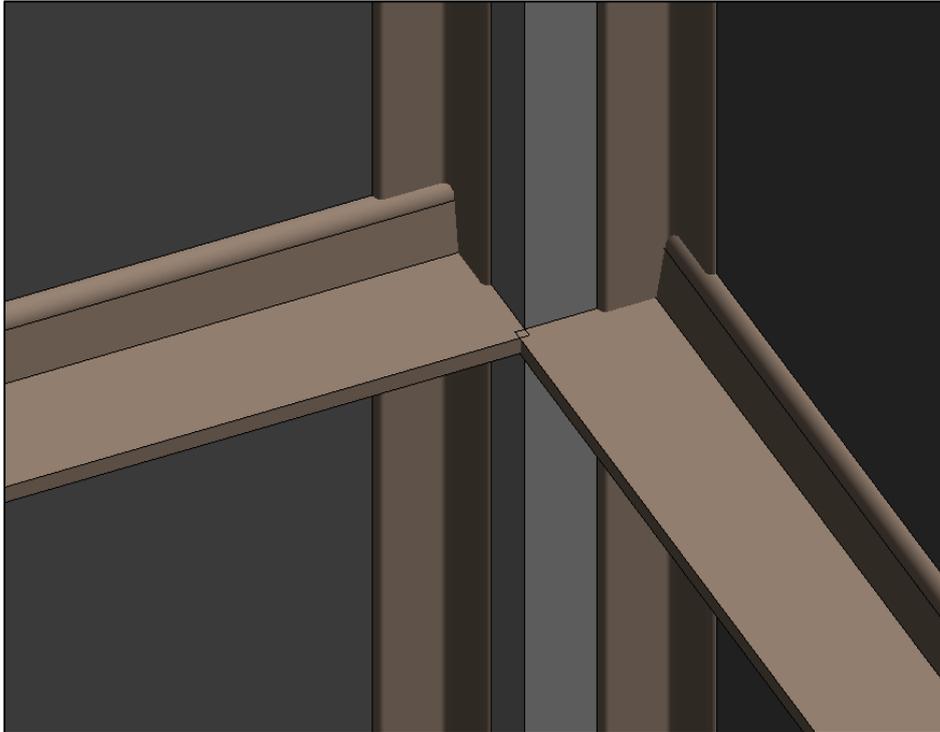


Figura 3: Incompatibilidade encontrada no projeto [7].

Ao nível da informação foi analisado o grau de informação (*LOI*) presente no modelo em *Revit*© através de uma análise comparativa. A ideia foi tentar perceber de que modo é que esta informação se conjuga com a já existente no projeto da passagem superior de peões e com o mapa de quantidades e trabalhos que foi realizado no ProNIC®, analisando assim o estado atual do *Revit*© relativamente a Portugal e verificar quais são as mais valias relativamente à informação contida nos elementos “tradicionais” de projeto.

3. Análise e discussão

Através do uso do *Revit*© e da exploração do ProNIC® foi possível dar uma resposta bastante concreta aos dois objetivos inicialmente propostos.

O primeiro, que pretendia verificar as possíveis vantagens da utilização de suportes de modelação gráfica por objetos (neste caso em particular o *Revit*©) quando comparado com projetos em *CAD*, mostrou que há de facto vantagens substanciais no seu uso. A primeira mais valia prende-se com o facto de haver uma poupança notável de tempo quando se usa o *Revit*© devido à natureza deste software. O método de modelar por objetos permitiu colocar objetos tridimensionais com dimensões pré-definidas no modelo de acordo com o projeto original. Isso permitiu criar cortes, alçados e plantas automáticas unívocas do modelo sem erros. A diferença é que quando se trabalha em *CAD*, é necessário criar um conjunto de linhas para criar estes elementos. O problema deste método, como se verificou, é que além de se perder bastante tempo a criar um único corte, planta ou alçado, também se dá aso à possibilidade de existirem

incompatibilidades entre cada um destes elementos. Esta conclusão assenta essencialmente nos objetos da estrutura metálica, visto que estes representam o grosso da infraestrutura. Exemplifica-se na figura 4 a modelação da caixa de elevadores em *Revit*® existente na passagem superior de peões. Com as famílias de objetos nativas do *Revit*® de estruturas metálicas foi possível criar um modelo 3D com a precisão necessária para execução em obra. Como se pode verificar, é possível criar virtualmente qualquer tipo de corte e alçado representativo, permitindo assim uma poupança considerável de tempo como foi anteriormente descrito.

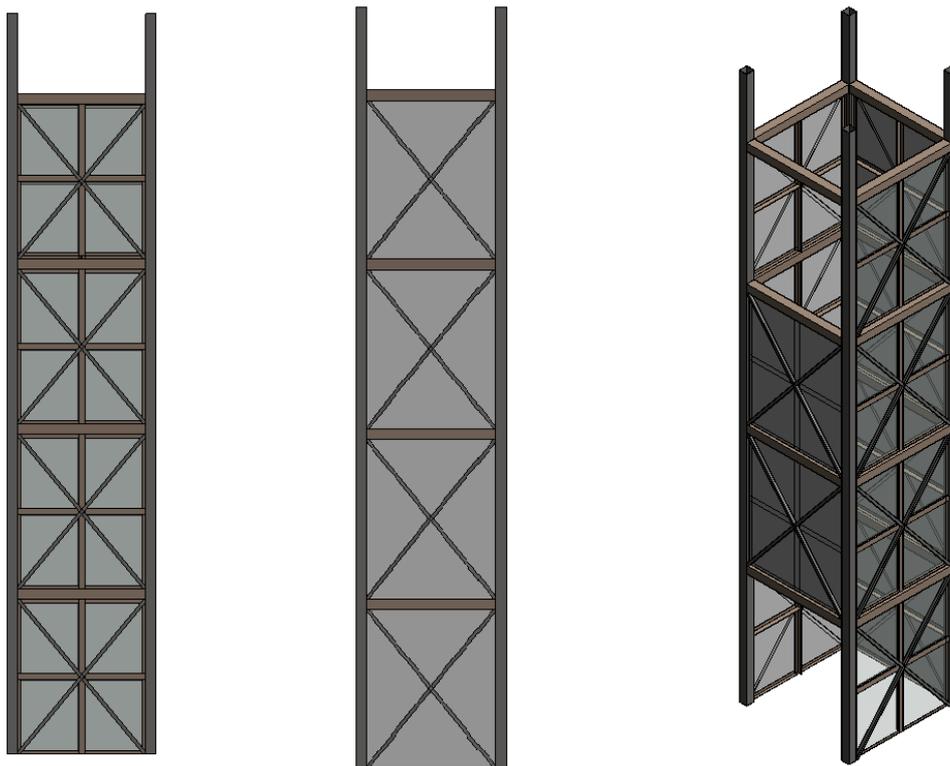


Figura 4: Alçados e modelo 3D da caixa de elevadores existente no projeto [7].

O segundo objetivo nasceu da necessidade de realizar uma verificação ao nível da informação, exemplificado na figura 6, dos objetos do *Revit*®. Partindo de dois elementos de projeto originais para este caso em concreto, peças escritas e condições técnicas e sempre que necessário as peças desenhadas, foi possível fazer uma comparação concreta e individual entre estes elementos e o ProNIC®. Ao realizar um mapa de quantidades e trabalhos normalizado no ProNIC® para elementos metálicos, sinaléticas e luminárias, foi possível verificar que tipo de elementos são propícios de apresentarem maiores disparidades nos diferentes mapas de quantidades e trabalhos. Após esta análise, foi realizada uma outra mais extensiva que compara os mapas de quantidades e trabalhos do ProNIC® com o *Revit*®. A conclusão a que se chegou foi a de que apesar dos elementos metálicos e as sinaléticas nativas do *Revit*® apresentarem

graus de informação bastante aceitáveis, as luminárias não seguem este pressuposto. De um modo geral os objetos de especialidade mais complexos na indústria da construção não têm uma representação que respeite as exigências de especificação ao nível da informação. No entanto, existem objetos fornecidos por fabricantes que dão uma resposta muito superior às exigências de informação previstas nos mapas de quantidades e trabalhos. Estes objetos provam a necessidade de o *BIM* não poder funcionar isoladamente e que todas as entidades da indústria devem tomar um papel ativo na adoção e uso desta metodologia.

Exemplifica-se na figura 5 o mapa de trabalhos de dois tipos de luminárias realizado no ProNIC® para o projeto em causa. Assumiu-se que este mapa contém tendencialmente toda a informação necessária para fazer uma descrição unívoca que leve à escolha de uma marca em particular pelas entidades construtoras. Existem ainda outros parâmetros que não estão descritos por não constarem no projeto original.

CAP.29	LUMINÁRIAS_V2
29.9	LUMINÁRIAS ESTANQUES
29.9.1 [1]	Luminária estanque saliente <i>F1</i> , “anti-vândalo” em <i>aço zincado</i> com pintura em poliéster, de secção rectangular <i>390x200x70 mm</i> , sistema óptico com reflector[es], com difusor em policarbonato <i>transparente texturado</i> , com graus de protecção IP <i>65</i> e IK <i>10</i> , da classe <i>I</i> , equipada com <i>1</i> lâmpada(s) de fluorescente Compacta com potência unitária <i>24 W</i> , de tensão estipulada <i>230 V 50Hz</i> , incluindo fornecimento e montagem com todos os acessórios necessários, balastro electrónico-classe <i>A1</i> , de acordo com as peças desenhadas e o caderno de encargos.
29.9.1 [2]	Luminária estanque saliente <i>F1+K</i> , “anti-vândalo” em <i>aço zincado</i> com pintura em poliéster, de secção rectangular <i>390x200x70 mm</i> , sistema óptico com reflector[es], com difusor em policarbonato <i>transparente texturado</i> , com graus de protecção IP <i>65</i> e IK <i>10</i> , da classe <i>I</i> , equipada com <i>1</i> lâmpada(s) de fluorescente Compacta com potência unitária <i>24 W</i> , de tensão estipulada <i>230 V 50Hz</i> , incluindo fornecimento e montagem com todos os acessórios necessários, balastro electrónico-classe <i>A1</i> , kit de emergência, de acordo com as peças desenhadas e o caderno de encargos.

Figura 5: Excerto do ProNIC relativo às luminárias exteriores existentes [7].

Ao comparar a informação que consta na figura 5 com a figura 6 conclui-se que apesar de alguns dos parâmetros essenciais estarem presentes na luminária do *Revit*®, como é o caso da voltagem ou do tipo de materiais presentes, outros como os graus de protecção e tipos de classe

não se encontram presentes. Esta comparação, ainda que genérica, mostra que de acordo com as especificações técnicas em Portugal, há ainda algum défice no grau de informação de famílias de objetos nativas de *softwares* como o *Revit*®. Isto pode criar dificuldades iniciais a gabinetes de projeto que adotem metodologias BIM, pois serão forçados a criar os seus próprios objetos.

Type Properties

Family: M_Spot de luz - Exterior Load...

Type: 300W Incandescente - 120V Duplicate... Rename...

Type Parameters

Parameter	Value
Materials and Finishes	
Sombra	Aço, acabamento de pintura, marfim, com brilho
Suporte	Aço, acabamento de pintura, marfim, com brilho
Electrical	
Classificação de carga	Iluminação - Externa
Voltagem do transformador	120.00 V
Transformador por número de postes	1
Lamp	PS-30
Wattage Comments	300
Electrical - Loads	
Apparent Load	300.00 VA
Identity Data	
Assembly Code	D5020230
Type Image	
Keynote	
Model	
Manufacturer	
Type Comments	
URL	
Description	
Cost	
Assembly Description	Lighting - High Intensity
Type Mark	
OmniClass Number	23.80.70.14.17
OmniClass Title	Exterior Spotlights
Code Name	
Photometrics	
Tilt Angle	-120.000°
Photometric Web File	SLE1PS30.IES
Light Loss Factor	1
Initial Intensity	300.00 W @ 20.37 lm/W
Initial Color	2800 K
Dimming Lamp Color Temperature Shift	<None>
Color Filter	White
Light Source Definition (family)	Point+Photometric Web

Figura 6: Parâmetros de tipo de uma família de luminárias [7]

4. Conclusão

Concluiu-se que apesar de as metodologias *BIM* apresentarem sérias vantagens, ainda há um longo caminho a percorrer que transcende os desenvolvimentos tecnológicos. É necessário dinamizar e implementar medidas concretas para que haja uma adoção generalizada do *BIM* na indústria. As respostas aos dois objetivos propostos podem proporcionar diversos temas para novas dissertações partindo de cada objetivo individualmente.

Deste modo é importante compreender até que ponto é possível criar uma biblioteca limitada de objetos em softwares como o *Revit*®. O objetivo, neste caso, é entender se é possível parametrizar esses objetos de acordo com o *ProNIC*®, garantindo assim a existência de uma biblioteca pronta a utilizar de modo a criar uma normalização idêntica à já existente noutros países que utilizam o *Omniclass* e o *Uniclass*. Não menos importante é compreender de que modo é que todas estas questões se podem enquadrar no *COBie*, assim como fazer uma análise aos *IFC* e à questão imperativa da interoperabilidade.

Referências

- [1] NBS, What is Building Information Modelling (BIM)?, <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim> (Outubro de 2016).
- [2] P. MacLeamy “Industrial strategy: government and industry in partnership – Building Information Modelling”. 2012.
- [3] R. Owen, R. Amor, J. Dickinson, M. Prins, and A. Kiviniemi, “Research Roadmap Report Integrated Design & Delivery Solutions (IDDS)” CIB Publication 370 / ISBN 978-90-6363-072-0.
- [4] A. Pires de Lima, S. S. Monteiro “Plano Estratégico dos Transportes e Infraestruturas Horizonte 2014-2020”. Abril de 2014.
- [5] InCI, ProNIC “DOCUMENTO InCI/ProNIC”. 2 de Julho de 2012.
- [6] A. Kell, S.Mordue, 2015, Levels of Definitions, <https://toolkit.thenbs.com/articles/levels-of-definition/> (setembro de 2016).
- [7] M. B. Ribeiro “Implementação do modelo de informação integrado no bim – caso de estudo: obra ferroviária”, Tese de Mestrado, Porto, FEUP, 2016.

FLUXOS DE INFORMAÇÃO BIM - RECOLHA E PARTILHA AUTOMATIZADA DE DADOS A PARTIR DE UM MODELO BIM

Joaquim Danado ⁽¹⁾

(1) Arquiteto, Águeda

Resumo

Na elaboração de um modelo BIM de arquitetura, um dos seus principais fundamentos é a criação e gestão de informação. Neste sentido, o trabalho apresentado tem por base a necessidade de extrair a informação de um modelo BIM, de acordo com as exigências legais para o licenciamento de um projeto de arquitetura, consistindo no preenchimento automatizado do quadro sinóptico.

No enquadramento descrito, apresenta-se um fluxo de trabalho entre *Revit - Dynamo - Excel*. Este assenta sobre regras taxonómicas definidas previamente, de modo a facilitar a interoperabilidade entre plataformas, que poderão estar descritas em sede de protocolo BIM. Deste modo, utiliza-se o *Dynamo* que, enquanto ferramenta de programação visual, permite a recolha de dados criados no *Revit*, transpondo-os para *Excel* onde são calculados, compilados e tornados acessíveis a todos os intervenientes, sem necessidade de recorrer ao modelo nativo. Porém, uma vez que parte dessa informação é gerada em *Revit* de forma isolada, a restante é no *Excel* calculada, havendo a necessidade de devolver essa informação ao *Revit*, mais uma vez recorrendo ao *Dynamo*.

Desta forma, cria-se um fluxo de trabalho automático, explícito e baseado num modelo BIM, mitigando riscos no que se refere à qualidade da informação e acelerando todo o processo.

1. Introdução

Na elaboração de um projeto de arquitetura em Portugal, para licenciamento do mesmo junto de câmaras municipais, um dos vários requisitos a que se tem de responder, prende-se com a recolha de informação necessária à sua análise e que deve estar compilada num Quadro Sinóptico, previsto pela Portaria nº113/2015 de 22 de abril [1].

A fim de eliminar tarefas repetitivas de recolha de informação durante a elaboração de um projeto de arquitetura, o presente trabalho tem como objetivo o preenchimento automático do

quadro sinóptico numa folha de cálculo em *Excel*, a partir de um modelo BIM elaborado em *Revit*. A escolha do *Revit*, recaiu não só pela experiência do autor com esta plataforma de modelação, mas sobretudo pela grande adesão nos últimos anos por parte de técnicos no contexto português, no que à escolha de plataformas de modelação paramétrica diz respeito, alargando o número de possíveis interessados neste trabalho. Já a escolha da plataforma *Excel*, incide essencialmente pela sua utilização generalizada no contexto digital atual. Para automatização do processo, utilizou-se a plataforma de programação visual *Dynamo* para trocas de informação entre o *Revit* e o *Excel*. A utilização do *Dynamo* neste fluxo, surge como veículo de troca de dados entre plataformas de forma automatizada, instantânea, simples e direta. Neste contexto, uma vez que o *Revit* produz apenas informação isolada e há necessidade de efetuar cálculos utilizando a informação recolhida, optou-se por efetuá-los através de rotinas elaboradas em *Dynamo* bem como entre células de uma folha de cálculo em *Excel*.

No que respeita a trabalhos já realizados que tentem resolver situações similares ao trabalho apresentado, da pesquisa prévia efetuada para elaboração do mesmo, não foi encontrado algo que se assemelhe. Trabalhos desenvolvidos até então, que compreendam a utilização de programação visual, centram-se essencialmente no seu potencial enquanto *software* [7]. Por outro lado, exemplos práticos, ainda que muito focado na modelação de estruturas complexas, encontram-se acessíveis apenas em fóruns *online* ou sítios da internet da especialidade, tais como, por exemplo, em www.dynamobim.org ou em <http://au.autodesk.com>.

2. Fluxo de Informação associada ao Modelo BIM

2.1 Recolha de informação

A informação necessária a recolher para preenchimento do quadro sinóptico, encontra-se redigida na Portaria 113/2015 [1], sendo que a descrição de cada dado solicitado, bem como a sua fórmula de cálculo, encontra-se noutros diplomas legais, nomeadamente no RJUE [4], no RGEU [2] e no decreto-regulamentar 9/2009 [3].

A recolha da informação foi efetuada com recurso a três plataformas digitais, sendo elas:

- *Autodesk Revit 2017*: para criação do modelo BIM de arquitetura;
- *Microsoft Office Excel 2016*: para armazenamento e cálculo de dados;
- *Dynamo 0.9.2*: para cálculo de dados e trocas de informação entre *Revit* e *Excel*.

Estas plataformas garantiram à data da elaboração do trabalho, um funcionamento estável. Por forma a facilitar a comunicação entre plataformas, no que se refere aos dados a recolher, foi criado um código alfanumérico "D00" para cada um deles, sendo D de "dado" e respetivo número de dois algarismos.

Os dados a recolher, necessários à elaboração do quadro sinóptico, encontram-se descritos na Tabela 1, bem como o seu código correspondente e a plataforma digital a utilizar para a sua criação.

Tabela 1: informação a recolher para preenchimento do quadro sinóptico

Dado	Designação	Plataforma a utilizar	Diploma legal	unidade
D01	Área do terreno	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº11	m ²
D02	Área total de implantação	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº9	m ²
D03	Área total de construção	<i>Excel</i>	DR 9/2009 ficha nº12	m ²
D04	Área de construção em habitação/comércio/Serviços/...	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº12	m ²
D05	Área de construção em estacionamento	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº12	m ²
D06	Área de construção em alpendres	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº12	m ²
D07	Área de construção em anexos	<i>Revit</i>	DR 9/2009 ficha nº12	m ²
D08	Área útil	<i>Revit</i>	nº2 art.67º cap.III RGEU	m ²
D09	Área habitável	<i>Revit</i>	nº2 art.67º cap.III RGEU	m ²
D10	Área de logradouro	<i>Excel</i>	DR 9/2009 ficha nº40	m ²
D11	Nº total de pisos	<i>Dynamo</i>	-	Un.
D12	Altura máxima do edifício (cércea)	<i>Dynamo</i>	DR 9/2009 ficha nº5	m
D13	Cota de soleira	<i>Dynamo</i>	DR 9/2009 ficha nº16	m
D14	Área impermeável	<i>Revit</i>	-	m ²
D15	Área permeável	<i>Excel</i>	-	m ²
D16	Volume de construção	<i>Dynamo</i>	DR 9/2009 ficha nº74	m ³
D17	Índice de ocupação	<i>Excel</i>	DR 9/2009 ficha nº35	%
D18	Índice de impermeabilização do solo	<i>Excel</i>	DR 9/2009 ficha nº34	%
D19	Índice de utilização	<i>Excel</i>	DR 9/2009 ficha nº36	%

2.2 Preparação do modelo BIM de arquitetura - *Revit*

Os dados a recolher a partir do modelo de *Revit*, encontram-se armazenados em três tipos diferentes de objetos que pertencem a categorias específicas, conforme apresentado na Tabela 2. Cada um desses objetos, possui parâmetros onde a informação relativa aos mesmos é armazenada, sendo ainda possível criar novos parâmetros, onde informação necessária a uma determinada categoria de objetos pode ser adicionada. Assim, para que tal informação possa ser gerada e por sua vez recolhida, é necessário criar os respetivos objetos.

De forma a entender que objetos foram necessários criar no *Revit*, elaborou-se uma tabela que os relaciona com os dados necessários ao quadro sinóptico - Tabela 2.

Tabela 2: objetos necessários em *Revit* para criação de dados

Objetos a criar (Revit)	Categorias dos objetos (Revit)	Dados a gerar
<i>Property Line</i>	<i>Site / Property Lines</i>	D01
<i>Area</i>	<i>Areas</i>	D02; D04; D05; D06; D07; D14
<i>Room</i>	<i>Rooms</i>	D08; D09

Cada objeto é gerado de forma diferente, pelo que é necessário ter em conta as características de cada um, nomeadamente a sua categoria bem como os seus parâmetros associados, que armazenam a informação pretendida para cada dado.

O objeto *Property Line*, é definido por um polígono fechado. A informação quanto à sua área, relativa ao dado D01, é armazenada no seu parâmetro "*area*".

Os objetos *Area*, são também definidos por um polígono fechado. Para fornecer a informação relativa aos dados D02, D04, D05, D06, D07 e D14, cada objeto é designado pelo nome do dado a gerar, de modo a se poder calcular o resultado da soma das áreas dos objetos com nomenclatura igual.

Os objetos *Room*, são delimitados por objetos com características de definição de áreas (e.g.: paredes, lajes de piso, tetos falsos, etc.). Para cálculo dos dados D08 (área útil) e D09 (área habitável), houve a necessidade de criar dois parâmetros do tipo booleano (*Yes/No*) específico para a categoria *Rooms*, com o nome "Área habitável" e "Área útil", visto que o *Revit* não os possui por defeito. Desta maneira, adiciona-se essa informação a cada espaço, i.e., a cada objeto *Room*. Uma vez que a área correspondente a cada objeto é armazenada no seu parâmetro de tipo "*area*", os parâmetros "Área útil" e "Área habitável" funcionam como filtro para o cálculo total das respetivas áreas.

No sentido do acima descrito, após modelação integral do modelo de arquitetura, foram criados todos os elementos necessários à correta leitura da informação no modelo. Foi criado o objeto *Property Line* no modelo BIM de *Revit*, a fim de gerar a área da propriedade (D01) a intervir. Foram também criados todos os objetos *Area*, correspondentes aos vários tipos de áreas brutas de construção (D04; D05; D06; D07), bem como as áreas de implantação e impermeabilização (D02; D14). Os objetos *Room* foram igualmente criados, correspondendo exclusivamente a áreas interiores do edifício e com os parâmetros "Área útil" (D08) e "Área habitável" (D09) adicionados à sua categoria de objetos.

2.3 Preparação da folha de cálculo - *Excel*

A folha de cálculo tem no fluxo apresentado uma dupla função: o cálculo de alguns dos dados e o armazenamento de toda a informação necessária à criação do quadro sinóptico. É intuito desta folha de cálculo armazenar toda a informação recolhida, de modo a estar acessível a qualquer elemento da equipa de trabalho.

Foi assim criada uma folha de cálculo em formato *XLS*, especificamente formatada para receber a informação contida no modelo BIM, conforme apresentado a Figura 1. Alguns dos dados, após a sua recolha, foram calculados automaticamente dentro da folha de cálculo, nomeadamente os dados D03, D10, D15, D17, D18 e D19. As suas fórmulas, dentro da folha de cálculo, encontram-se descritas na Tabela 3.

	A	B	C	D	E	F	G
1	QUADRO SINÓPTICO:						
2	D01	ÁREA DO TERRENO/LOTE		m ²	DR 9/2009 ficha nº11		
3	D02	ÁREA TOTAL DE IMPLANTAÇÃO		m ²	DR 9/2009 ficha nº9	Nota: área total de implantação dentro e fora da faixa de 50m à extrema contígua com o arruamento	
4	D03	ÁREA TOTAL DE CONSTRUÇÃO	0,00	m ²			
5	D04	ÁREA DE CONSTRUÇÃO EM HABITAÇÃO (Ac hab)		m ²	DR 9/2009 ficha nº12		
6	D05	ÁREA DE ESTACIONAMENTO (Ac est)		m ²			
7	D06	ÁREA DE CONSTRUÇÃO EM ALPENDRES		m ²			
8	D07	ÁREA DE CONSTRUÇÃO EM ANEXOS		m ²	DR 9/2009 ficha nº22		
9	D08	ÁREA ÚTIL		m ²			
10	D09	ÁREA HABITÁVEL		m ²	nº2 art. 67º cap. III RGEU		
11	D10	ÁREA DE LOGRADOURO	0,00	m ²			
12	D11	Nº TOTAL DE PISOS		p.	Nota: nº total de pisos acima e abaixo da cota de soleira.		
13	D12	CÉRCEA		m	DR 9/2009 ficha nº5		
14	D13	COTA DE SOLEIRA		m	DR 9/2009 ficha nº16		
15	D14	ÁREA TOTAL IMPERMEABILIZADA		m ²			
16	D15	ÁREA PERMEÁVEL	0,00	m ²			
17	D16	VOLUME		m ³			
18	D17	ÍNDICE DE OCUPAÇÃO	#DIV/0!		DR 9/2009 ficha nº35	IO= ÁREA TOTAL DE IMPLANTAÇÃO / ÁREA DE SOLO) x 100	
19	D18	ÍNDICE DE IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	#DIV/0!	%	DR 9/2009 ficha nº34	Iimp= ÁREA IMPERMEABILIZADA / ÁREA DO SOLO) x 100	
20	D19	ÍNDICE DE UTILIZAÇÃO	#DIV/0!		DR 9/2009 ficha nº36	Iu= ÁREA TOTAL DE CONSTRUÇÃO / ÁREA DO SOLO	

Figura 1: Folha de cálculo utilizada para armazenamento da informação.

Tabela 3: fórmulas dos dados a calcular na tabela de cálculo.

Dados	Informação a calcular	Fórmula na tabela de cálculo
D03	Área total de construção	=SOMA(C5:C8)
D10	Área de logradouro	=C2-C3
D15	Área permeável	=C2-C15
D17	Índice de ocupação	=C3/C2
D18	Índice de impermeabilização do solo	=(C15/C2)*100
D19	Índice de utilização	=C4/C2

No que respeita aos índices D17, D18 e D19, estes encontram-se em conformidade com as fórmulas descritas no Decreto-Regulamentar 9/2009 [3] e apresentadas de seguida:

$$D17: IO = \frac{\sum \text{área de implantação}}{\text{área do solo}} \times 100 \quad (1)$$

$$D18: Iimp = \frac{\sum \text{área impermeabilizada}}{\text{área do solo}} \times 100 \quad (2)$$

$$D19: Iu = \frac{\text{área total de construção}}{\text{área do solo}} \quad (3)$$

A localização da folha de cálculo na estrutura de pastas do projeto, deve manter-se no decurso do mesmo e esta deve ser do conhecimento de toda a equipa de trabalho, evitando trabalho redundante durante o fluxo de informação apresentado.

3.4 Troca automatizada de informação - do Modelo BIM para a Folha de cálculo - *Dynamo*

As trocas de informação entre o modelo BIM e a folha de cálculo, foram realizadas por meio da plataforma de programação visual *Dynamo*. Para que tal seja possível, foi necessário programar rotinas em *Dynamo* capazes de recolher no modelo BIM a informação desejada e transmiti-la à folha de cálculo em *Excel* previamente formatada.

A plataforma *Dynamo*, trata-se de uma aplicação de código aberto que utiliza programação visual, i.e., pequenas linhas de código de programação condensadas em "caixas" designadas de "nós", que ligados a outros nós criam uma linha completa de código. A "linha de código" completa, é guardada num ficheiro externo na extensão *DYN* e é comumente designada de rotina (ou *script* em inglês). A grande vantagem na utilização de programação visual, prende-se com o facto de não ser necessário possuir aprofundados conhecimentos de programação para poder programar (embora seja uma vantagem em rotinas mais complexas). Através do *Dynamo*, é possível aceder à interface de programação do *Revit* (*API - Application Programming Interface*), que de outra forma, na sua estrutura base, não seria possível.

No trabalho elaborado, foi criado um conjunto de rotinas, que recolhessem toda a informação existente no modelo de arquitetura elaborado em *Revit*. Para tal, foi preciso ter em conta a categoria de cada objeto e respetivo parâmetro de onde se pretende extrair informação.

Para a recolha do dado D01 no modelo BIM, foi utilizada a rotina para *Dynamo* conforme apresentado na Figura 2. A rotina procura o objeto "*Property Line*" no modelo, do qual é filtrado o parâmetro com o nome "*Area*" que contém o valor relativo à área da propriedade.

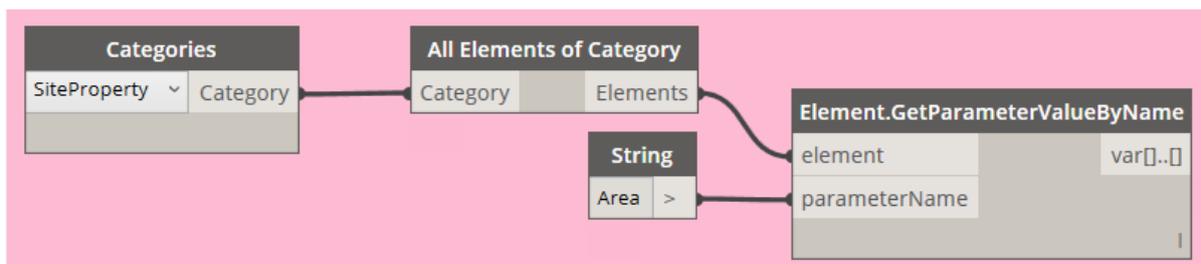


Figura 2: rotina em *Dynamo* para extração da área de objetos da categoria "*Property Lines*".

Para recolha dos valores baseados em objetos da categoria "*Areas*", aos quais correspondem os dados D02, D03, D04, D05, D06, D07 e D14, foi utilizada uma rotina para *Dynamo*, conforme apresentado na Figura 3. Utilizou-se um nó do pacote de nós "*LunchBox*" para recolha de objetos "*Area*" no modelo BIM em *Revit*. No nó é aplicado um filtro na caixa de código (*code block*) onde será colocado o código do dado a obter. A rotina procura todos os elementos com esse nome e efetua a sua soma, revelando o seu valor total.

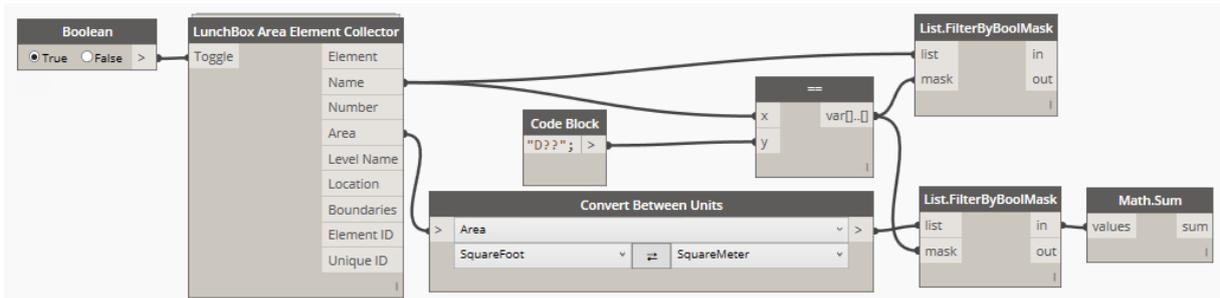


Figura 3: rotina em *Dynamo* para obtenção da área total de objetos da categoria "Areas" com o mesmo código de dado.

Para cálculo da área útil e habitável do edifício, correspondentes aos dados D08 e D09, a rotina, tal como apresentada na Figura 4, procura todos os objetos "Room" aos quais é aplicado um filtro por parâmetro com o nome "Área Útil" ou "Área Habitável", de acordo com os nomes dos parâmetros criados anteriormente no modelo em *Revit*. Isolados os objetos pelo parâmetro com valor "YES" em *Revit* (a que corresponde "True" na rotina em *Dynamo*), é feito o somatório das suas áreas, obtendo-se o valor total de áreas úteis ou de áreas habitáveis.

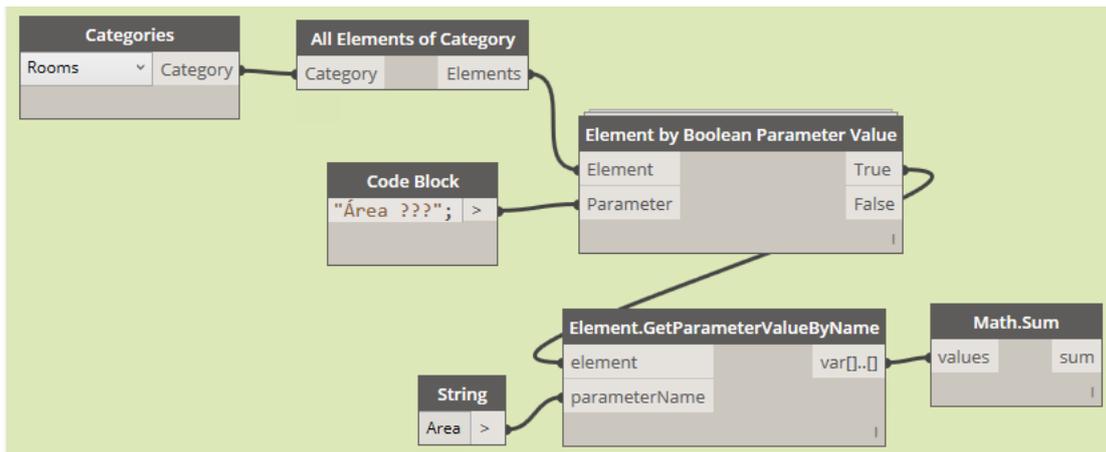


Figura 4: rotina em *Dynamo* para cálculo de área úteis ou habitáveis de objetos "Room".

Outros dados, dos quais não existem objetos no modelo BIM que possuam esses valores, podem ser obtidos através de rotinas em *Dynamo*, com o intuito de estas calcularem esses valores em falta. Enquadram-se nesta lógica, o número total de pisos acessíveis (D11), a altura máxima do edifício (D12), a cota de soleira (D13) e a volumetria do edifício (D16).

Para cálculo do dado D11, relativo ao número total de pisos, conforme apresentado na Figura 5, solicita-se ao *Dynamo* que procure todos os níveis existentes no modelo em *Revit* em que o parâmetro "Name" contém o texto "Piso". Uma vez que este dado se refere ao número de pisos acessíveis, arbitrou-se durante a modelação que somente estes podem conter no seu nome a palavra "Piso", excluindo-se desta lógica níveis relativos a coberturas e outros que não sejam acessíveis. O *Dynamo* gera de seguida uma lista com todos os pisos que correspondem à procura, à qual se solicita que a plataforma faça a contagem dos mesmos.

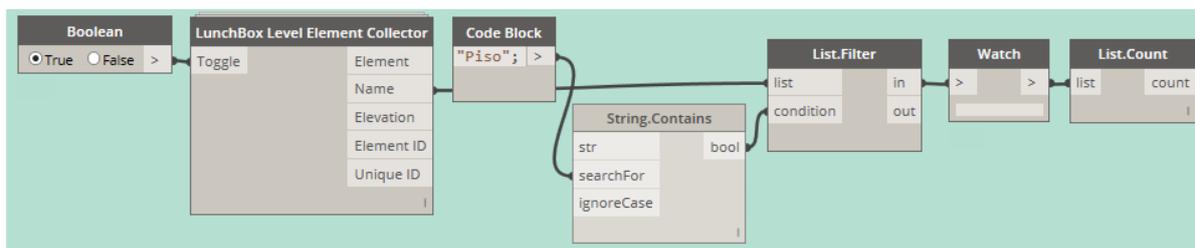


Figura 5: Rotina em *Dynamo* para cálculo do número total de pisos acessíveis.

No que diz respeito à altura máxima do edifício, relativo ao dado D12, a rotina apresentada na Figura 6, parte de uma lista com todos os níveis existentes no modelo em *Revit*, de onde se isola o primeiro e o último nível. Após isolados, é efetuada a diferença entre os valores armazenados no parâmetro “*Elevation*” de cada um deles, obtendo-se o valor correspondente à altura do edifício.

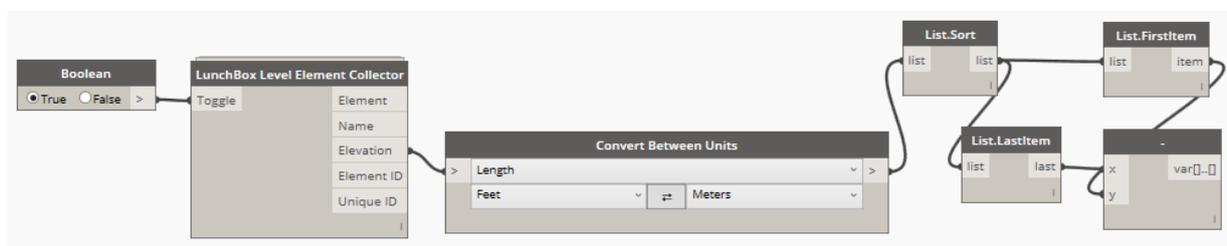


Figura 6: Rotina em *Dynamo* para cálculo da altura do edifício.

Para cálculo da cota de soleira, referente ao dado D13, conforme apresentado na Figura 7, na rotina em *Dynamo* é isolado do modelo *Revit* o objeto da categoria *Level* com o nome “Piso 0”, arbitrado como o correspondente ao nível de entrada no edifício. Deste nível é extraído a sua cota altimétrica através do parâmetro “*Elevation*”. É necessário que os elementos da categoria *Level* se encontrem associados ao zero geodésico do projeto (*Survey Point*) e não associados ao ponto base do modelo (*Base Point*).

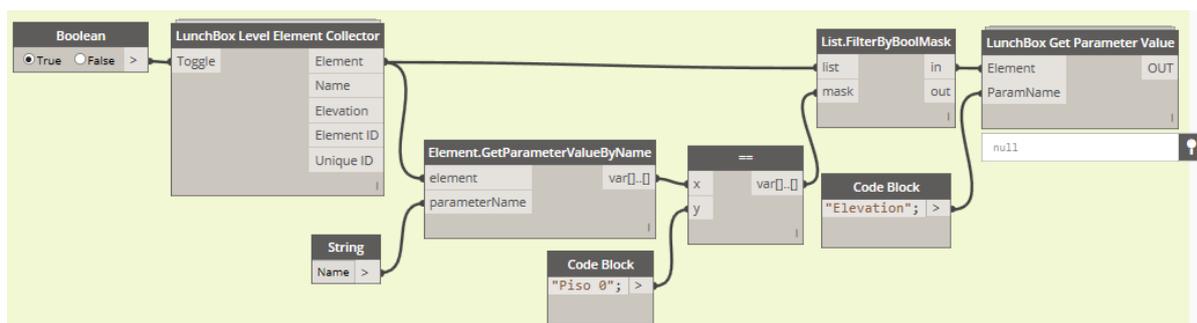


Figura 7: Rotina em *Dynamo* para cálculo da cota de soleira do edifício.

Para cálculo do volume do edifício relativo ao dado D16, conforme apresentado na Figura 8, na rotina é efetuada a divisão entre o número total de pisos acessíveis e a cêrcea máxima, a fim de obter o valor médio entre níveis acessíveis, que será multiplicado pela área total de construção, dando um valor aproximado da volumetria total do edifício.

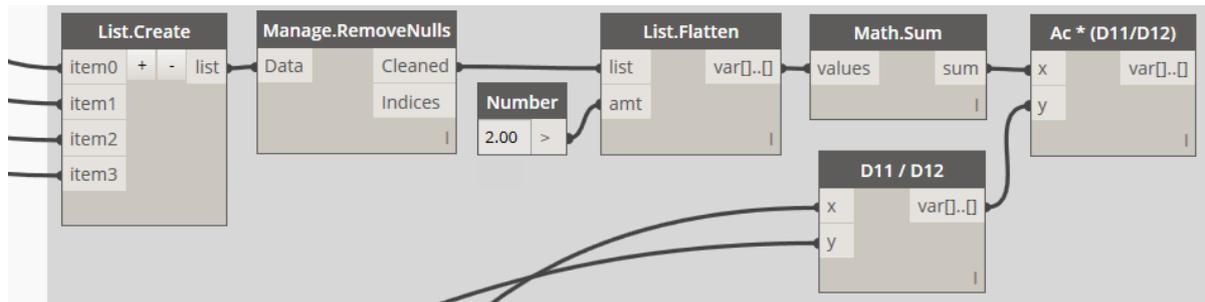


Figura 8: Rotina em *Dynamo* para cálculo aproximado da volumetria do edifício.

As rotinas desenvolvidas, foram complementadas com a restante linha de código apresentada na Figura 9, de modo a indicar ao *Dynamo* para que ficheiro em *Excel* os valores de todos os dados recolhidos têm de ser transpostos. A rotina compreende: o caminho até ao ficheiro *XLS*, o nome da folha onde se encontra a tabela a preencher, a localização da célula a preencher e o respetivo dado. De salientar que as coordenadas de uma lista em programação começam em 0 (zero), pelo que a célula com coordenadas A:1 em *Excel*, no *Dynamo* será entendido como 0:0.

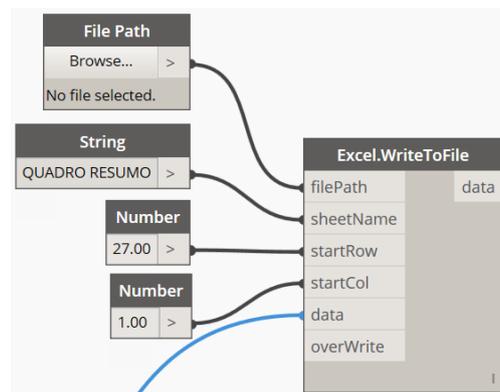


Figura 9: Parte da rotina em *Dynamo* que transportará os valores dos dados recolhidos no modelo em *Revit* para a folha de cálculo em *Excel*.

Toda as rotinas apresentadas para recolha dos dados necessários a partir do modelo BIM em *Revit*, foram criadas num único ficheiro em formato *DYN*, pelo que com uma só ordem, toda a tabela em *Excel* foi preenchida automaticamente. Estas seguem ainda uma lógica que foi ao encontro das necessidades do trabalho apresentado, sendo que poderão ser desenvolvidas outras rotinas para obter a mesma informação.

3.5 Troca automatizada de informação - da Folha de cálculo para o Modelo BIM - *Dynamo*

No que diz respeito à informação contida na folha de *Excel*, parte dela foi gerada através do cálculo entre células. Como tal, essa informação não consta no modelo BIM. Assim, sendo que toda a informação, relativa ao quadro sinóptico, deverá constar numa das peças desenhadas do projeto de arquitetura, automatizou-se a transposição de toda a informação presente na folha de cálculo em *Excel* para o Modelo em *Revit*, com recurso a uma rotina em *Dynamo*, de modo a preservar a integridade da informação já gerada. Essa informação é transposta enquanto parâmetro da categoria *Project Information*. Uma vez não ser possível no *Revit* criar uma tabela com informação relativa a esta categoria, optou-se por utilizar uma família da categoria

TitleBlock, onde constam todos os parâmetros adicionados à família e ao projeto como *Shared Parameters*, relativos a cada dado gerado e que serão preenchidos automaticamente após corrida a rotina. O *Dynamo* encarrega-se de recolher a informação existente em cada célula da folha de cálculo e passá-la aos parâmetros associados, tal como apresentado na Figura 10.

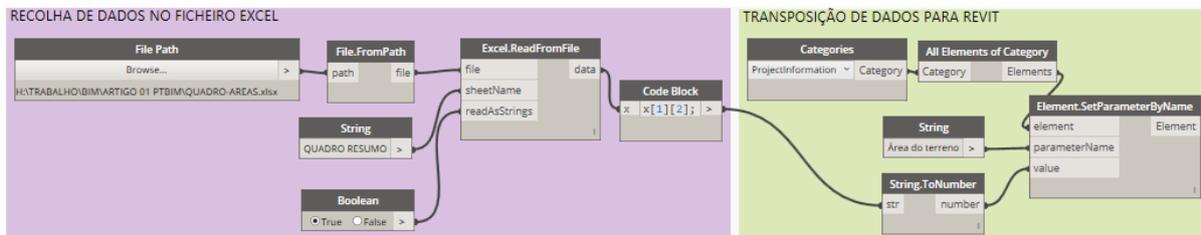


Figura 10: Rotina em *Dynamo* para transposição de uma célula em *Excel* para *Revit*.

O fluxo foi concluído neste ponto, encontrando-se a tabela em *Excel* preenchida, bem como o modelo BIM com toda a informação gerada.

4. Conclusão

No trabalho desenvolvido, procurou-se automatizar a recolha de informação a partir do modelo BIM em *Revit*, com recurso ao *Dynamo* e extraíndo toda a informação para uma folha de cálculo, que é então utilizada como retorno de informação nela calculada ao modelo BIM. O fluxo utilizado através do *Dynamo*, acabou por ser separado em duas rotinas. Uma que faz a transposição dos dados de *Revit* para *Excel* e outra que transporta os dados de *Excel* para *Revit*. Foi possível automatizar todo o processo respondendo à necessidade inicial, acelerando o processo de recolha de informação, que de outra forma seria tedioso, moroso e exposto ao erro humano. É um processo que deverá ser repetido, sempre que haja uma alteração ao projeto de arquitetura que influencie os valores dos dados necessários ao quadro sinóptico, de forma a manter toda a informação atualizada.

Durante o desenvolvimento das rotinas, concluiu-se que a necessidade de estabelecer regras, quanto às nomenclaturas a usar no modelo BIM, é de extrema importância. Estas deverão encontrar-se descritas em protocolo que estabeleça regras taxonómicas, de modo a que a rotina elaborada funcione sem problemas.

Todo o trabalho desenvolvido, poderá ser aplicado em qualquer projeto de arquitetura seja qual for a sua escala ou tipologia, para fins de licenciamento junto de câmaras municipais. A metodologia por trás do mesmo, poderá ser adaptada a outros contextos inerentes à prática da arquitetura ou de outras disciplinas que necessitem de uma análise e avaliação de condições espaciais de um edifício.

De futuro e no seguimento deste trabalho, tenciona-se efetuar um aperfeiçoamento do fluxo apresentado, simplificando o seu processo. É ainda intenção do mesmo, o desenvolvimento de uma API nativa de *Revit*, capaz de dispensar a utilização de outras plataformas digitais, para atingir os objetivos propostos.

Referências

- [1] Portaria 113/2015 de 22 de Abril, Elementos Instrutórios dos procedimentos previstos no Regime Jurídico de Urbanização e Edificação (RJUE) ,2013.
- [2] Decreto-Lei nº 38382 de 7 de Agosto de 1951, Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) e respetivas alterações subsequentes.
- [3] Decreto-Regulamentar nº9/2009, Conceitos Técnicos nos domínios do ordenamento do território e do urbanismo a utilizar nos instrumentos de gestão territorial, 2009.
- [4] Decreto-Lei 136/14 de 9 de Setembro, Décima alteração ao Regime Jurídico de Urbanização e Edificação (RJUE), 2014.
- [5] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.
- [6] D. Holzer, The BIM Manager Handbook: guidance for professionals in architecture, engineering, and construction. Chichester, W.S.:Wiley, 2016.
- [7] T. Vogt, "Current Application of graphical programming in the design phase of a BIM project: development opportunities and future scenarios with 'Dynamo'", Tese de Mestrado, Newcastle, University of Northumbria, Tyne and Wear, UK, 2016.

A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DIGITAIS COMO SUPORTE À IDEALIZAÇÃO, ANÁLISE E CONSTRUÇÃO DE MALHAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA

João M. Barroso ⁽¹⁾, Jorge G. Fernandes ⁽¹⁾, Jorge M. Branco ⁽¹⁾

(1) ISISE, Universidade do Minho, Guimarães

Resumo

As malhas estruturais de madeira são um tipo especial de estruturas que estabelecem um novo marco para a construção leve. Partindo de uma estrutura simples e ligeira, é possível criar uma grande variedade de formas e geometrias garantindo assim uma enorme liberdade arquitetónica.

Contudo, tendo em conta a variedade de formas e a complexidade que estas podem apresentar, é necessária a criação de modelos através dos quais se possam desenvolver técnicas de form-finding, de otimização e de simplificação dos processos de construção.

Neste trabalho será apresentado um caso de estudo, construído, com 46m² (6mx6m), no qual foram usadas ferramentas digitais para a sua idealização, softwares de cálculos e plug-ins (Rhinoceros 5, Grasshopper, GeometryGym, Kangaroo Live Physics, Karamba, Autodesk Robot Structura Analysis) que possibilitaram o processo de form-finding e a interoperabilidade entre os diferentes softwares. Pretende-se apresentar o processo de desenho, análise e a construção da malha, a partir da utilização destas ferramentas. Por fim, comparam-se os modelos com as diferentes etapas da construção da malha de madeira.

1. Introdução

O caso de estudo que será apresentado consiste numa malha estrutural elástica de madeira. Este sistema estrutural tem por base a deformação de uma grelha de madeira plana a partir da qual é possível obter formas tridimensionais simples ou mais complexas, garantindo uma excelente relação geometria-eficiência. Estas malhas são também caracterizadas pela rapidez do processo de construção e a otimização dos recursos materiais. Com tudo isto, seria de esperar que as malhas elásticas de madeira fossem mais comuns hoje em dia, no entanto, apenas um punhado de exemplos foram construídos até agora. Por outro lado, a sua liberdade formal, que faz delas estruturas interessantes para qualquer projetista, é um grande desafio já que a definição da sua

geometria é um processo complexo que dificulta a análise estrutural e o processo de conceção das mesmas.

Para dar resposta a estes desafios são necessárias novas ferramentas, já que os “convencionais” processos/métodos de idealização não são capazes de o fazer. Para este tipo de solução estrutural é necessário recorrer a ferramentas que permitam controlar a modelação tridimensional paramétrica, e a implementação de metodologias BIM é certamente a resposta.

2. As malhas estruturais

Desde as primeiras construções de cúpulas e abóbadas que os elementos estruturais de casca têm vindo a ser ícones na arquitetura e engenharia. No início do século XX, devido ao crescente interesse na sua facilidade em cobrir grandes vãos, foram utilizadas na construção de fábricas, armazéns e hangares de aviões, estendendo-se mais tarde a edifícios como pavilhões desportivos, escolas, etc. [1]. Ao longo do tempo, com a evolução das estruturas de casca surgiu a necessidade de otimizar esta solução, tornando-as mais leves e, em certos casos, procurando reduzir o seu custo. É desta necessidade de otimização que surgem as malhas estruturais, pois têm a capacidade de conseguir formas muito semelhantes às das cascas utilizando uma menor quantidade de material [1].

Estas malhas estruturais podem ser construídas com diversos tipos de materiais, metal (aço ou alumínio), madeira, cartão ou fibra de vidro, e são diversos os exemplos já construídos que podemos encontrar, como pode ser visto na Tabela 1 [1].

Tabela 1: Exemplos de malhas estruturais construídas com diversos tipos de material [1].

Exemplo	Material	Local
Mannheim Multihalle	Madeira	Mannheim, Alemanha
Japan Pavilion	Cartão	Hannover, Alemanha
British Museum Great Court Roof	Aço	Londres, Reino Unido
Experimental pavilion	Fibra de vidro	Institute Navier, ENPC, França
Pods Sports Complex	Madeira	Scunthorpe, Reino Unido

A malha depende muito do material que a compõe, e a madeira oferece a este tipo de estrutura inúmeras vantagens. Uma das características das malhas estruturais é a sua leveza, que no caso da madeira, pode ainda ser potenciada, dada a baixa densidade deste material. Por outro lado, o baixo módulo de elasticidade da madeira favorece a sua deformação, permitindo a construção de malhas estruturais elásticas. Este tipo de malhas caracteriza-se principalmente pelo seu processo construtivo, em que a partir de uma malha montada num plano bidimensional são aplicadas forças deformando a malha até à forma desejada [2]. Apesar de todas as suas qualidades, somente em 1975 foi concluída, na Alemanha, a primeira malha estrutural de

madeira [3]. O edifício é denominado de Mannheim Multihalle (Figura 1a), e o projeto foi conduzido pelo arquiteto Frei Otto, vencedor do prémio Pritzker em 2015. Já no século XXI, é possível registar o aparecimento de novos exemplos (Figura 1b), sempre projetados caso a caso devido à falta de conhecimento que permitisse criar uma base de informação consolidada no que diz respeito à idealização e construção destas estruturas.

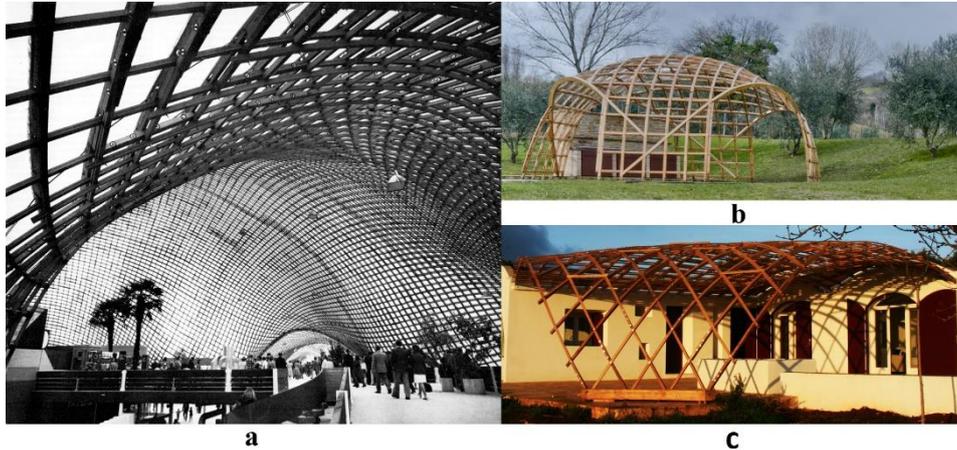


Figura 1: Mannheim Multihalle (a), Alida Woodome (b) e Ostuni Pergola (c) [4].

3. Modelação

Focando agora no trabalho desenvolvido, e tal como já foi referido, o que se propunha era a projeção e a construção de uma malha estrutural elástica de madeira, quadrada, de aproximadamente 9m de lado e com os cantos cortados, como é possível visualizar na Figura 2a. Após a construção da malha plana, seria pós-tensionada até obter a geometria final de cerca de 6m de lado (Figura 2b).

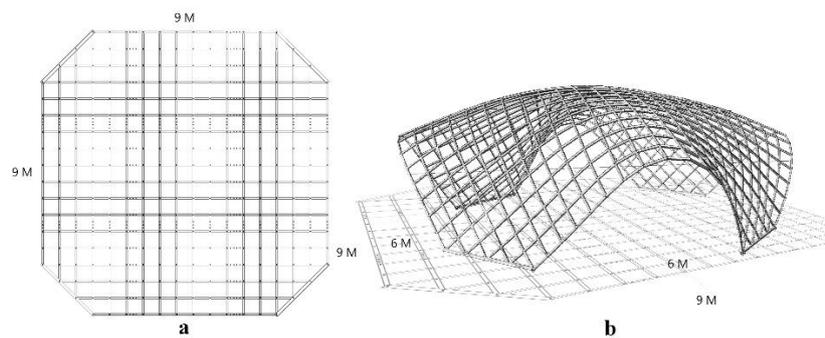


Figura 2: Malha plana (a) e malha tensionada (b).

Sendo esta uma malha elástica, o processo de deformação foi a preocupação principal de todo o processo de construção, e naturalmente, condicionou os processos de conceção e de modelação. Assim sendo, foi necessário encontrar um processo que permitisse simular a transformação da malha no processo construtivo e que apresentasse a sua forma pós-tensionada. Este processo, denominado *form-finding* [2], podia ser abordado de diversas formas: com base

em modelos físicos (Figura 3a), com base em modelos computacionais (Figura 3b) e combinações entre modelos físicos e computacionais.

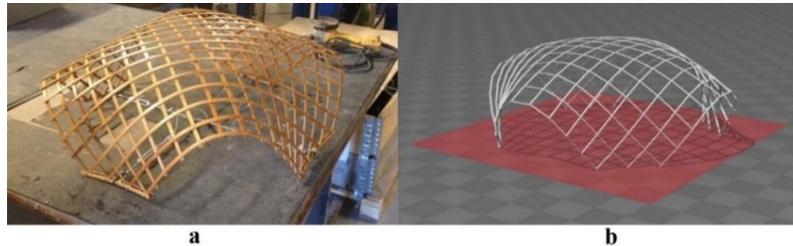


Figura 3: Modelo físico (a) e modelo computacional (b).

Evidenciando a abordagem computacional, é de notar que os softwares atuais possuem ferramentas que nos permitem desenhar facilmente estruturas complexas, neste caso específico, os softwares usados foram o Rhinoceros 5 [5] e o Grasshopper [6]. Esta conjugação de programas consistiu na utilização da programação visual do Grasshopper para conceber os modelos e na utilização do Rhinoceros como visualizador dos mesmos. Contudo, o Grasshopper não tinha a capacidade de simular o processo construtivo da malha, o que fez com que fosse usado complementarmente o plug-in Kangaroo Live Physics [7]. Esta ferramenta computacional baseia-se num método denominado “Dynamic Relaxation” (método que permite obter uma geometria em que todas as forças estejam em equilíbrio) [8], e permitiu simular o processo construtivo da seguinte forma (Figura 4):

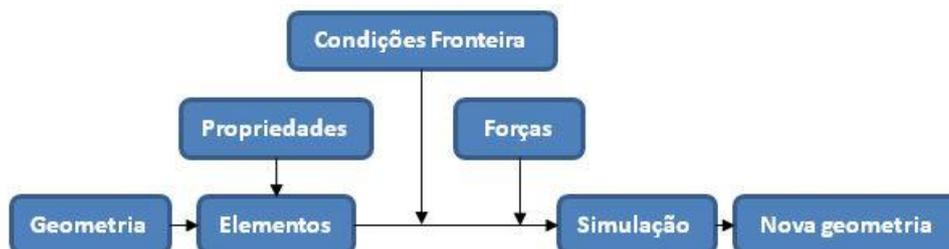


Figura 4: Processo de obtenção da nova forma da malha estrutural elástica de madeira simulando o processo construtivo [2].

Iniciou-se com a definição de uma geometria base (malha plana), à qual foram associados elementos com as propriedades do material a ser utilizado. Em seguida foram impostas as condições fronteira e definidas as forças de deformação da malha. Foi então realizada uma simulação até a malha atingir o equilíbrio, obtendo assim a nova geometria (Figura 5). O processo descrito foi repetido, alterando as forças aplicadas, até se ter atingido a geometria desejada, com base em requisitos previamente impostos: determinadas dimensões, máxima encurvadura dos elementos, etc.

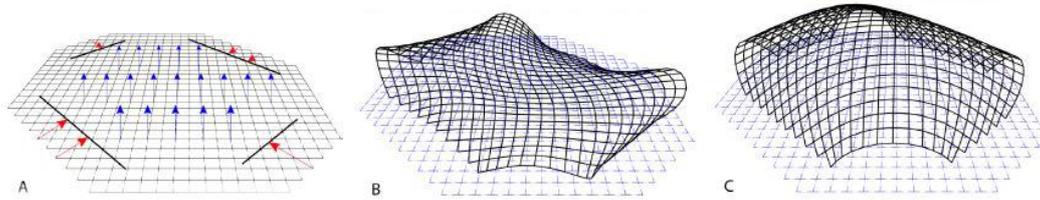


Figura 5: Sequência de obtenção da forma; A: Forma plana inicial com representação das forças de deformação; B: Forma intermédia; C: Forma final [2].

Apesar do modelo obtido apresentar bons resultados, decidiu-se criar um novo modelo recorrendo a outra ferramenta, com vista a mais tarde comparar os modelos e seleccionar o mais favorável. Este segundo modelo foi concebido com o Grasshopper mas desta vez complementado com o plug-in Karamba. Esta ferramenta mostrou-se bastante mais completa do que o Kangaroo, pois oferecia a possibilidade de analisar a estrutura, obter valores de reações, deformações e outros valores relativos ao comportamento estrutural da malha. Apesar de tudo isto, o Karamba foi utilizado apenas no processo de obtenção da forma, tal como o Kangaroo. Este método de conceção do modelo apenas apresentou pequenas diferenças relativamente ao descrito anteriormente. No processo da definição da forma da malha no Karamba foram aplicados deslocamentos nos apoios da estrutura, enquanto no Kangaroo a deformação foi imposta através de forças aplicadas na malha.

3.1 Comparação entre modelos

Concluídos os dois modelos foi necessário analisar os prós e contras de cada um. Os resultados de ambos os modelos foram considerados satisfatórios pois apresentaram geometrias muito idênticas à obtida pelo modelo físico (ver Figura 2), apresentando valores finais para as principais dimensões muito próximos entre si.

Apesar de tudo, o modelo concebido através do Kangaroo apresentou um problema, pois devido à forma como a malha foi criada, os pontos de intersecção entre os elementos de madeira não eram fixos, o que lhes oferecia liberdade total, e tal não correspondia à realidade. Para além de não ser realista, esta liberdade total permitia ainda que, após a deformação, os quadrados da malha variassem de dimensão. Embora na estrutura real isso fosse acontecer, devido à liberdade limitada das ligações, essa variação nunca ultrapassaria os 25mm (Figura 6), já no modelo atingiu em certos pontos variações de 120mm.

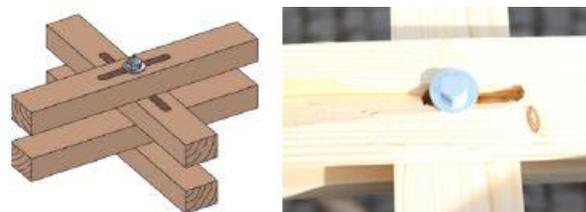


Figura 6: Exemplo da ligação dos elementos de madeira [2].

No caso do modelo criado através do Karamba, foi possível utilizar uma ferramenta do Grasshopper denominada Galapagos. O Galapagos é um comando que permite a implementação de um algoritmo evolutivo de uma forma simplificada. Nesta situação o

Galapagos permitiu calcular o deslocamento necessário a aplicar nos apoios do modelo em função da altura mínima definida nas zonas de entrada da estrutura (Figura 7), 2.10m. Com a utilização deste componente foi possível criar um modelo mais preciso e com uma geometria mais próxima da pretendida.

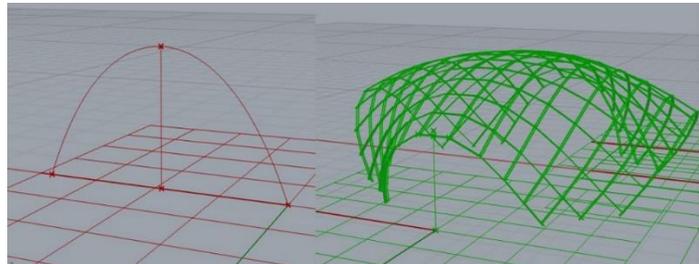


Figura 7: Utilização do Galapagos na obtenção do deslocamento dos apoios.

Com esta comparação entre os modelos facilmente se concluiu que o modelo desenvolvido com o Karamba, que possibilitou a utilização do Galapagos, era vantajoso relativamente ao desenvolvido com o Kangaroo, que apresentava o problema das ligações.

4. Interoperabilidade

Para a análise estrutural do caso de estudo foi utilizado o software Autodesk Robot Structural Analysis [9]. Tal como a maioria dos softwares comerciais de cálculo estrutural, o Robot demonstrou limitações na definição de geometria complexas. Assim sendo, foi necessário utilizar um modelo tridimensional concebido noutra programa. Surgiu com isto um tema muito presente no universo BIM, a interoperabilidade entre softwares. O objetivo foi utilizar o modelo concebido anteriormente (Rhinoceros 5 + Grasshopper + Karamba) no Robot. Apesar do Rhinoceros 5 potenciar uma exportação direta para mais de 30 tipos de ficheiros diferentes, o ficheiro RSA (.rtd) não era uma das opções, com isto, excluindo a exportação direta, foi necessário procurar outras alternativas. Uma destas alternativas foi a utilização de um plug-in do Grasshopper denominado GeometryGym [10]. Este plug-in mostrou-se bastante completo, oferecendo diversos comandos utilizáveis no Grasshopper que permitiam a aplicação de cargas, a criação de secções de elementos estruturais, a atribuição de propriedades a estas secções e até criar malhas de elementos finitos, entre outras funções. Para além das funções associadas à análise estrutural, o GeometryGym providenciava também outros conjuntos de componentes dedicados ao Autodesk Revit [11] e aos ficheiros IFC [12]. Apesar de tudo, a utilização deste plug-in neste trabalho não apresentou bons resultados, pois para além da sua complexidade no processo de exportação, em que existiram algumas dificuldades, o resultado obtido no RSA nunca foi o desejado, apresentando sempre falta de elementos.

Posto isto partiu-se para uma segunda alternativa, que consistia na exportação do modelo do Rhinoceros para um ficheiro AutoCAD [13] (.dwg), e consequentemente a importação deste novo ficheiro para o Robot (Figura 8). Com a exportação para ficheiro AutoCAD (.dwg) todos os elementos da malha foram transformados em linhas, e após a importação para o Robot estas linhas apresentaram-se como barras unidas por nós, às quais foi possível associar as propriedades da madeira.



Figura 8: Processo de exportação e importação do ficheiro .dwg.

5. Modelos numéricos

Estando definido o processo de exportação e importação do modelo, iniciou-se a análise do modelo numérico. Nesta fase surgiu um novo desafio, devido ao facto de a estrutura ser constituída por 2 layers, ou seja, 2 malhas sobrepostas, de forma a aumentar a resistência e rigidez da estrutura (Figura 9). Era necessário definir a forma de representação destes layers no modelo e para tal houve a necessidade de retroceder ao Karamba e criar novos modelos. Assim sendo, foram criados dois novos modelos, um deles possuía os 2 layers devidamente representados e outro consistia num modelo simplificado em que os 2 layers eram representados apenas num único. Esta representação única consistiu na alteração da secção dos elementos de madeira para uma secção com a mesma área e inércia que duas secções originais.

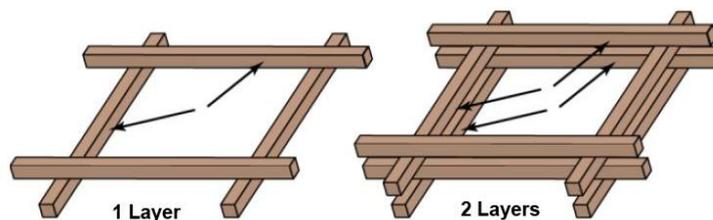


Figura 9: Representação da malha estrutural de madeira com um e dois layers [2].

Quando importado para o Robot, o modelo simplificado apresentou apenas um layer constituído por barras distribuídas em 2 direções (perpendiculares) ligadas por nós. No caso do modelo mais complexo, apareceram os 2 layers representados a diferentes cotas, constituídos por barras em 2 direções (perpendiculares), também estas ligadas por nós, mas nas quais os nós das duas camadas se interligavam por elementos de barra que representavam os ligadores reais (parafusos de aço) (Figura 10).

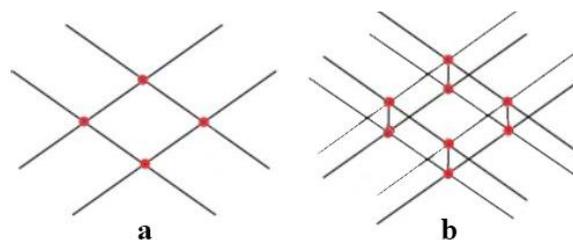


Figura 10: Modelo simplificado com apenas um layer (a) e modelo com dois layers (b).

Observando os dois modelos, apesar das suas diferenças, apresentaram resultados muito próximos entre si, sendo apenas marcados por duas diferenças: o peso próprio da estrutura, devido ao acréscimo dos ligadores, e a quantidade de elementos (barras, nós e apoios) necessários à sua modelação (Tabela 2).

Tabela 2: Comparação entre o modelo simplificado e o modelo com dois layers.

Tipo de elemento	Modelo simplificado	Modelo com dois layers
Barras	340	896
Nós	184	400
Apoios	12	24

6. Construção

Após um intenso processo de conceção e de definição da forma da malha, acima sumariamente apresentado, iniciou-se a construção à escala real da malha estrutural de madeira. Mantendo como foco os processos BIM e as ferramentas digitais, aqui são comparados os modelos concebidos e os resultados deles obtidos com o processo de construção e o produto final conseguido.

A primeira fase da construção consistiu em montar uma grelha plana, constituída por 2 layers de elementos de madeira interligados por parafusos de aço, de igual geometria e propriedades à modelada no Grasshopper (Figura 11).



Figura 11: Construção da malha plana.

Devido à sua leveza (206kg), a malha foi facilmente transportada para a sua localização final sem o auxílio de qualquer equipamento mecânico (Figura 12).



Figura 12: Transporte da malha pelos participantes da construção.

Foram aplicadas cargas à estrutura através de um mecanismo de cabos e alavancas, idênticas às aplicadas nos modelos computacionais para gerar a deformação da malha. Tentou-se que as cargas fossem aplicadas em simultâneo para que a estrutura se deformasse o mais homogeneamente possível (Figura 13a). Após ter atingido a sua forma final ($6 \times 6 \text{m}^2$), o sistema de cabos foi retirado e substituído por blocos de betão, com a função de apoios da estrutura (Figura 13b).



Figura 13: Aplicação de cargas com o sistema de cabos e alavancas (a) e aplicação de blocos de betão como apoios da estrutura (b).

O comportamento da malha durante a sua fase de construção e como produto final foi extremamente satisfatório, e tal como a estrutura, foram também satisfatórios os modelos computacionais desenvolvidos (Figura 14). Todas as dimensões da estrutura são idênticas às dimensões dos modelos digitais, tendo variações máximas de apenas 100mm na zona central da malha. O seu comportamento pós construção foi o esperado, deformando-se ligeiramente no topo devido à ação do peso próprio, tal com previsto no modelo numérico.

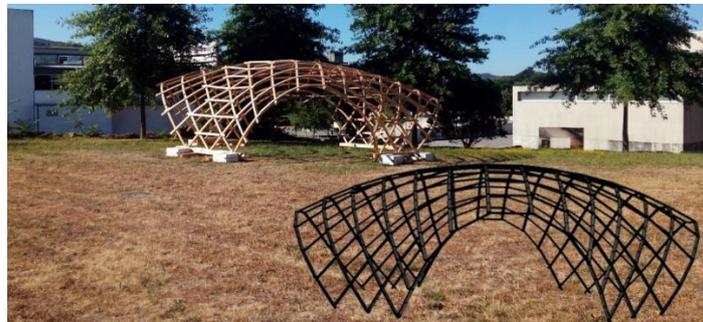


Figura 14: Modelo computacional e malha estrutural de madeira, jardim da Escola de Arquitetura da Universidade do Minho, em Guimarães.

7. Conclusão

Em sumula, relativamente ao processo de concepção dos modelos tridimensionais no Grasshopper, a utilização do Karamba mostrou-se vantajosa relativamente ao Kangaroo, potenciando resultados muito satisfatórios. Por outro lado, os 2 layers deveriam ter sido representadas no modelo inicial, de forma a otimizar o processo.

No que toca à interoperabilidade entre softwares, apesar dos bons resultados, a utilização do GeometryGym tende a ser vantajosa relativamente ao método utilizado. O GeometryGym possui um vasto leque de componentes que podem tornar mais completa a transição de modelos, não só para o Robot, mas para outros softwares que poderão vir a ser úteis na concepção de malhas estruturais de madeira.

Conseguindo contornar o problema da definição da geometria no Robot, através da utilização de modelos criados no Grasshopper, foi também bem-sucedida a análise estrutural da malha.

Para concluir, a conceção e análise da malha estrutural foram conseguidas com sucesso, e através delas foi possível construir a primeira malha estrutural de madeira de que há registo em Portugal. Este sucesso só se tornou possível graças à utilização de ferramentas digitais, e à possibilidade de transição de informação entre elas. Neste sentido, a utilização de metodologias BIM será o futuro das malhas estruturais de madeira, com a implementação das ideias de processo colaborativo através de um modelo central.

Referências

- [1] D. Naicu, “Geometry and Performance of Timber Gridshells,” Tese de Mestrado, The University of Bath, Bath, Reino Unido, 2012.
- [2] D. Naicu, R. Harris, and C. Williams, “Timber Gridshells: Design methods and their application to a temporary pavilion,” in World Conference on Timber Engineering (2014), Quebec City, Canada, 2014.
- [3] C. Paoli, “Past and Future of Grid Shell Structures,” Tese de Mestrado, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, EUA, 2007.
- [4] Gridshell.it, “Gridshell.It,” 2016. [Online]. Available: <http://www.gridshell.it/>.
- [5] R. McNeel and Associates, “Rhinceros,” 2016. [Online]. Available: <https://www.rhino3d.com/>.
- [6] S. Davidson, “Grasshopper,” 2016. [Online]. Available: <http://www.grasshopper3d.com/>.
- [7] D. Piker, “Kangaroo.” [Online]. Available: <http://kangaroo3d.com/>.
- [8] D. Silva, B. Jacob, and M. Rodrigues, “Implicit and Explicit Implementation of the Dynamic Relaxation Method for the Definition of Initial Equilibrium Configurations of Flexible,” in 25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, at Hamburg, Germany, 2006.
- [9] Autodesk Inc., “Autodesk Robot Structural Analysis,” 2016. [Online]. Available: <http://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>.
- [10] J. Mirtschin, “GeometryGym.” [Online]. Available: <https://geometrygym.wordpress.com/>.
- [11] Autodesk Inc., “Autodesk Revit,” 2016. [Online]. Available: <http://www.autodesk.pt/products/revit-family/overview>.
- [12] BuildingSMART International Ltd, “BuildingSMART IFC,” 2016. [Online]. Available: <http://www.buildingsmart-tech.org/>.
- [13] Autodesk Inc., “Autodesk AutoCAD,” 2016. [Online]. Available: <http://www.autodesk.com/products/autocad/overview>.

EXPLORAÇÃO DOS BENEFÍCIOS MÚTUOS ENTRE BIM E JOGOS DE SIMULAÇÃO

Vítor Mineiro ⁽¹⁾, **Rosaldo Rossetti** ⁽¹⁾, **Miguel Azenha** ⁽²⁾

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

(2) Universidade do Minho, Guimarães

Resumo

Nos últimos anos tem-se verificado um crescimento de jogos sérios e de simulação. Este tipo de jogos tem como principais objetivos apoiar o treino de pessoas ou equipas, estudar os comportamentos dos jogadores perante determinadas situações ou simulação de vários cenários de forma a prever resultados finais de soluções adotadas.

O envolvimento do jogador no jogo torna-se um fator de grande relevância para a eficácia do uso de jogos sérios e jogos de simulação na análise comportamental de pessoas em situações de emergência ou risco, como por exemplo evacuação de um edifício em chamas.

No desenvolvimento de jogos, a modelação do cenário de jogo é realizada normalmente de raiz pelos programadores. Esta tarefa é tanto mais custosa quanto maior for o detalhe do cenário. Contudo, ao replicar um edifício real de raiz, os programadores estão a repetir uma tarefa que já foi executada por arquitetos e engenheiros aquando da sua conceção. Esta duplicação de esforços, para além de desnecessária, por vezes fica aquém do expectável. A dificuldade dos programadores em obterem a informação necessária para a criação do cenário leva a que os cenários se afastem da realidade.

Com a crescente aplicação do conceito BIM nos projetos de edifícios, a representação geométrica do edifício, o mobiliário, os materiais aplicados (propriedades físicas e visuais) passam a estar agrupados digitalmente no projeto do edifício. Desta forma, os projetos BIM tornam-se elementos ricos para o desenvolvimento de jogos sérios e de simulação.

Este trabalho resulta de dissertação de mestrado [1] na qual foi explorada a integração do conceito BIM e jogos de simulação, no sentido de aproveitar as potencialidades do BIM para a criação de cenários de jogos de simulação, e ao mesmo tempo, melhorar a navegação e interação dos modelos BIM através dos motores de jogos. Assim o resultado deste trabalho é uma

solução, baseada numa arquitetura Cliente-Servidor, que permite a interoperabilidade de pacotes de software. A solução engloba o protocolo de mensagens para viabilizar a troca de informação entre os pacotes de software e inclui o processo de criação de cenários de jogo a partir de modelos BIM.

1. Introdução

Em 1970, Clark C. Abt [2] introduz o conceito jogos Sérios com uma simples definição que ainda é utilizada nos dias de hoje e que resume os jogos sérios como sendo os jogos cujo principal objetivo não é o entretenimento (em oposição aos tradicionais videojogos). Jogos sérios tem como principal objetivo o treino e formação. No entanto, apesar da diferença do objetivo fundamental do jogo, os videojogos normalmente contêm também uma componente de aprendizagem, pelo menos numa fase inicial do jogo. Assim o jogador executa um determinado conjunto de ações, as quais devem concluir com sucesso, à semelhança do método de ensino tradicional [3].

João Ribeiro usa os exercícios de simulação de emergência realizados em edifícios públicos como objeto de estudo [4], onde realça a dificuldade das pessoas muitas vezes não levarem estes exercícios a sério. Como alternativa, apresenta o uso de sistemas de simulação virtual como fonte de informação útil para os exercícios de evacuação de emergência. Neste sentido explora o conceito de jogos sérios [5]. Para tal, apresenta um simulador de evacuação de emergência, desenvolvido no âmbito do seu estudo, como ferramenta valiosa para o apoio e melhoria dos exercícios reais, dado que os jogos podem ser bastante atrativos e educativos [4]. Uwe Rüppel [6] apresenta um projeto de investigação para desenvolver uma solução de resposta e recuperação para ajudar as equipas de salvamento em encontrar o caminho mais curto em edifícios públicos e disponibilizar-lhes informação importante. A solução consiste em recorrer à informação BIM para mostrar as plantas do edifício em dispositivos móveis e gerar os percursos a seguir pela equipa de salvamento. Sara Freitas [7] realça um conjunto de características que estão presentes nos videojogos e que os tornam um recurso útil no ensino e treino de pessoas e equipas. São realçadas características como uma maior motivação das pessoas que estão a aprender, taxas de conclusão superiores, possibilidade de aceitar novos alunos ou formandos, criação de atividade colaborativas e a aprendizagem e o ganho de experiência direta.

O processamento computacional de hoje em dia torna possível a análise de vários cenários suportados por simulações. Tratando-se de um edifício, as simulações em fase de utilização do edifício podem resultar em elevados custos de correção de falhas/erros de projeto do edifício. Assim, Uwe Rüppel [8-9] propõe o desenvolvimento de uma plataforma que combine o BIM e diferentes simuladores. Através da integração de simuladores de fogo e fumo, simuladores de evacuações e o BIM, é esperado que a plataforma obtenha um ambiente imersivo com resultados mais realistas. Desta forma, Rüppel procura realizar avaliações mais assertivas do modelo BIM e ter uma visualização única de varias simulações.

O presente artigo estará focado numa proposta de fluxo de trabalho para garantia de adequada interoperabilidade entre plataformas BIM e motores de jogo, garantindo a possibilidade do uso de representações fidedignas dos edifícios no processo de conceção de jogos sérios.

2. Integração de BIM e Jogos de Simulação

A figura 1 ilustra a visão geral da solução idealizada neste trabalho. Como se pode verificar existem três partes fundamentais. Uma parte é definida por um conjunto de serviços de armazenamento de dados BIM, *Data Providers*, e que poderão ser utilizados pelos pacotes de software BIM, *BIM Providers* e pelos designados *Consumers*. Os *BIM Providers* representam o conjunto de pacotes de software BIM que permitem a manipulação de informação nos objetos, materiais e modelos dos edifícios. Os *Consumers* representam o conjunto pacotes de software que utilizam a informação BIM na sua aplicação, mas que não tem capacidade de manipular essa informação. Neste conjunto fazem parte pacotes de software como motores de jogo, simuladores, ou plataformas para simulação social utilizando inteligência artificial distribuída a partir de entidades autónomas, conhecidas como agentes, que permitem desenvolver aplicações com o objetivo de enriquecer os modelos BIM através da sua análise.

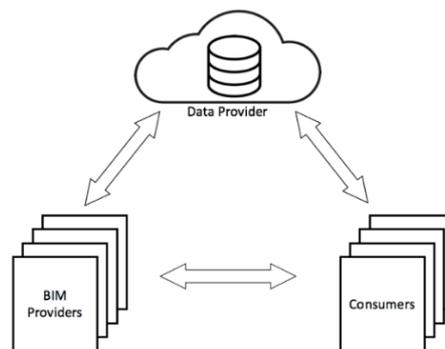


Figura 1: Vista geral da solução.

2.1 Arquitetura e implementação

A arquitetura de alto nível da solução idealizada neste trabalho está ilustrada na figura 2. A arquitetura baseia-se numa solução Cliente-Servidor assente em quatro camadas principais e duas camadas de abstração.

A camada de Cliente é caracterizada pelo bloco *Consumers*. Este bloco representa as aplicações clientes que pretendem utilizar os serviços disponibilizados pelos servidores.

A camada Servidor, por sua vez apresenta um conjunto de subcamadas mais complexo que integra o BIM. Nesta camada, o processo de implementação foi dividido em duas fases.

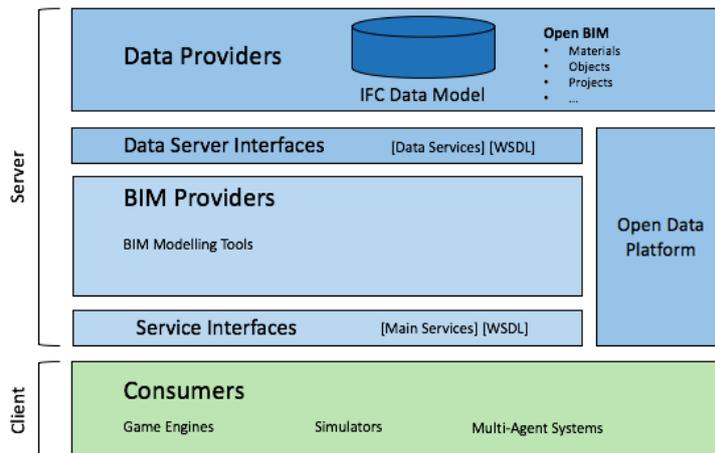


Figura 2: Arquitetura de alto nível.

A primeira fase, que é objeto deste trabalho, consiste no desenvolvimento e implementação da camada *Consumers* das subcamadas *BIM Providers* e *Service Interfaces* (figura 3). Da subcamada *BIM Providers* fazem parte o conjunto de pacotes de software de modelação BIM, como Autodesk Revit ou ArchiCAD, onde são implementados serviços que os *Consumers* utilizarão. Estes serviços são definidos através da linguagem de definição de web-services (WSDL) e tem como principal objetivo abstrair o cliente do servidor e o servidor do cliente.

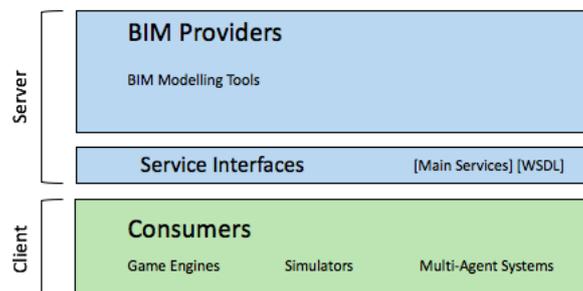


Figura 3: Arquitetura de alto nível (Fase 1).

A fase posterior consiste no desenvolvimento e implementação de uma plataforma *Open Data*, representada pelos blocos *Data Providers*, *Data Server Interfaces* e *Open Data Platform*.

2.2 Problemas inerentes à integração de tecnologias e soluções propostas

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho surgiram várias dificuldades. Este ponto apresenta um resumo das principais dificuldades apresentadas em [1]. Assim são apresentadas dificuldades na utilização do modelo de dados, bem como no desenvolvimento de *add-in* do Autodesk Revit (plataforma BIM) e no Unity 3D (motor de jogo).

Modelo IFC (2x3)

O formato mais utilizado na AEC para partilha de informação BIM obedece ao modelo de dados Industry Foundation Classes (IFC) que tem sido desenvolvido e mantido pela buildingSMART.

Contudo, a perda de informação é frequente no processo de exportação e importação do modelo. Existe um conjunto de informação do modelo BIM que não é convertida em entidades IFC quando este é exportado para IFC.

A informação relativa à textura usada num material é um exemplo de informação que se perde quando um modelo é exportado para o formato IFC. Um cenário de jogo onde os objetos apresentam formas e aparências próximas da realidade terá um maior impacto na imersão do jogador, pelo que as informações relacionadas com a aparência dos materiais e elementos são muito importantes para a criação de um cenário de jogo.

O formato adotado foi o formato proprietário FBX (.fbx), desenvolvido pela Kaydara e detido pela Autodesk. O utilizador precisa apenas de exportar o modelo para este formato. Ao exportar o modelo a partir do Revit, é possível selecionar a opção de exportar o modelo considerando o nível de detalhe geométrico. O modelo pode assim ser importado no motor de jogo com facilidade e ser adicionado à cena de jogo como um objeto de jogo. Por sua vez, o objeto de jogo contém os vários elementos do modelo. Cada elemento do modelo contém no seu nome o número de ID usado como referência na plataforma BIM. Assim a informação geométrica do modelo é transferida para o motor de jogo recorrendo ao formato FBX e a informação adicional é passada através de uma arquitetura cliente-servidor, onde o motor de jogo (cliente) efetua pedidos ao software BIM (servidor) para recolher a informação pretendida.

Autodesk Revit®

A Autodesk disponibiliza uma API (*Application Programming Interface*) para que os seus utilizadores possam desenvolver *add-ins* para implementar e automatizar algumas das suas rotinas de modelação. Apesar da API suportar a framework .NET 4.5 existem muitas funcionalidades que não estão exploradas. O uso de tarefas assíncronas é um desses casos.

A complexidade da estrutura de dados do proprietário utilizada no Revit revelou ser uma das maiores dificuldades deste trabalho. A quantidade de entidades e o facto de não haver uma documentação clara sobre a estrutura e relacionamento dessas entidades, tornou-se num obstáculo difícil de contornar.

As atualizações anuais do Revit e das respetivas API's mostraram incompatibilidades entre versões. Estas incompatibilidades levaram a que rotinas implementadas em versões anteriores não pudessem ser implementadas de igual forma na versão atual. Por exemplo, na versão do Revit 2012, as informações sobre a textura de um determinado material estavam acessíveis através de métodos disponibilizados na API. A partir da versão do Revit 2014, a API sofreu alterações de tal forma que estas informações deixaram de estar acessível pela API.

Unity 3D

No sentido de ultrapassar estas dificuldades na conexão dos dois sistemas via web-services a solução foi implementada de acordo com o protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). Assim, esta solução permite desenvolver aplicações de servidor e cliente de forma independente do protocolo de comunicação. Desta forma evita-se a necessidade de alterar os serviços já implementados caso novos protocolos de comunicação sejam implementados.

Para além das dificuldades relacionadas com os materiais já mencionadas, a aplicação dos materiais no modelo importado apresentou também algumas falhas. O modelo pode ser exportado utilizando o nível de detalhe gráfico dos elementos. Um elemento composto por mais do que um componente, por exemplo uma porta, ao ser exportado sem ser considerado o seu nível de detalhe gráfico, transforma as *mesh*'s de cada componente numa única *mesh*. Desta forma, quando o elemento é importado para o cenário de jogo terá uma única *mesh*. Se o mesmo elemento for exportado considerando o nível de detalhe gráfico, as *mesh*'s de cada elemento ficam agrupadas no mesmo elemento, mas de forma independente.

Para contornar este problema foi implementado o serviço "GetMaterials" para adquirir os materiais de um dado elemento. Assim o Unity efetua um pedido ao Revit para saber quais são os materiais aplicados num dado elemento. Posteriormente o Unity cria os materiais no seu editor de forma a replicar a biblioteca de materiais do Revit no Unity.

Outro aspeto relacionado com os problemas na importação dos materiais é a ausência de padronização na estrutura e propriedades dos materiais nos diferentes pacotes de software. O uso de diferentes propriedades para caracterizar as características dos materiais origina ambiguidade na interpretação das propriedades correspondentes entre as duas plataformas. As propriedades de *shininess* e *smoothness* dos materiais são um dos exemplos onde o Revit e Unity apresentam designações diferentes para a caracterização destas propriedades. Por sua vez, estas propriedades têm uma enorme importância na caracterização e renderização do cenário. A incorreta definição destas propriedades pode causar um resultado completamente diferente do esperado.

2.3 Processo de Integração

A solução desenvolvida segue uma lógica Cliente-Servidor, o que originou a necessidade de processo de integração separado em etapas e atividades quer no lado do Cliente quer no lado do Servidor.

Servidor

A primeira etapa do processo de integração é definida pela exportação do modelo do edifício para o formato FBX, tendo o cuidado de exportar o modelo com o nível de detalhe gráfico selecionado. Uma vez exportado o modelo é necessário iniciar o servidor para que o cliente possa aceder à informação dos elementos do modelo.

Cliente

A figura 4 apresenta a sequência de atividades a seguir para criação do cenário de jogo no lado do cliente. As atividades foram agrupadas em quatro fases distintas. Assim temos as três primeiras fases para preparação do cenário e a última fase para o desenvolvimento do jogo.

A primeira fase, designada "Model Geometry", inicia-se com a importação do modelo do edifício em formato FBX para o projeto, seguido da sua adição à cena de jogo. Com estes passos é adicionado um objeto de jogo que de agora em diante será designado de cenário. Este objeto de jogo contém todos os elementos do edifício que por sua vez são também objetos de jogo. Contudo, é necessário estender a informação destes elementos de forma a integrar a informação BIM do edifício. Para tal é executado o passo, "Parse Elements". Neste passo, os objetos de

jogo contidos no cenário são estendidos com um componente "ModelObject" que permitirá guardar a informação BIM do objeto. São adicionados o número de identificação e o nome do objeto, de forma a poder ser referenciado no servidor.

A segunda fase, "BIM Model Info", consiste na atualização da informação BIM dos objetos do cenário. Nesta fase é esperado que o cliente complete a informação dos objetos de jogo incluídos do cenário. Assim, através da atividade "Gather Elements Info", o cliente solicita a informação de cada objeto incluído no cenário e atualiza os dados do objeto com a informação BIM recebida. Após os objetos de jogo estarem atualizados, são atualizados os materiais aplicados nos objetos. Para tal são executadas as atividades "Gather Materials" e "Update Materials Library and Game Object Materials". A primeira consiste no pedido dos materiais (e suas propriedades) de um determinado elemento. A segunda consiste no processamento e tratamento da resposta do servidor. Assim se algum dos materiais recebidos ainda não estiver replicado na biblioteca de materiais do cliente, este é criado. Se o material existir, cabe ao utilizador decidir se atualiza ou não a informação do material. Desta forma é possível manter no motor de jogo uma biblioteca de materiais que é o reflexo da biblioteca do software BIM. Uma vez atualizados os elementos e os materiais do modelo, a conexão ao servidor pode ser terminada, uma vez que não estão implementados outros serviços.

A terceira fase, "Model Improvement", consiste no refinamento do modelo de forma a corrigir erros oriundos do formato FBX. A primeira atividade desta fase consiste em corrigir os materiais aplicados em elementos simples. Posteriormente é preciso aplicar manualmente os materiais a cada *submesh* de elementos compostos. Assim, o utilizador deve corrigir os materiais dos elementos compostos para cada tipo de elemento composto. Para agilizar o processo, foi implementada uma rotina que permite replicar a aplicação dos materiais de um objeto aos restantes objetos desse mesmo tipo.

Por fim, vem a fase de desenvolvimento do jogo em si, "Game Development". Nesta fase o utilizador deve implementar os scripts com as interações pretendidas de acordo com o objetivo do jogo. Na figura 4 foram destacados os *scripts* associados à abertura e fecho de portas, ao acender e apagar luzes, ao jogador e à lógica de jogo, uma vez que são as interações que permitem esta solução destacar-se das soluções existentes no mercado.

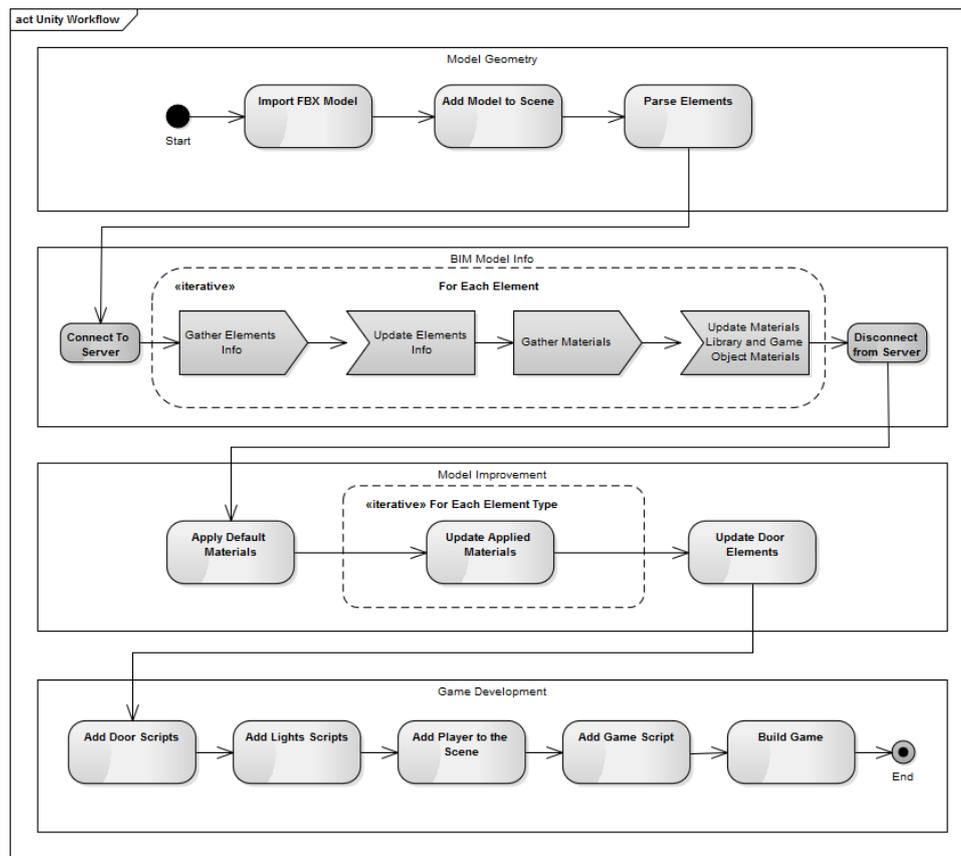


Figura 4: Diagrama de atividades da solução.

3. Casos de Estudo

No sentido de avaliar a solução desenvolvida neste trabalho foram realizados quatro casos de estudo. Os casos de estudo consistem em executar um conjunto de ações para alcançar um fim comum, que neste caso será um ambiente virtual de um edifício onde o utilizador possa navegar livremente pelo edifício segundo uma vista de primeira pessoa. Cada caso de estudo usará um conjunto de ferramentas diferentes e será avaliado num conjunto de parâmetros. Posteriormente é feita uma comparação entre os resultados obtidos em cada caso de estudo no sentido de obter uma avaliação relativa entre os vários conjuntos.

Cada caso de estudo foi avaliado de acordo com um conjunto de métricas de forma a avaliar a solução individualmente e posteriormente comparar com as restantes soluções. As métricas definidas para avaliação das soluções são: (i) nível de esforço necessário; (ii) necessidade de tarefas manuais; (iii) quantidade de ferramentas necessárias; (iv) dependência de software; (v) experiência do utilizador; (vi) nível de realismo do cenário (renderização); (vii) interações do utilizador com o modelo; (viii) expansão e integração com outros sistemas.

Nos casos de estudo deste trabalho utilizaram-se ferramentas utilizadas atualmente na AEC para a exploração do modelo e por fim a solução desenvolvida. Assim, o primeiro consiste em utilizar a ferramenta de visualização avançada disponível com o Autodesk Revit. No segundo

caso é utilizado o software BIMx, da empresa Graphisoft. O caso três consiste em utilizar o motor de jogo Stingray, da Autodesk. O Stingray foi adquirido pela Autodesk para promover a exploração em tempo real, animação e interação do modelo do edifício. Assim este caso é o caso de estudo que mais se aproxima da solução desenvolvida neste trabalho. Por fim, o último caso consiste em avaliar a solução desenvolvida usando os pacotes de software Autodesk Revit® e Unity3D.

Nos casos de estudo um, três e quatro foi utilizado o modelo avançado Revit disponibilizado pela Autodesk no seu sítio Web. A escolha deste modelo resultou da necessidade de utilizar um modelo com complexidade geométrica elevada de forma abranger o maior número de situações possíveis. Ao mesmo tempo era necessário que os elementos tivessem um nível de desenvolvimento tal que permitisse extrair informações sobre a composição dos elementos e materiais aplicados. No caso de estudo 2, dada a dependência do formato da ferramenta, foi utilizado outro edifício.

4. Análise de Resultado

No ponto anterior cada caso de estudo foi analisado individualmente. Os resultados obtidos para cada critério analisado, em cada uma das soluções, encontram-se resumidos na Tabela 1.

A solução do Revit torna-se uma solução válida quando se pretende realizar simples visualizações e explorações do modelo. Nestas situações o utilizador procura realizar ações rápidas de visualização sem precisar de realizar interações com o modelo. Como se pretende que estas ações sejam rápidas, o facto de o utilizador ter de utilizar mais do que um *software* para obter um ambiente virtual torna-se uma desvantagem. Contudo, a navegação do utilizador disponível nesta solução é pouco prática para o utilizador, pelo que neste aspeto as restantes soluções são uma melhor opção. Se o utilizador pretender navegar pelo modelo com um nível de renderização aceitável as restantes soluções conseguem melhores resultados, uma vez que para obter nível de renderização elevados a navegação pelo modelo fica impraticável.

Já o BIMx consegue um nível de renderização aceitável ao mesmo tempo que permite uma navegação na perspetiva de primeira pessoa bastante fluida. No entanto tem o inconveniente de obrigar a que o modelo seja exportado a partir do ArchiCAD, limitando a escolha dos pacotes de software de modelação da equipa projetista do modelo. As interações do utilizador com o modelo são também limitadas. O utilizador pode atravessar portas sem que haja colisões e impedimentos entre a porta e o utilizador o que torne o ambiente menos realista do desejável.

A solução do Stingray por sua vez apresenta um bom resultado na renderização do ambiente e permite a implementação de diversas interações entre o modelo e o utilizador. No entanto a necessidade de o modelo passar por quatro ferramentas (ver [1]) para gerar o ambiente virtual navegável por qualquer utilizador torna a solução dissuasora dos utilizadores menos experientes.

Tabela 1: Análise comparativa das soluções.

	Autodesk Revit®	BIMx	Stingray	Unity 3D
Esforço	Baixo	Baixo	Elevado	Médio
Correções no modelo	Não	Não	Sim	Sim
N.º de ferramentas	1	1	4	2
Dependências de software	Sim	Sim	Sim	Não
Conhecimento de utilização	Sim	Não	Não	Não
Renderização	Baixo	Aceitável	Bom	Aceitável
	Luzes	Não	Não	Sim
Interações	Portas	Não	Não	Sim
	Info	Sim	Limitada	Sim
Integração de outros sistemas (simuladores, sistemas multi-agentes, ...)	Não	Não	Sim	Sim

Por sua vez, a solução proposta neste trabalho e que foi implementada no caso de estudo do Unity 3D, permite que a equipa projetista do modelo escolha as suas próprias ferramentas de modelação BIM, desde que estas implementem a solução proposta. O software de edição do ambiente virtual fica também ao critério dos utilizadores. Desta forma a solução promove a interoperabilidade entre pacotes de software. O resultado da renderização do ambiente não é tão bom como a renderização da solução do Stingray mas é aceitável. Contudo, o esforço necessário para gerar o ambiente virtual é bastante inferior ao esforço requerido pela solução do Stingray, pelo que torna a solução mais apelativa para os utilizadores. Já a nível de expansibilidade a solução proporciona a possibilidade de integrar com sistemas simuladores e multiagentes à semelhança do Stingray. As figuras 5.a) e 5.b) apresentam o ambiente virtual resultante do processo definido na solução. Conforme é possível verificar o resultado obtido é um ambiente virtual bastante aceitável mesmo sem despendar grandes esforços no Unity a configurar as propriedades de iluminação, fator que tem grande influência no realismo do cenário.



a) Vista exterior



b) Vista interior

Figura 5: Ambiente virtual final em Unity 3D.

5. Conclusões e trabalho futuro

A solução resultante deste trabalho comprova que a integração do BIM nos jogos de simulação contribui para um desenvolvimento de ambientes virtuais realistas. Os criadores vêem reduzido o esforço de criação de ambientes virtuais realistas, que por sua vez incluem significativas quantidades de informação sobre materiais e outras propriedades. Como resultado é possível definir comportamentos também mais realistas. Por sua vez, a integração de jogos de simulação no BIM contribui para uma melhor navegação e exploração do edifício, ao mesmo tempo que se tira proveito do potencial dos jogos de simulação para apoiar as tomadas de decisão da equipa projetista do edifício e dos restantes intervenientes, através de simulações e análises efetuadas nos jogos de simulação. Confirmou-se, portanto, que existe benefício mútuo na integração do BIM nos jogos de simulação e os jogos de simulação no BIM.

Com este trabalho foi possível identificar diversas dificuldades que, embora tenham sido ultrapassadas, merecem ainda um aprofundamento no sentido de melhorar os resultados obtidos. Assim, reúne-se os trabalhos futuros em três grupos: Interoperabilidade, Plataforma Open Data e Jogos BIM. A na implementação da arquitetura Cliente-Servidor SOAP através de Web Services da WCF reflete-se numa maior adoção da solução por parte da indústria. O desenvolvimento e implementação de uma plataforma Open Data deverá ser capaz de dissociar o modelo do edifício dos pacotes de *software* BIM, integrando numa base de dados relacional o modelo de dados IFC. Neste sentido a plataforma funcionaria como repositório de elementos BIM ao mesmo tempo que poderia ser utilizada como uma plataforma colaborativa durante a conceção do projeto do edifício. Por sua vez, a plataforma serviria também de biblioteca de materiais com as suas propriedades físicas e aparência. Outra área que pode servir de base para futuros trabalho consiste no desenvolvimento de jogos de simulação que se adequem às diversas fases de conceção do projeto, incluindo as fases operacionais do edifício.

Referências

- [1] V. Mineiro, Exploração dos benefícios mútuos entre BIM e jogos de simulação. Dissertação de Mestrado. Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2016.
- [2] C. A. Clark, *Serious Game*, 1970.
- [3] D. R. Michael e S. L. Chen, “Serious games: Games that educate, train, and inform,” 2005.
- [4] J. Ribeiro, J. E. Almeida, R. J. F. Rossetti, A. Coelho e A. L. Coelho, “Using serious games to train evacuation behaviour,” em *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 2012.
- [5] E. Cordeiro, A. L. Coelho, R. J. F. Rossetti e J. E. Almeida, “Human behavior under fire situations—portuguese population,” em *Fire and Evacuation Modeling Technical Conference*, 2011.
- [6] U. Rüppel e K. M. Stuebbe, “BIM-based indoor-emergency-navigation-system for complex buildings,” *Tsinghua Science & Technology*, vol. 13, p. 362–367, October 2008.
- [7] S. Freitas, “Using games and simulations for supporting learning,” em *Learning, media*

- and technology, 2006.
- [8] U. Rüppel e P. Abolghasemzadeh, “Bim-based immersive evacuation simulations,” em 18th International Conference on the Application of Computer Science and Mathematics in Architecture and Civil Engineering, 2009.
 - [9] U. Rüppel e K. Schatz, “Designing a bim-based serious game for fire safety evacuation simulations,” *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, p. 600–611, 2011.

PROPOSTA DE SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO NACIONAL ORIENTADO PARA OBJETOS BIM

Henrique Nunes ⁽¹⁾, Paula Couto ⁽²⁾, Maria João Falcão Silva ⁽³⁾, Fernando F.S. Pinho ⁽⁴⁾

(1) FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa

(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

(3) Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa

(4) CERis, ICIST, FCT, Universidade NOVA de Lisboa, Lisboa

Resumo

O setor de atividades de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) português evidencia a crise socioeconómica que tem afetado o país nos últimos anos. Considerando que este setor é uma das bases da economia do país, é necessário estabelecer metas para o seu desenvolvimento e modernização. O desenvolvimento e divulgação do uso de tecnologias da informação, aliados à implementação de processos Building Information Modelling (BIM) e à adoção de sistemas de classificação para a construção, em harmonia com os sistemas e normas internacionalmente aceites, apresentam-se como objetivos relevantes na evolução do setor.

A crescente difusão dos processos BIM tem sensibilizado os diferentes intervenientes da AECO para a importância das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e da sua uniformização. Reconhecendo a relevância desta questão, a International Organization for Standardization (ISO), através do Comité Técnico 59 (TC59) desenvolve normas com o intuito de uniformizar a forma de classificação da informação, com publicações orientadas para o desenvolvimento de Sistemas de Classificação de Informação para a Construção (CICS).

A comunicação tem por base a dissertação de mestrado do primeiro autor, e apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento e implementação de um CICS nacional, baseada na análise de sistemas internacionais de classificação, orientada para objetos BIM e com uma abrangência que permita representar a complexidade dos processos do setor.

1. Introdução

O setor de atividades de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) português evidencia as consequências da crise socioeconómica que tem afetado o país nos últimos anos, a qual provocou um atraso no desenvolvimento deste setor, pelo que o mesmo se apresenta desatualizado face a outros, não tendo acompanhado plenamente os avanços internacionais relacionados com metodologias, materiais e tecnologias de informação e de construção [1]. Considerando que o setor AECO é uma das bases da economia de qualquer nação, é necessário estabelecer metas para o seu desenvolvimento e modernização.

O desenvolvimento, divulgação e intensificação do uso de tecnologias da informação, aliados à implementação de processos BIM e à adoção de Sistemas de Classificação de Informação da Construção (CICS, sigla inglesa para Construction Information Classification System), em harmonia com os sistemas e normas internacionalmente aceites, apresentam-se como objetivos importantes na evolução do setor AECO nacional, cuja relevância na atividade económica portuguesa e no desenvolvimento do país, se encontra patente na responsabilidade e capacidade de absorver grande parte da mão-de-obra não qualificada ou não empregada por outros setores [2].

Nos últimos anos tem-se observado o aparecimento de ferramentas informáticas cada vez mais eficientes, capazes de modelar e representar de modo mais realista variados projetos de engenharia civil, com diferentes graus de complexidade. A utilização destas ferramentas, aliada à necessidade e procura de agrupar e reunir informação sobre todo o ciclo de vida de determinado empreendimento, está no mote do desenvolvimento do processo Building Information Modelling (BIM). Atualmente existem diversos *softwares* e variadas abordagens ao modo como se insere, se guarda e se apresenta a informação disponibilizada, pelo que, torna-se fundamental que todos os intervenientes recorram à mesma linguagem para partilhar informação e também que esta esteja organizada e classificada de acordo com os mesmos princípios [3].

A crescente divulgação e implementação dos processos BIM tem sensibilizado os diferentes intervenientes do setor para a importância das Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e da sua uniformização, tendo alguns países desenvolvido CICS adaptados à sua realidade nacional. Reconhecendo a dimensão e a relevância desta questão, a International Organization for Standardization (ISO), através do Comité Técnico 53 (TC53) tem desenvolvido normas com o intuito de uniformizar a forma como a informação é classificada. É o caso da ISO12006-2:2015 [4] e ISO12006-3:2006 [5], cujo principal objetivo é orientar o desenvolvimento de CICS. Apesar de existirem diversos sistemas internacionais de classificação de informação [6]–[8], não existe até ao momento nenhum sistema de classificação de referência que seja aplicado de uma forma consistente ao contexto português.

No contexto nacional, foi criado o Comité Técnico 197 (CT197) com o objetivo acompanhar os desenvolvimentos do Comité Técnico Europeu para a normalização BIM (CEN/TC 442) e contribuir no desenvolvimento de normalização no âmbito dos sistemas de classificação, modelação da informação e processos ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos [9].

2. Importância de classificar

O conceito de Classificação pode ser decomposto em três propósitos principais: i) o de agrupar objetos em classes, facilitando a compreensão desses objetos enquanto parte de um mundo extremamente completo e complexo; ii) o de permitir a criação de taxonomias, isto é, classificações e descrições científicas baseadas em terminologias consistentes, o que possibilita a comunicação clara e assertiva entre intervenientes; por último, iii) o de classificar potenciando a eficiência na recolha, tratamento e distribuição de informação sobre diversos, distintos ou semelhantes, objetos, já que oferece um método sistemático, hierarquicamente organizado e codificado. Neste contexto, os objetos podem representar conceitos concretos (materiais de construção, edifícios, etc.), ou conceitos abstratos (p.e. propriedades de materiais) [10].

Classifica-se quando se realiza uma distribuição de objetos em classes, sendo que, uma classe é composta por um conjunto de objetos com determinadas particularidades em comum, relação lógica ou afinidade, que possibilita a sua distinção de outros objetos [11]. As classes podem ser decompostas em subclasses, e assim sucessivamente, aumentando a particularidade do conjunto de características da classe anterior. Apresenta-se na Figura 1 a ilustração da hierarquia característica de um sistema de classificação de informação.

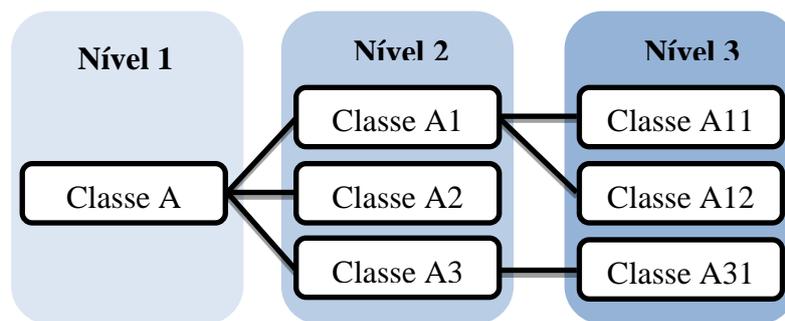


Figura 1: Estrutura de classificação hierárquica com três níveis de detalhe.

De acordo com o nível de detalhe de cada classe, estas são designadas de modo distinto. Classes do mesmo nível de subdivisão são denominadas Coordenadas (Classes A1, A2 e A3), classes mais abrangentes, e portanto, com nível de detalhe inferior, são designadas por Subordinantes (Classe A). De modo idêntico, classes com nível de detalhe superior são designadas por Subordinadas, já que existe uma classe superior a esta, associada a um conjunto de características menos particulares (A11 e A12 são classes subordinadas de A1) [10].

Um sistema de classificação pode ser definido de forma simplista como sendo “um conjunto de termos ou classes organizado” [11] e tal definição pode ser aplicada de diferentes formas a um infundável conjunto de objetos, oriundos de diferentes áreas ou temas (Biologia, Engenharia, Literatura, etc.). Apresentam-se na Figura 2 os principais tipos de classificação que se consideram como da maior relevância no estudo e análise de sistemas de classificação de informação para a construção [10].

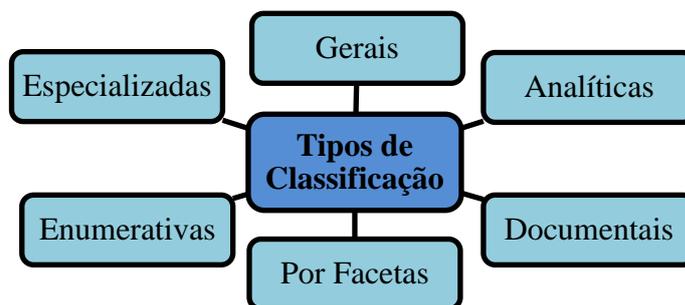


Figura 2: Tipos de classificação relevantes para a Construção.

Uma classificação que tenha por objetivo um assunto particular, bem delimitado, é denominada por Especializada, uma vez que a sua abrangência está bem definida, inversamente, se o seu objetivo for abranger todo um universo de informação, denomina-se Geral.

Quando uma classificação pretende sistematizar informação, com o intuito de facilitar a sua explicação e compreensão, então constitui uma classificação Analítica (também conhecida por classificação Científica ou Taxonomia). Por oposição, uma classificação designada como Documental pressupõe a classificação de documentos ou de diferentes tipos de informação com o intuito de facilitar a sua organização, armazenagem e localização [10].

Relativamente às classificações Enumerativas, estas assumem esta designação quando o seu objetivo é listar exaustivamente todas as subclasses, incluindo as compostas, diretamente relacionadas com a classe principal, enquanto que nas classificações por facetas, as subclasses são criadas através da decomposição da classe principal de acordo com determinado princípio, simples e particular, de divisão, o que permite a criação de classes compostas baseadas no consórcio de princípios de divisão. Esta particularidade tem como consequência a necessidade de definir a ordem como as facetas são agrupadas. São exemplos de facetas a função, forma ou material de determinado objeto [10]. Refere-se ainda, que as tipologias apresentadas não se excluem mutuamente, sendo possível encontrar em várias classificações, utilizações simultâneas destes sistemas.

3. Sistemas de classificação de informação da construção

O estudo de alguns dos sistemas de classificação para a construção internacionais mais difundidos e utilizados atualmente, constitui uma importante referência para a criação de uma proposta de um CICS nacional. Os princípios base, de estruturação e de codificação, validados pela aplicação e evolução desses sistemas, apresentam-se como importantes referências na elaboração de um sistema de classificação português.

A inexistência de um CICS completo faz com que se torne necessário analisar sistemas de classificação nacionais que abrangem o setor AECO mas cujo foco não seja exclusivo neste setor. A principal vantagem de analisar estes sistemas prende-se com a terminologia e conceitos

utilizados, e ainda, com os complementos com que estes são publicados, nomeadamente, as bases de dados de descrições.

3.1 Sistemas internacionais de classificação

O desenvolvimento de uma metodologia para a criação de um CICS nacional poderá beneficiar com a adoção de características semelhantes às de alguns sistemas de classificação de informação internacionais existentes [6]–[8], [12], [13]. Na Tabela 1 expõe-se os sistemas analisados, as regiões geográficas onde são publicados e os seus possíveis contributos para um sistema nacional.

Tabela 1: Possíveis contribuições dos sistemas de classificação de informação internacionais.

Sistema de Classificação	Possíveis contributos
UniClass 2015 (Reino Unido)	Nível de abrangência; Estrutura hierárquica; Relação entre tabelas; Complemento de base de dados de terminologias; Codificação flexível, possibilidade de introduzir novos elementos.
OmniClass (Estados Unidos da América)	Nível de abrangência; Desenvolvimento colaborativo com o setor AECO; Foco nas convenções e práticas nacionais não descurando a compatibilidade com outros sistemas; Relação entre tabelas.
UniFormat (Estados Unidos da América e Canadá)	Codificação intuitiva; Nível de detalhe capaz de classificar edifícios especiais; Segregação dos elementos e conseqüente incremento no nível de detalhe.
MasterFormat (Estados Unidos da América e Canadá)	Capacidade de complementar informação internamente (pela entidade ou utilizador); Codificação flexível, possibilidade de introduzir novos elementos.
eCl@ss 9.0 (Europa)	Desenvolvimento colaborativo com o setor; Terminologia adotada facilita a tradução de conceitos.

3.2 Sistemas nacionais de classificação

A inexistência de um CICS nacional completo faz com que apenas seja possível analisar sistemas de classificação de informação, relacionados com a indústria da construção, com o objetivo de identificar os seus possíveis contributos no desenvolvimento de uma metodologia para a criação de um sistema de classificação de informação da construção completo. Na Tabela 2 expõe-se os sistemas analisados [14]–[17], as entidades responsáveis pela sua publicação e os seus possíveis contributos.

Tabela 2: Sistemas nacionais de classificação de informação e suas entidades responsáveis.

Sistema de Classificação	Possíveis contributos
Classificação Portuguesa das Atividades Económicas – CAE-Rev.3 (Instituto Nacional de Estatística)	Lista de definições de conceitos e termos como ferramenta facilitadora da aplicação e interpretação do sistema.
Vocabulário Comum dos Contratos Públicos – CPV (Comissão Europeia)	Vocabulário suplementar que permite associar determinado código a respetiva descrição, facilitando aplicação e interpretação do sistema.
Classificação Portuguesa das Construções – CC-PT (Instituto Nacional de Estatística)	Separação entre diferentes tipos e tamanhos de empreendimentos (edifícios e obras de engenharia civil); Conceção do sistema para que o nível de detalhe seja adequado às necessidades atuais do setor.
Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção – ProNIC (Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção)	Listagem e estruturação dos capítulos dos trabalhos de construção; Classificação de materiais de acordo com função, forma e material; Terminologia e conceitos utilizados.

3.3 Síntese comparativa

A análise dos sistemas de classificação referidos anteriormente, não permite por si só, identificar um sistema, cujas características e particularidades, favoreçam a sua adoção como sistema de referência para o desenvolvimento de um CICS português. Os sistemas estudados apresentam diversas e diferentes vantagens e desvantagens, pelo que se torna relevante identificar os principais atributos que o sistema a desenvolver deverá possuir e escolher então, como base orientadora, aquele que apresentar o maior número de atributos favoráveis. A escolha dos principais atributos a comparar prende-se com o objeto do sistema a conceber. Com efeito, pretende-se desenvolver um sistema padronizado, abrangente e flexível, dotado de uma codificação intuitiva, que seja aplicável às metodologias BIM e promova a interoperabilidade entre sistemas.

Dado que os sistemas de classificação portugueses não foram concebidos com um grau de abrangência suficiente para contemplar todo o setor da Construção portuguesa e, apesar de constituírem boas ferramentas de classificação de informação da sua área de foco, o seu nível de detalhe é tal que, não lhes permite constituir uma base de referência que oriente a conceção do CICS nacional. Neste sentido, estes sistemas não são integrados na Tabela 3, muito embora a sua análise sugira, que alguns dos seus atributos poderão favorecer a adaptação do sistema a desenvolver, ao contexto português.

Relativamente aos sistemas internacionais, OmniClass incorpora o UniFormat e o MasterFormat, sendo de facto um sistema de classificação para a Construção mais abrangente e completo do que os mencionados. Neste sentido, apresenta-se na Tabela 3 a comparação entre os atributos dos Uniclass 2015, OmniClass e eCl@ss 9.0.

Tabela 3: Comparação entre os sistemas UniClass 2015, OmniClass e eCI@ss 9.0.

Principais Atributos	UniClass 2015	OmniClass	eCI@ss 9.0
Adaptação com metodologias BIM	✓		
Nível de detalhe idêntico em todas as tabelas	✓		✓
Focados na Indústria da Construção	✓	✓	
Tabelas Inter-Relacionáveis	✓	✓	
Concebido em concordância com a ISO12006-2	✓	✓	
Compatibilidade com outros sistemas de classificação		✓	
Codificação Intuitiva	✓	✓	✓
Disponível em diferentes línguas			✓
Estrutura hierárquica	✓	✓	
Classificação Especializada	✓	✓	

Ponderando os principais princípios, atributos e vantagens dos diferentes sistemas de classificação analisados, internacionais e nacionais, surge que o desenvolvimento de um Sistema Nacional de Classificação de Informação da Construção deverá basear-se no sistema internacional UniClass 2015 e integrar vantagens de outros sistemas.

Sendo o UniClass 2015 a principal referência, tal implicará que o sistema a conceber esteja em conformidade com as normas internacionalmente aceites, e portanto seja um sistema padronizado. Assim, o CICS nacional deverá contemplar os seguintes princípios gerais: i) Estar em conformidade com a norma ISO12006-2:2015; ii) Incluir uma classificação composta por tabelas hierarquicamente organizadas; iii) Abranger a complexidade e dimensão dos trabalhos do setor AECO nacional; iv) Ser dotado de uma codificação simples, intuitiva e flexível para acomodar novas entradas; v) Permitir a aplicação isolada das tabelas ou de tabelas relacionadas entre si; vi) Integrar uma base de dados de terminologias, conceitos e descrições;

4. Proposta de um modelo de classificação

A metodologia de classificação proposta resulta da análise de diferentes sistemas de classificação de informação, nacionais e internacionais, da revisão de outra proposta de metodologia [10], da aprendizagem de conceitos base sobre organização de conhecimento [11], da consideração atenta dos princípios orientadores do sistema de classificação UniClass 2015 [17] [18] e ainda, baseia-se no padrão proposto pela ISO12006-2 [4].

O CICS nacional deverá ser composto por diferentes tabelas classificativas. Estas tabelas permitem organizar a informação em diferentes classes e a sua estrutura deverá seguir o

princípio básico de modelação, onde um procedimento construtivo utiliza recursos de construção para alcançar resultados. Deste modo, todas as classes, apesar de poderem classificar informações diversas, ficam estruturadas de modo idêntico. Uma vez que se pretende envolver todo o setor no desenvolvimento e evolução do sistema, este deverá ser disponibilizado em formato digital, numa plataforma apropriada, que permita receber críticas e comentários sobre as tabelas e a sua utilização.

Sugere-se que sejam adotados outros princípios: i) a etapa do ciclo de vida, onde decorrem os processos de construção, caracteriza o processo construtivo, por sua vez, os processos construtivos deverão estar agrupados em quatro tipologias: processos anteriores à conceção, de conceção, de produção e de manutenção; ii) as entidades de construção são responsáveis pelas atividades e funcionalidades disponíveis para o utilizador, estas entidades são compostas por elementos construtivos que podem por sua vez ser compostos por diferentes partes, com diferentes níveis de complexidade; iii) um espaço pode ter relações espaciais (estar “contido em”, “ao lado de”, etc.) e pode ser interpretado como um espaço onde se realizam atividades, um espaço construído (caracterizado pelos resultados da construção) ou um espaço onde se constrói; iv) os recursos de construção compreendem produtos de construção, agentes de construção, ajudas de construção e informação da construção. A diferença entre um recurso de construção e um resultado da construção depende da relação com o procedimento construtivo, isto é, o recurso da construção pode ser utilizado na gestão de determinado procedimento ou pode ser o resultado de determinado procedimento; v) os objetos de construção contêm propriedades construtivas que por sua vez são representadas como atributos na informação da construção [4].

Relativamente à forma como a informação é classificada, esta deverá ser estruturada de modo hierárquico e, dependendo do “tipo” de informação que se pretende classificar, o tipo de classificação a utilizar deve ser analisado e adotado para cada tabela, em função do seu propósito (recorrer a uma classificação enumerativa, para classificar produtos de construção, por oposição a uma geral, aparenta ser uma escolha mais correta). Realça-se que o tipo de classificação a adotar não deve ter carácter exclusivo, sendo possível que a informação possa, por exemplo, ser organizada por meio de facetas e ser enumerativa.

A análise dos diferentes CICS, permitiu concluir que ao agregar diferentes tipos de classificação (geralmente, por facetas complementada por outro tipo) consegue-se obter um maior nível de abrangência e complexidade. Assim, considera-se aconselhável seguir o mesmo procedimento na análise e organização de informação com base no tipo de classificação por facetas.

Sugere-se que se adote o seguinte procedimento: i) identificação das classes principais; ii) criação das facetas (característica particular que possibilita a distinção entre objetos) para cada classe principal iii) estabelecer a ordem entre objetos dentro de cada faceta; iv) estabelecer a ordem de citação para facetas compostas (duas ou mais facetas são utilizadas para distinguir objetos); v) estabelecer a ordenação das facetas; vi) acrescentar a notação.

Relativamente à codificação utilizada, sugere-se esta seja alfanumérica, composta por 2 caracteres iniciais com o propósito de identificar a tabela, seguido de 4 pares de caracteres numéricos, com a função de identificar o grupo, subgrupo, secção e objeto. A ISO12006-2[4] recomenda que cada objeto seja classificado por uma única tabela, com apenas um código

correspondente, evitando assim incongruências ou ambiguidades no sistema. No entanto, é possível classificar determinado objeto com recurso a várias tabelas.

Com base na proposta apresentada e tendo como base de referência o sistema UniClass 2015, encontra-se em desenvolvimento a tabela de Elementos / Funções, tendo sido realizada a sua tradução e adaptação ao contexto nacional, com o auxílio dos complementos de termos e definições patentes nos sistemas nacionais de classificação. Apresenta-se na Tabela 4 um excerto dessa tabela.

Tabela 4: Excerto da tabela Elementos / Funções.

Código	Grupo	Subgrupo	Secção	Objeto	Título
EF 25	25				Paredes e elementos divisórios
EF 25 10	25	10			Paredes
EF 25 30	25	30			Portas e Janelas
EF 25 55	25	55			Divisórias

Atualmente a tabela contém cerca de 70 itens, compreendidos entre os primeiros dois níveis de detalhe (grupo e subgrupo). Prevê-se complementar a tabela com termos e definições, bem como com a criação de um portefólio gráfico, que permita a associação de modelos tridimensionais digitais à respetiva classificação.

5. Conclusões

A proposta de modelo de classificação apresentada é sustentada pela análise e identificação dos princípios de desenvolvimento de diversos sistemas de classificação de informação, internacionais e nacionais, reflete a revisão de outra metodologia proposta e considera as recomendações patentes no padrão ISO12006-2. Deste modo procura-se dotar o CICS nacional de princípios que lhe confirmam um grau de abrangência, complexidade e normalização tal, que possibilite a sua adoção como referência no setor AECO nacional.

A utilização generalizada de um CICS nacional poderá contribuir para a normalização da informação da construção, facilitando a criação de bases de dados, a troca de informações entre os diversos intervenientes dos procedimentos construtivos, ultrapassando barreiras geográficas e linguísticas. Constitui, por essas razões, uma ferramenta útil na Indústria da Construção, onde se tem observado o aumento da quantidade e complexidade da informação.

Referências

- [1] Federação Portuguesa da Indústria da Construção e Obras Públicas, “Conjuntura da Construção nº81”, 2015.
- [2] R. Pereira, “Sistemas de classificação na construção. Síntese comparada de métodos.”,

- Dissertação de Mestrado, DEC, FEUP, Porto, 2013.
- [3] M. Venugopal, C. M. Eastman, R. Sacks, e J. Teizer, “Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema”, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 26, n. 2, pp. 411–428, 2012.
- [4] ISO, “ISO 12006-2:2015 - Building construction - Organization of information about construction works - Part 2: Framework for classification”. 2015.
- [5] ISO, “ISO 12006-3:2007 - Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information”, 2012. [Online]. Disponível em: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=38706. [Acedido: 04-Set-2016].
- [6] CPIC, “CPIC Uniclass2”, 2015. [Online]. Disponível em: <http://www.cpic.org.uk/uniclass/>. [Acedido: 11-Mar-2016].
- [7] CSI, “MasterFormat”. [Online]. Disponível em: <http://www.csinet.org/Home-Page-Category/Formats/MasterFormat.aspx>. [Acedido: 22-Mar-2016].
- [8] Secretariat OCCS Development Committee, “OmniClass: A Strategy for Classifying the Built Environment”. [Online]. Disponível em: <http://www.omniclass.org/about.asp>. [Acedido: 22-Mar-2016].
- [9] A. A. Costa, “PTPC na CT 197: A indústria do lado da Normalização BIM - Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção”, 2015. [Online]. Disponível em: <http://www.ptpc.pt/index.php/pt/400-ptpc-na-ct-197-a-industria-do-lado-da-normalizacao-bim>. [Acedido: 08-Out-2016].
- [10] M. Monteiro, “Classificação da Informação na Indústria da Construção - Perspectivas e Percursos”, Dissertação de Mestrado, DEC, FEUP, Porto, 1998.
- [11] C. D. Needham, “Organizing Knowledge in Libraries: An introduction to information retrieval”, em *Organizing Knowledge in Libraries: An introduction to information retrieval*, Second Rev., London: Christopher D. Needham, 1971.
- [12] CSI, “UniFormat”. [Online]. Disponível em: <http://www.csinet.org/Home-Page-Category/Formats/UniFormat.aspx>. [Acedido: 22-Mar-2016].
- [13] “eCI@ss Home”. [Online]. Disponível em: <http://www.eclass.eu/eclasscontent/index.html.en>. [Acedido: 15-Mar-2016].
- [14] Instituto Nacional de Estatística, *Classificação Portuguesa das Actividades Económicas —Revisão 3 (CAE—Rev. 3)*. 2007.
- [15] CE, “Guia do Vocabulário Comum para os Contratos”. pp. 1–17, 2008.
- [16] Instituto Nacional de Estatística, *Classificação Portuguesa das Construções*, 1ª Edição. Lisboa, 2005.
- [17] A. A. Costa, “ProNIC – Protocolo para a Normalização da Informação Técnica na Construção”. IMPIC, pp. 1–143, 2016.
- [18] J. Gelder, “The design and development of a classification system for BIM”, *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*, vol. 149, pp. 477–491, 2015.
- [19] J. Gelder, “The principles of a classification system for BIM: Uniclass 2015”, *Living and Learning: Research for a Better Built Environment: 49th International Conference of the Architectural Science Association*, vol. 1, pp. 287–297, 2015.

CLASSIFICAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DE OBJETOS BIM E SUA APLICAÇÃO EM MODELOS 4D & 5D

Ana Quintela ⁽¹⁾, João Pedro Couto ⁽²⁾, Francisco Reis ⁽³⁾

(1) Efacec Engenharia e Sistemas, SA, Maia

(2) Universidade do Minho, Guimarães

(3) BIMMS, Lda, Porto

Resumo

No presente artigo, o conceito BIM (Building Information Modeling) e os sistemas de classificação da informação foram combinados no sentido de entender de que forma os sistemas de gestão da informação contribuem para a otimização dos processos de gestão da construção.

O objetivo centra-se na identificação e estudo dos diferentes tipos de sistemas de classificação, integrando-os com os modelos BIM de modo a obter uma melhor organização da informação desde a fase do projeto de engenharia, com o objetivo da melhoria do desempenho dos utilizadores no desenvolvimento dos modelos de planeamento e custo (4D e 5D). Adicionalmente e face aos resultados da aplicação dos sistemas existentes, este artigo amplia o tema explorando um sistema de classificação de sistemas e organização da informação baseado num sistema internacional existente mais adequado aos objetivos de aplicação, com o intuito de retirar vantagens competitivas da sua utilização no âmbito da gestão. Este modelo de sistema pretende organizar de toda a informação dos modelos 3D por forma a promover uma linguagem transversal e melhorar o rigor da informação e comunicação entre os diversos intervenientes, uniformizando processos funcionais e organizacionais, aumentando a eficiência, a produtividade e rentabilidade nas diversas fases da cadeia de valor de uma organização sistemista.

1. Introdução

Desde o século XIX, o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) tem perdido o seu posicionamento, relativamente ao desenvolvimento tecnológico, para outras indústrias, revelando-se um setor com baixa produtividade [1]. A falta de capacidade de aceitar e implementar estas tecnologias da informação ou a sua adoção demasiado lenta é um dos fatores que elucida as diferenças entre o sector AEC e as outras indústrias. [2], [3].

As tecnologias da informação e comunicação surgem, com o intuito de promover o crescimento das várias indústrias e de as modernizar através de novos métodos de trabalho [4].

O BIM é apresentado como uma solução, para ajudar na resolução dos problemas inerentes ao setor AEC, pela sua metodologia que apresenta uma nova abordagem à gestão da informação, sistematizando um conjunto de políticas, processos e tecnologias interrelacionadas, e proporciona uma metodologia para gerir um projeto e toda a sua informação através de um formato digital, ao longo do ciclo de vida do edifício [5]–[7]. Dada a grande quantidade de informação que o sector AEC pode gerar, é necessário que esta informação esteja organizada e padronizada de modo a alcançar a sua gestão eficaz. Deste modo, surgem os sistemas de classificação, que são metodologias de uniformização, organização e partilha da informação [8].

Ainda que, as metodologias BIM apresentem ainda apresenta algumas fragilidades na aplicação direta dos sistemas de classificação. No entanto, é relevante destacar que ainda que existam muitos sistemas de classificação internacionais, estes sistemas ainda se encontram numa fase de desenvolvimento incapaz de satisfazer algumas das necessidades existentes.

Perante estas considerações o tema deste artigo centra-se no estudo e aplicação de metodologias de organização e classificação da informação, gerada pelos modelos BIM, com o intuito de facilitar a preparação e gestão da construção. Neste sentido os domínios explorados foram os sistemas de classificação existentes, metodologia BIM nas diversas dimensões com especial ênfase para 4D e 5D e os processos utilizados em organizações sistematistas.

2. Terminologias e Sistema de Classificação no setor da construção

O setor AEC, envolve um conjunto vasto de informação, pelo que é importante que toda esta esteja organizada padronizada [9]. No sentido de suprimir algumas debilidades presentes neste setor relativa à organização da informação que se iam acentuando em determinados processos, muitas indústrias do setor, no início do século XX começaram a desenvolver os sistemas de classificação [10], [11].

Desde então ao longo dos anos têm sido desenvolvidos vários sistemas variando consoante a sua aplicação. Neste sentido com o intuito de apoiar a cooperação dentro e entre os diferentes países, foram desenvolvidas normas internacionais. Relativamente à classificação da informação do setor da construção a International Organization for Standardization (ISO) desenvolveu a norma ISO 12006-2, que define uma estrutura e um conjunto de títulos de tabelas recomendadas, mas não o seu conteúdo detalhado dessas tabelas, pois as tabelas de classificação podem variar em detalhes para atender às necessidades locais [12], [13].

Existem inúmeros sistemas de classificação usados em todo o mundo. Neste artigo serão apresentados quatro sistemas de classificação considerados como dos mais importantes e utilizados no setor da construção e que apoiam a metodologia BIM, nomeadamente Omniclass, MasterFormat, Unifomat e Uniclass.

Omniclass Construction Classification system, elaborado pelo Construction Specification Institute (CSI), Construction Specifications Canada (CSC) e International Alliance for Interoperability (IAI), é um sistema de classificação para a indústria da construção, usado para organizar a biblioteca de materiais, literatura de produtos, informação do projeto. Este sistema deriva das normas elaboradas pela ISO 12006-2 e incorpora outros sistemas como base das suas tabelas, como o MasterFormat para resultados de trabalho, UniFormat para elementos e EPIC para produtos [14]. Estas tabelas permitem a classificação de produtos (como por exemplo betão, tijolos, portas de madeira) através da tabela Produtos (tabela 23), pela sua funcionalidade (como por exemplo, paredes exteriores, escadas, coberturas) através da tabela Elementos (tabela 21) e por resultados de trabalho (como por exemplo, betão, alvenaria, vãos, acabamentos) pela tabela Resultados de Trabalho (Tabela 22). A combinação destas tabelas numa abordagem multifacetada permite classificar um produto e a sua função precisa [15].

O MasterFormat foi desenvolvido pelo CSI e CSC e amplamente adotado e usado na indústria da construção no Norte da América. Este sistema consiste numa lista de números e títulos classificados por atividades de construção e utilizados na organização das especificações, dados do produto, base de dados de custos da construção, notações de desenho, dados de gestão de instalações e outras informações da construção. Embora forneça uma lista detalhada e ordenada de possíveis títulos, MasterFormat é projetado para maximizar a flexibilidade para usuários individuais, permitindo o usuário atribuir de novos códigos e títulos nos locais apropriados [16] [14], [17]. Este sistema segue uma organização enumerativa.

O UniFormat foi desenvolvido no Norte da América e é um método de organização de informações da construção com base em elementos, ou partes de uma instalação caracterizadas pelas suas funções, sem ter em conta os materiais e métodos utilizados para a sua realização. Este sistema é visto frequentemente em especificações de desempenho e descrições de projetos preliminares (PPD). O uso do presente sistema, é mais notável como um formato para orçamentistas apresentar estimativas de custos durante a fase de desenho conceptual. UniFormat é um sistema hierárquico e permite a agregação e resumo em diferentes níveis. [18], [19].

Uniclass foi desenvolvido no Reino Unido. Este sistema baseou-se nos princípios da ISO 12006-2 e teve como principal objetivo ser utilizado no planeamento e gestão da construção. Inicialmente este sistema foi fundado com 15 tabelas, cada uma com subtítulos e códigos que, segundo seus autores, cobrem os interesses de toda a indústria construção. No entanto, em 2013 o sistema foi atualizado e renomeado para Uniclass2. Esta atualização deveu-se a problemas de alcance, código, profundidade, colocação dos objetos e granulação. Como resposta ao feedback da indústria relativamente às tabelas publicadas pelo Construction Project Information Committee (CPIC) em 2013, surge o Uniclass2015 [12], [20] [21] [22].

3. Contribuição dos sistemas de classificação no desenvolvimento de modelos 4D e 5D

Dentro do ambiente BIM a importância dos sistemas de classificação resulta da necessidade de normalizar as designações atribuídas aos elementos de um modelo, de modo a permitir que os dados sejam pesquisáveis de forma adequada, a evitar que estes dados se percam e que sejam cometidos erros. Para além disso, ter a informação toda organizada segundo uma estrutura

normalizada é conveniente para a utilização de todos os intervenientes, pois permite que a informação seja comunicada entre eles de forma eficiente.

Antes de escolher um sistema de classificação é necessário ter noção do âmbito e objetivo de aplicação do sistema. Neste sentido iremos procurar entender a importância e aplicabilidade dos 4 principais sistemas realizados na América do Norte e no Reino Unido e que são os mais adequados às necessidades da fase de planeamento e estimativa de custos. Os sistemas de classificação contêm informações e metodologias de organização diferentes dependendo dos objetivos de aplicação. Assim é importante avaliar as principais características destes sistemas compará-los por forma a entender qual o mais adequado às necessidades de aplicação pretendida. Na comparação entre sistemas é importante ter atenção a esta comparação, de forma a não serem comparados sistemas com diferentes propósitos e estrutura. Para tal é preciso entender que existem dois de sistema, no que diz respeito à sua estrutura, a classificação enumerativa que representa uma única lista hierárquica de codificação e designação correspondente e a classificação faceteada que é composta por várias tabelas paralelas e que se estruturam hierarquicamente. O que significa que os sistemas como Omniclass e Uniclass, podem ser comparados na sua íntegra, mas sistemas como o Unifomat e Masterformat apenas podem ser comparados com as tabelas correspondentes a estes no sistema Uniclass.

No sentido de avaliar a pertinência dos sistemas de classificação ao objetivo de aplicação estabelecido, iremos ver de que forma estes sistemas se alinham de forma a obter uma estrutura organizacional adequada.

O Omniclass consiste em 15 tabelas hierárquicas, que representam diferentes formas de classificar a informação da construção. Este sistema tem diferentes aplicações dentro do ambiente BIM e cada tabela deste sistema pode ser usada independentemente ou pode ser combinada com outras, dependendo do objetivo de aplicação.

Os sistemas Masterformat e Unifomat, que o Omniclass incorpora em suas tabelas, são os sistemas Norte Americanos mais apropriados na aplicação do planeamento e estimativas de custo. O Unifomat tem a capacidade de organizar a informação de forma mais intuitiva durante as fases do projeto de construção, uma vez que os elementos são agrupados em categorias lógicas baseado na localização ao invés da sua finalidade. Contrariamente o Masterformat baseia-se numa classificação consoante o que foi realizado e o objetivo que foi alcançado, o que por vezes pode ser mais relevante para a gestão da construção.

O Masterformat, permite a classificação segundo os resultados de trabalho ou as práticas de construção, baseado nos materiais de construção, possibilitando uma organização mais detalhada e adequada para os custos. Contudo a complementaridade destes dois sistemas permite uma maior precisão nas decisões de projeto, pelo que se devem alinhar no sentido de organizarem a informação do modelo de forma mais detalhada e eficiente. Utilizando como exemplo o Betão, no Masterformat o código 03-31-00 é reservado para a classificação material “Betão”, no entanto este pode ser utilizado em diferentes sistemas (como paredes e lajes), pelo que podemos utilizar o Unifomat para identificar o local de aplicação deste, como podemos ver no exemplo apresentado na Figura 1. Neste exemplo, foi utilizado os sistemas Unifomat e

Masterformat, contudo poderão ser utilizadas as tabelas do Omniclass correspondente a estes sistemas (nomeadamente as tabelas 21 e 22).

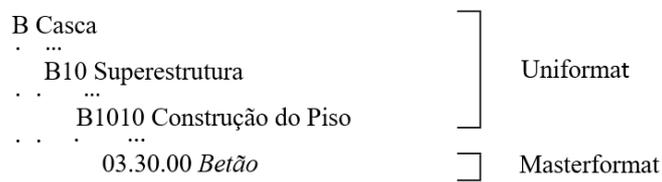


Figura 1: Mapeamento entre os sistemas Unifomat e Masterformat.

Assim como o Omniclass, o Uniclass 2015 tem aplicação ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos e cada tabela deste sistema tanto podem ser utilizadas de forma independente como podem ser combinadas.

Apesar de ambos estarem ambos em consonância com os pressupostos definidos pela ISO, cada um tem diferentes interpretações para estrutura de classificação e também tem diferentes estratégias para a sua organização. Uniclass ao contrario do Omniclass apresenta uma relação direta com as tabelas propostas pela ISO 12006-2 mais recente e apresentam-se hierarquicamente definidas, promovendo a maturação progressiva da informação. Além disso o Uniclass 2015 apresenta maior proximidade aos costumes correntes da empresa e do país. O conjunto de tabelas permite que as informações de um projeto sejam definidas a partir de uma visão mais ampla para o mais detalhado e de acordo com as necessidades dos utilizadores, como podemos verificar na Figura 2. O BIM requer uma abordagem unificada para que a classificação da informação funcione de forma eficiente. Por forma a atender este requisito da metodologia BIM o Uniclass 2015 apresenta as suas tabelas de forma mapeada ao contrario do Omniclass, que não apresenta alinhamento entre suas tabelas.

Ainda de o Uniclass 2015 tenha sido um dos primeiros sistemas alinhados com as novas definições da ISO, este sistema ao contrario do estabelecido na ISO 12006-2:2015 removeu a tabela Resultados de Trabalho, substituindo por duas tabelas “Sistemas” e “Produtos”.

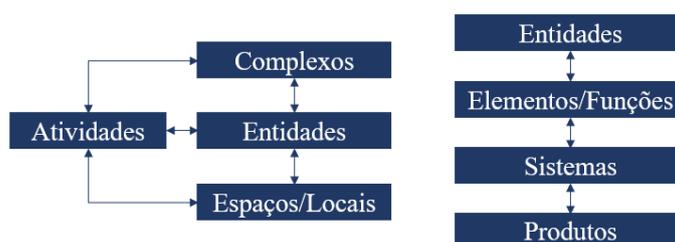


Figura 2: Alinhamento entre tabelas do Uniclass 2015 [22].

Entende-se a importância da utilização de um sistema de classificação no conceito BIM, uma vez que estes sistemas oferecem informações organizadas e estruturadas sobre os elementos utilizados no projeto. Entende-se também que estes processos de organização da informação geram bons resultados, aperfeiçoando a forma de se trabalhar na indústria da construção apoiados nos sistemas organizacionais abordados. Contudo, após o estudo dos sistemas de

classificação abordados, constatou-se que apesar dos sistemas de classificação serem fundamentais na organização da informação para a gestão da construção, a organização destes é demasiada dispersa para a sua aplicação direta em organizações nacionais sistemistas, influenciando procedimentos e métodos de trabalho fortemente enraizados. Acresce a isto o facto de serem sistemas com origem noutros países e naturalmente os processos de construção variam dos restantes países, embora existam sistemas como o Uniclass 2015 com fatores comuns aos aplicados em Portugal.

No que diz respeito aos desenvolvimentos nacionais no âmbito dos sistemas de classificação, prevê-se o desenvolvimento de um sistema de classificação da informação, tendo como base o sistema Português ProNIC (Protocolo para a Normalização da Informação Técnicas na Construção). Estes desenvolvimentos decorrerão no âmbito da Subcomissão 2 “Trocas e Requisitos de Informação” da Comissão Técnica de Normalização de BIM (CT197).

Dada a complexidade nas organizações, maturidade e todo o trabalho desenvolvido, os sistemas originados nos EUA e no UK deverão ser alvo de estudo de adaptação à realidade portuguesa. De acordo com o referido anteriormente, o Uniclass 2015 para além de apresentar maior proximidade aos costumes nacionais está alinhado com as novas definições da ISO 12006-2:2015, pelo que é importante que seja estudada a viabilidade de adaptação do ProNIC à estrutura de organização proposta pelo Uniclass 2015, pois permitirá uma maior integração do ProNIC no âmbito do BIM.

4. Contributo para o estabelecimento de uma norma para a classificação da informação de sistemas

Embora devam existir normas internacionais para melhorar a colaboração entre países, é necessário um sistema nacional bem definido para atender às necessidades locais. Uma vez que não existe um sistema de classificação nacional alinhado com a metodologia BIM, viu-se a necessidade de estudar uma estrutura de organização e classificação da informação de sistemas baseado na adaptação das práticas correntes nas organizações sistemistas ao sistema de classificação Uniclass 2015, para o uso em projetos destas organizações de modo a classificar a informação associada aos modelos BIM e retirar vantagens competitivas para a utilização desta no âmbito da gestão (4D e 5D).

Requisitos e propósito

No âmbito deste artigo o sistema em estudo tem como principais objetivos a organização da informação técnica disponível nos objetos tridimensionais, para apoio à criação de Mapas de quantidades, Custo e Planeamento, de modo a qua haja uma redução do tempo despendido, erros e incertezas na extração de quantidades. Além disso, este sistema deverá promover uma linguagem transversal entre os diferentes intervenientes e melhorar a performance na gestão dos projetos.

Para além dos principais objetivos são apresentados os princípios gerais deste sistema:

- Aproveitamento dos sistemas de classificação internacionais existentes e baseado nas normas estabelecidas na ISO12006-2 e ISO 12006-3;

- Adequação/Adaptação dos procedimentos existentes nas organizações aos sistemas de classificação internacionais existentes e o seu mapeamento;
- Flexibilidade e adaptabilidade da taxonomia, permitindo a inserção quando necessária de novos códigos e títulos;
- Adequação da taxonomia para a fácil organização do Mapa de Quantidades;
- Taxonomia *user-friendly* de modo a facilitar a sua utilização para os diferentes utilizadores;
- Cobertura de todo o processo de construção ao longo do ciclo de vida dos objetos.

Permitir a classificação e estruturação de diversas formas para atingir os diferentes objetivos de aplicação.

Estrutura e organização do sistema

A abordagem proposta para esta estrutura classificativa é a classificação faceteada por permitir atender os diferentes objetivos de aplicação, ainda que no âmbito deste artigo o foco seja o planeamento e custos. A estratégia de organização utilizada é semelhante ao sistema Uniclass 2015, por ser o mais adequado às práticas existentes e por responder às necessidades de organização de sistemas.

Para este sistema é proposto uma hierarquia para onde os elementos de Construção Civil o principal ponto de partida seguido de Complexos são as Entidades ou Espaços. Quando se trata de Sistemas o principal ponto de partida seguido de Complexo serão os Sistemas, pois para as unidades sistemistas a primeira necessidade é identificar que um conjunto de tubos, válvulas ou bombas pertence a determinado sistema ao invés de local/espço. A classificação e associação dos objetos aos sistemas no que diz respeito à organização e estruturação da informação é fundamental, já que se um sistema é partilhado por diferentes edifícios/espços torna-se difícil identificar a utilização, função e localização dos elementos. Ainda que a necessidade primária seja a identificação do sistema, esta informação poderá ser complementada pela identificação espacial, ainda que não seja essencial à organização. Na Figura 3 encontra-se um exemplo esquematizado um circuito de uma Estação de Tratamento de Lamas, de forma muito simplificada, partilhado por diferentes locais/espços.

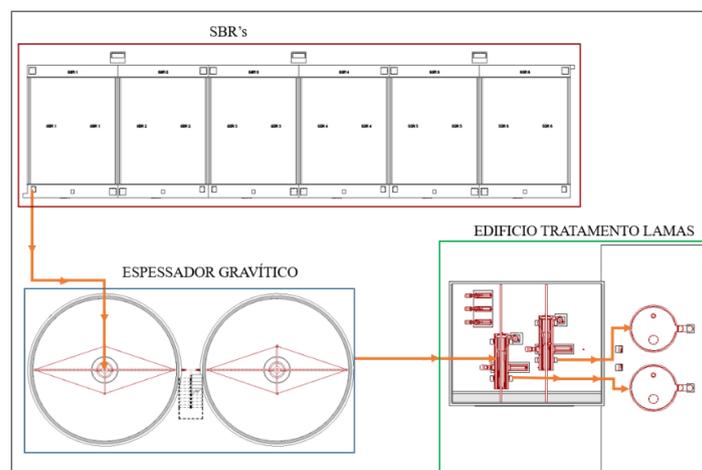


Figura 3: Circuito partilhado por varios edificios.

Esta estrutura poderá ser base para extração de quantidades e custos, onde níveis mais elevados da hierarquia podem representar toda a informação agregada por exemplo de custos. Como se encontra identificado na Figura 3, existem níveis que são inerentes ao projeto e não ao produto, o significa que um produto pode ser classificado quando criado, pois, a sua classificação não sofrerá alterações, o mesmo não acontece quando a classificação depende do tipo de obra/espaco/sistema. Outras estruturas poderão ser formadas dependendo do objetivo de aplicação. Este exemplo de estrutura entende-se a mais adequada para organizar os elementos para extração de quantidade e estimativas de custo.

A estrutura classificativa em estudo foi projetada para maximizar a flexibilidade dos utilizadores podendo ser expansível. Ainda que seja possível a adição de novos códigos, os códigos existentes não devem ser alterados de modo a manter a consistência e fiabilidade da estrutura.

Na Figura 4 encontra representado um exemplo de classificação de elementos de Construção Civil e Sistemas de uma Estação de Tratamento de Aguas Residuais baseado no sistema de classificação em estudo.

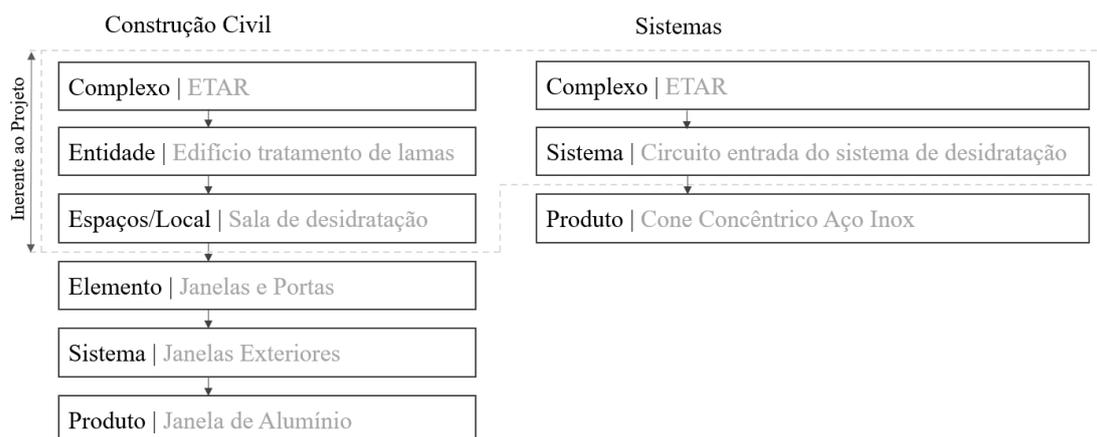


Figura 4: Classificação de elementos de um projeto de uma ETAR.

Aplicação do sistema no desenvolvimento de modelos 4D e 5D

Um dos aspetos mais importantes na indústria da construção é a quantificação dos materiais e elementos de um projeto, sendo estes os elementos chave para uma análise de planeamento e custos.

A importância na precisão do processo de quantificação deve-se pelo facto do planeamento e custos estarem dependentes deste processo, pois simples falhas no processo de quantificação do projeto poderão ter um impacto forte no processo de gestão da construção.

A utilização do sistema de classificação que organiza a informação de acordo com o projeto em questão (Figura 4) podendo apoiar a fase de planeamento no processo exaustivo de construção do programa de trabalhos. Sem uma abordagem de classificação por local/espaco (no caso dos elementos de Construção Civil) e Sistemas (no caso de elementos pertencentes a Sistemas), o

modelo consistia num conjunto de elementos desorganizados, pelo que não seria útil para as fases de Planeamento e Custos.

A extração de quantidades sistematizada e organizada segundo o sistema de classificação pode ser comunicada com uma base de dados de preços, desde os preços de diferentes fornecedores, ao preço de venda através de códigos de classificação dos objetos para que todo este processo seja automático. Uma extração de quantidades baseada no modelo permite uma atualização dinâmica aquando das alterações dos modelos pelo que, os custos terão também a respetiva atualização. Sendo que para a modelação se utilizam ferramentas BIM diferentes das utilizadas para controlo de custos é requerido que exista interoperabilidade entre diversos softwares com o intuito de construir uma estimativa viável, evitando erros na interpretação da informação.

Toda a informação que o modelo 3D incorpora e que é organizada e estruturada, integrada com sistemas de gestão para além de economizarem tempo e esforço em atividades de planeamento e custo permitirá tomar decisões fundamentadas em fase de projeto.

6. Considerações Finais

A utilização dos sistemas de classificação permite a otimização dos processos associados ao planeamento e custos, através da organização, estruturação e codificação da informação inserida nos modelos 3D. Contudo, constatou-se que a fase de desenvolvimento em que sistemas de classificação existentes se encontram ainda é incapaz de satisfazer as necessidades de organização e estruturação da informação para apoio a modelos BIM 4D e 5D, principalmente no que diz respeito à classificação de Sistemas.

O exemplo de sistema apresentado no âmbito deste artigo, ainda numa fase preliminar, pretende para além de colmatar uma necessidade existente dos sistemistas, estabelecer uma relação com a classificação dos trabalhos tendo atenção à legislação nacional (nomeadamente ProNIC) e ao aproveitamento das oportunidades que as tecnologias da informação atualmente oferecem na otimização dos processos e desenvolvimento de aplicações que apoiem os conceitos abordados.

Referências

- [1] J. Martins, “Modelação do Fluxo de Informação no Processo de Construção,” Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and constructor*. 2011.
- [3] Bruno Caires, “BIM as a tool to support the collaborative project between the Structural Engineer and the Architect,” Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2013.
- [4] P. M. A. Lázaro, “Gestão Da Informação Na Construção - Aplicação De Ferramentas Colaborativas No Desenvolvimento De Projectos De Construção,” Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [5] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012, pp. 24–26, 2012.

- [6] A. Monteiro and J. P. Martins, “Building Information Modeling - Funcionalidades e Aplicação,” pp. 1–11, 2011.
- [7] A. Barbosa, “A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia,” Relatório de Estágio, Instituto de Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [8] A. F. Quintela, J. P. P. M. Couto, and F. Reis, “Classificação e Organização de Objetos BIM e sua Aplicação em Modelos 4D e 5D.” Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2015
- [9] S. M. de C. Jesus, “Análise e Alinhamento de Tecnologias de Construção,” Tese de Mestrado Universidade do Minho, 2010.
- [10] A. Monteiro, P. Mêda, and J. Poças Martins, “Framework for the coordinated application of two different integrated project delivery platforms,” *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 87–99, 2014.
- [11] R. Scherer , Ardeshir Mahdavi, Bob Martens, “eWork and eBusiness in Archiceture, Engineering and Construction,” 2015.
- [12] M. Monteiro, “Classificação da Informação na Indústria da Construção - Prespectivas e Percursos,” Faculdade de Engenharia da Universidade do porto, 1998.
- [13] ISO 12006-2, *Building Construction - Organization of information about construction works Part 2 : Framework for classification of classification*, 2001st–11th–01 ed. 2001.
- [14] CSI, “OmniClass: Introduction and User’s Guide,” p. 29, 2006.
- [15] Robert W. Johnson, “Classifying product information,” CSRF- the Construction Sciences Research Foundation, 2008. [Online]. Disponível: http://www.csrf.org/pubs/classify_prod_info.html.
- [16] R. S. W. e J. R. R. J. Harold J. Rosen , Mark Kalin, *Construction Specifications Writing - Principles and Procedures*, 6Th ed. 2010.
- [17] CSI, “CSI- MasterFormat.” [Online]. Disponível: <http://www.csinet.org/masterformat>. [Acedido: 20-Agosto-2016].
- [18] CSC CSI, *UniFormat, A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies*. 2010.
- [19] R. P. Charette and H. E. Marshall, “UNIFORMAT II Elemental Classification for Building Specifications, Cost Estimating, and Cost Analysis,” p. 103, 1999.
- [20] S. V. N. Biscaya, “Coordination and management of information for construction design projects a framework for Portugal,” University of Salford, Salford, UK, 2012.
- [21] CPIC, “Proposed changes to the UK construction sector’s classification system, Uniclass2 – why and how.” [Online]. Disponível: <http://www.cpic.org.uk/uniclass/uniclass2/>. [Acedido: 13-Agosto-2016].
- [22] S. Delany, “Classification,” NBS BIM Toolkit Beta, 2015. [Online]. Disponível: <https://toolkit.thenbs.com/articles/classification#classificationtables>. [Acedido: 20-Agosto-2016].

BIM NO PROJETO DE ESTRUTURAS DE OBRAS HIDROELÉTRICAS

Alexandre Marques ⁽¹⁾, Miguel Azenha ⁽¹⁾, André Ferreira ⁽²⁾

(1) ISISE, Universidade do Minho, Guimarães

(2) EDP Produção, Porto

Resumo

Pretendeu-se com este trabalho avaliar os principais desafios à implementação do BIM na fase de projeto de obras hidroelétricas. Para isso, foram elaborados modelos BIM deste tipo de empreendimentos, com aplicação a várias componentes estruturais no contexto do reforço de potência Venda Nova III. Um dos mais importantes desafios prendeu-se com a complexidade geométrica das peças a modelar, tendo-se recorrido à sinergia entre a linguagem de programação visual *Dynamo* e a plataforma BIM *Revit*. Os modelos criados foram explorados para diversos ‘usos BIM’, como obtenção de desenhos de execução e extração de quantidades. Adicionalmente à descrição da elaboração e exploração de modelos, este artigo detalha também um plano de implementação BIM específico com a finalidade de impulsionar e facilitar a implementação de metodologias BIM no departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP Produção.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção sofre mudanças graduais nos seus processos, nomeadamente com a aplicação crescente de tecnologias de informação, materializada na implementação do BIM – ‘Building Information Modelling’. A nível internacional, já há relatos de empresas que implementaram esta metodologia, tendo apontado diversos benefícios com a mudança, nomeadamente em termos de gestão de cronogramas, estimativas e análises de risco, havendo também melhoria nos processos colaborativos e uma gestão mais eficaz de instalações. Além destes fatores, a metodologia BIM permite ainda testar diversas soluções em curtos intervalos de tempo, visto que se materializa num modelo tridimensional parametrizado, e permite uma melhor integração das diferentes especialidades de um projeto, podendo facilmente ser detetados e corrigidos problemas relacionados com erros e incompatibilidades [1].

Em termos de aplicação do BIM a obras hidroelétricas, a informação disponível é bastante parca, havendo apenas relatos de implementações na China, embora não tenham sido, ainda, exploradas todas as dimensões e potencial associados à metodologia. Apesar disso, a expectativa é que no futuro se atinjam os mesmos resultados que em obras de complexidade menor [2].

Tendo em conta o exposto, o presente trabalho pretende avaliar os principais entraves, em termos técnicos de modelação e processos de implementação, à mudança de paradigma para obras hidroelétricas, nomeadamente na fase de projeto. O artigo contempla uma parte inicial de descrição das particularidades inerentes às obras hidroelétricas, bem como dos principais desafios que se colocam à utilização de metodologias BIM nesse contexto (Secção 2). Seguidamente, na Secção 3, é apresentada a modelação de duas peças teste do aproveitamento hidroelétrico Venda Nova III, com recurso a programação visual (Dynamo/Revit): (i) a central; (ii) a tomada de água. Com base na informação incorporada nos modelos, na Secção 4, são explorados alguns ‘usos BIM’ de interesse para o departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP Produção: geração automática de peças desenhadas e extração de quantidades. Finalmente discutem-se alguns aspetos relativos ao plano de implementação/execução BIM elaborado (Secção 5) e conclusões finais do trabalho (Secção 6).

2. Obras Hidroelétricas e Implementação BIM

2.1 Aspetos gerais de um Aproveitamento Hidroelétrico

Um aproveitamento hidroelétrico tem como objetivo a utilização da energia potencial de uma massa de água, num dado desnível topográfico, transformando-a em energia elétrica. Assim, as zonas preferenciais para a produção de energia são zonas montanhosas, zonas de elevada pluviosidade e bacias hidrográficas de maior dimensão.

O processo para produção de eletricidade baseia-se em conversão sucessiva de energia. A barragem, componente de um aproveitamento hidroelétrico, forma uma reserva de água, ‘rica’ em energia potencial gravítica. Esta reserva de água é depois captada para o circuito hidráulico, na tomada de água, percorrendo o túnel de adução até à turbina, que se encontra na central. Neste escoamento há conversão de energia potencial gravítica em energia cinética. A passagem da água pela turbina move as lâminas desta num movimento rotacional, sendo a energia cinética convertida em energia mecânica. O alternador transforma, depois, a energia mecânica em energia elétrica.

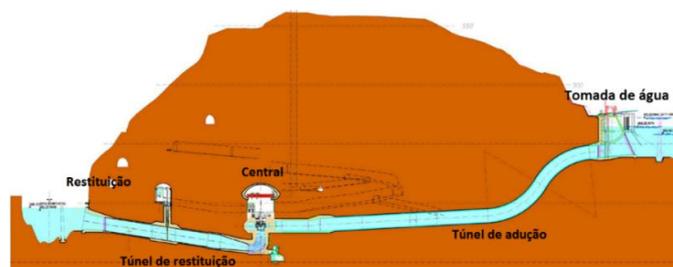


Figura 1: Perfil longitudinal de Picote II. Adaptado de [3].

Após passagem pela turbina a água segue para a restituição, através do túnel da restituição. Na Figura 1 é possível observar um corte longitudinal adaptado do reforço de potência do Aproveitamento Hidroelétrico de Picote - Picote II - estando identificadas as principais componentes do circuito hidráulico (tomada de água, túnel de adução, túnel de restituição e restituição) e a central.

2.2 Desafios à implementação BIM

Há um conjunto de barreiras e limitações que têm culminado numa adoção relativamente lenta das práticas BIM em contexto profissional. Além das condicionantes de natureza técnica, que procuram ser ultrapassadas pelos produtores de *software* com a criação de plataformas BIM cada vez mais potentes e pela evolução tecnológica que permite *hardware* cada vez mais capaz, há ainda a considerar a mudança cultural, interpretada por muitas empresas como o principal entrave à alteração de paradigma na indústria. O conservadorismo e resistência à mudança por parte de profissionais experientes da indústria é, apesar de tudo, tendencialmente contrariado pelos profissionais mais novos, que são em geral mais recetivos à adoção de tecnologias de informação. Há ainda a destacar o investimento (a nível de *software* e treino de colaboradores), a lenta curva de aprendizagem (além dos *softwares* há novos processos de trabalho), o maior envolvimento de equipa (necessário promover uma maior interação colaborativa), a interoperabilidade (o formato IFC não está, ainda, isento de falhas) e aspetos relacionados com responsabilização/autoridade (não devem ser comprometidos direitos de autor e responsabilização dos diferentes intervenientes) [4].

No caso particular de projetos de aproveitamentos hidroelétricos, há um agravamento de alguns dos aspetos anteriormente referidos. A elevada dimensão destes empreendimentos eleva o risco da adoção de metodologias BIM e o número de entidades envolvidas. Além do dono de obra e do empreiteiro, há ainda a considerar a influência que o fornecedor de equipamentos ou empresas subcontratadas (para estudos, projeto de estruturas, medidas geotécnicas, entre outros) têm no processo, sendo ponto assente que quanto maior for a adoção por parte dos diferentes intervenientes, maiores serão os potenciais benefícios obtidos com a mudança de paradigma. Também o facto de se tratarem de empreendimentos de elevada complexidade conduz a um aumento da inércia por parte das empresas na adoção do BIM, pois requer maiores conhecimentos por parte dos colaboradores na exploração de *software*, agrava as limitações da interoperabilidade e complica as questões de responsabilização/autoridade devido à maior complexidade do ambiente de partilha.

3. Modelação

Com o objetivo de obter uma melhor perceção acerca dos desafios técnicos à implementação BIM no contexto da Direção de Engenharia de Barragens da EDP, optou-se pela modelação de três constituintes de um aproveitamento hidroelétrico em casos particulares que foram objeto de projeto recente na EDP: uma central (Venda Nova III), uma tomada de água (Venda Nova III) e uma restituição (Fridão). No presente artigo será apresentada a modelação da central e da tomada de água, sendo que a restituição seguiu uma estratégia análoga à adotada no caso da tomada de água.

3.1 Estratégia global

O *software* escolhido para a modelação das componentes supracitadas foi o *Revit Structure*, da *Autodesk*. Esta escolha baseou-se em três aspetos fundamentais: (i) comprovada capacidade do *software* em questão no contexto BIM, sendo inclusive um líder de mercado a nível global; (ii) existência de licença de utilização *Revit* na EDP; (iii) experiência prévia disponível na utilização da plataforma. No entanto, quer as plataformas BIM em geral, quer a plataforma utilizada estão otimizadas para modelação de edifícios, não incorporando normalmente capacidades de modelação expedita de peças complexas como as que compõem os circuitos hidráulicos de interesse no contexto deste trabalho. Por essa razão foi necessário o recurso a soluções complementares. Considerou-se que a ferramenta de programação gráfica *Dynamo*, que é gratuita e pode ser associada diretamente à plataforma *Revit* (como uma extensão) poderia constituir-se como uma solução viável, pelo que foi adotada para apoio à modelação. Esta associação direta entre *Dynamo* e *Revit* traz também a interessante característica de minimizar potenciais problemas de interoperabilidade caso fossem utilizadas aplicações totalmente independentes.

Assim, estabeleceu-se a estratégia de que a modelação de uma componente/obra seria repartida pelo *Revit* e pelo *Dynamo*. Os elementos mais complexos, e que constituem um desafio de modelação no *Revit*, são modelados recorrendo a programação visual (*Dynamo*), enquanto a restante estrutura segue o processo de modelação corrente com base em classes de objetos já disponíveis nas plataformas BIM.

3.2 Central de Venda Nova III

A central é a componente de um aproveitamento hidroelétrico que mais se assemelha a um edifício corrente. Apesar disso, a central contém estruturas de betão de elevada complexidade, com o objetivo de fornecer suporte ao alternador e à turbina. Na Figura 2 são apresentados alguns cortes da central, a título ilustrativo.

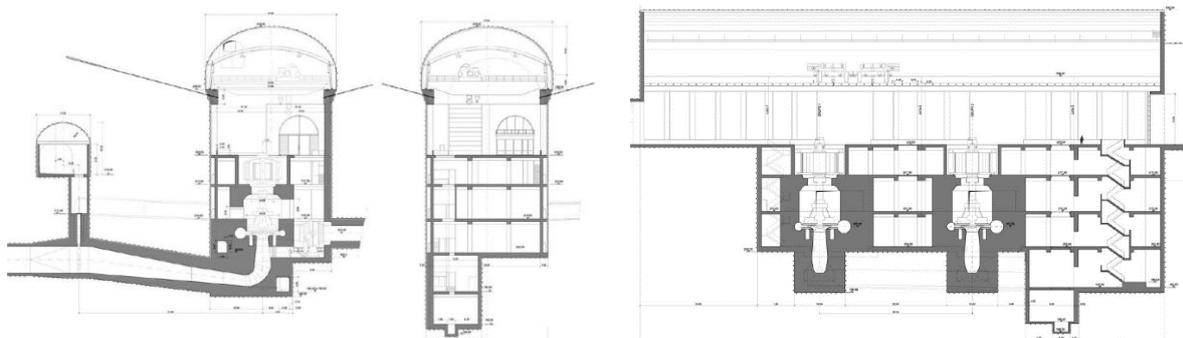


Figura 2: Cortes da Central de Venda Nova III: transversais (esquerda) e longitudinal (direita).

A turbina, do tipo Francis, é composta por diferentes componentes, nomeadamente a espiral e tubo de aspiração, representados na Figura 3. A obtenção do modelo de estruturas da Central exigiu a modelação do maciço de betão envolvente destes equipamentos, de forma a garantir a adequada complementaridade geométrica do maciço de suporte.

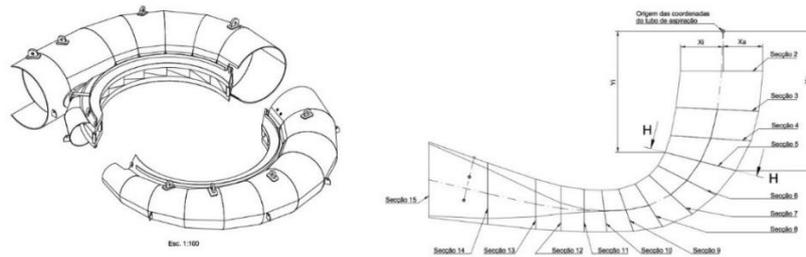


Figura 3: Equipamento hidromecânico de Venda Nova III: vista 3D da espiral (esquerda) e corte longitudinal do tubo de aspiração (direita).

Esta modelação foi realizada com recurso ao *Dynamo*, tendo-se criado um algoritmo de programação gráfica em que os parâmetros manipuláveis pelo utilizador correspondem aos parâmetros identificados pelo fornecedor de equipamentos de forma a que, numa obra futura, seja apenas necessário adaptar o algoritmo ao invés da criação de raiz do objeto. Na Figura 4 são apresentadas ilustrações de objetos gerados pela ferramenta desenvolvida.

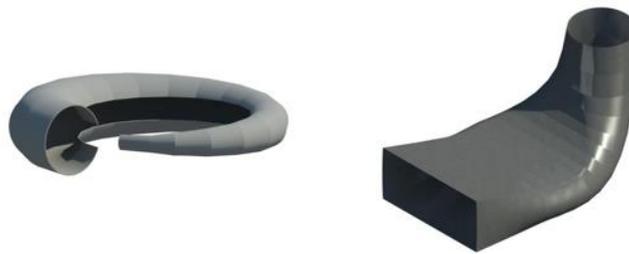


Figura 4: Modelos da espiral (esquerda) e tubo de aspiração (direita).

Para a restante estrutura foram utilizadas famílias nativas do *Revit* (p.ex. pilar, viga), sendo que a modelação partiu de desenhos de execução a duas dimensões. Nesta componente foram aplicadas metodologias de modelação que visam uma extração correta de quantidades a partir do modelo. O modelo final apresenta um nível de desenvolvimento (LOD) de 300 [5] para os diferentes elementos, sendo apresentado na Figura 5.

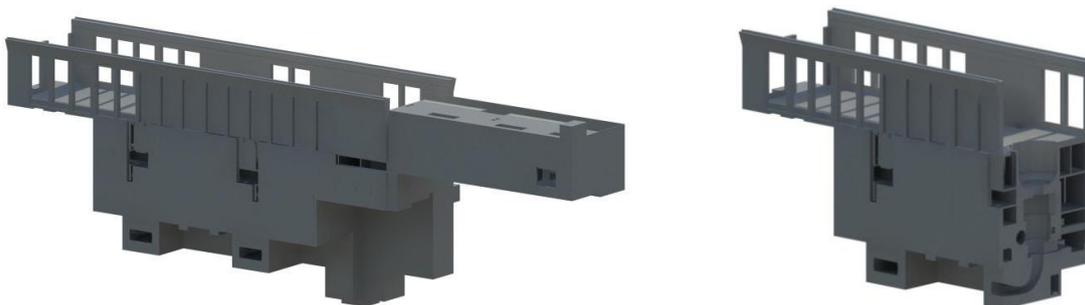


Figura 5: Modelo da Central: modelo 3D (esquerda) e corte tridimensional (direita).

3.3 Tomada de água de Venda Nova III

A tomada de água, cuja fotografia se encontra na Figura 6, é constituída por diferentes elementos, nomeadamente: o bocal, maciço de suporte, torre de manobra de comportas e um pórtico de apoio à movimentação destas [6].



Figura 6: Tomada de água de Venda Nova III.

Dada a complexidade geométrica da tomada de água recorreu-se maioritariamente à programação visual em *Dynamo* para a sua modelação. Optou-se ainda por incorporar neste modelo parte revestida do túnel de adução e a topografia.

Foi, então, realizada uma análise dos elementos a modelar em *Dynamo*, estudando-se diferentes estratégias de modelação, e entendeu-se que a mais intuitiva corresponde à obtenção do elemento por subtração sequencial de volumes modelados parametricamente, que correspondem a vazios. Assim, para estes elementos, partiu-se de um prisma retangular de geometria simples e, por operações de subtração de volumes cujos parâmetros são controlados pelo utilizador, obtém-se a geometria pretendida. Este processo é demonstrado na Figura 7, para o caso do bocal.

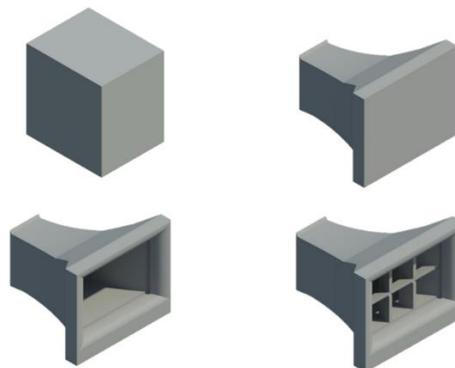


Figura 7: Evolução da geometria do bocal.

O modelo final da tomada de água é apresentado na Figura 8, estando apto para obtenção de desenhos de execução.

Uma vez obtido o modelo da tomada de água, optou-se por explorar também outros fatores, nomeadamente a modelação de armaduras para elementos desta complexidade. Assim, e tendo em conta a existência no mercado de *softwares* que agilizam este processo e a intenção de testar a interoperabilidade neste âmbito, optou-se por explorar o *Tekla Structures*. O modelo foi transmitido entre *softwares* através do formato de ficheiros IFC.

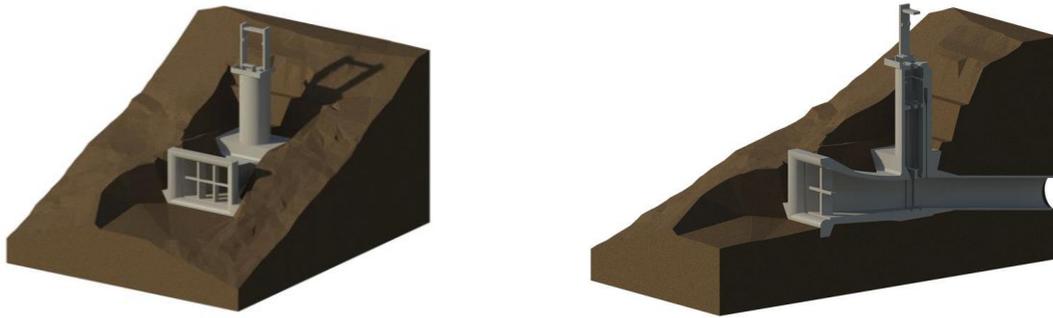


Figura 8: Modelo da tomada de água: modelo global (esquerda) e corte tridimensional (direita).

A modelação de armaduras constituiu um elevado esforço de modelação, com um incremento significativo do tempo investido com a passagem de LOD 300 para LOD 400. Contudo, esta passagem traduz-se na existência de um modelo muito rico em informação, melhorando a qualidade do projeto e reduzindo erros construtivos. O modelo é parcialmente apresentado na Figura 9.

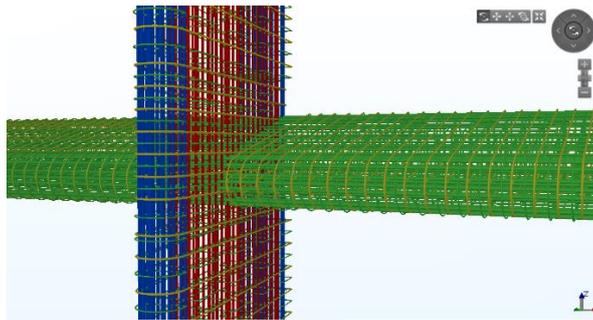


Figura 9: Representação parcial do modelo de armaduras desenvolvido.

4. Usos BIM

Uma vez criado o modelo BIM, e tendo em conta que se trata de um modelo rico em informação geométrica e não geométrica, este pode ser explorado para diferentes ‘usos’, de forma a ir ao encontro das exigências de um projeto. Assim, na presente secção, são explorados/discutidos dois usos dos modelos BIM de especial interesse no contexto deste trabalho: geração de peças desenhadas e extração de quantidades.

4.1 Geração de peças desenhadas

Definiu-se como objetivo demonstrar que é possível aproximar, em termos de conteúdo e aspeto, os desenhos obtidos a partir do modelo BIM aos desenhos de execução tradicionais, sendo que a componente escolhida para este fim foi a tomada de água de Venda Nova III. Optou-se também por iniciar a criação de um ‘*template*’ (ficheiro *Revit* padrão com determinadas características já definidas) do departamento, de forma a facilitar a futura obtenção de mais desenhos noutros projetos. Na Figura 10 são comparados os desenhos obtidos pela metodologia tradicional, com aqueles que se obtém de forma automática a partir do modelo

BIM. Pôde confirmar-se um excelente desempenho e automatização deste processo em contexto BIM.

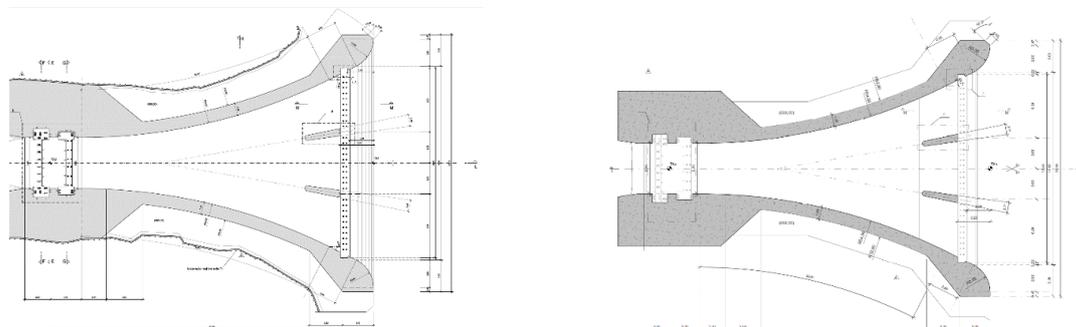


Figura 10: Desenho de execução tradicional (esquerda) e desenho obtido a partir do modelo BIM (direita).

4.2 Extração de quantidades

O facto de os modelos BIM conterem informação básica como volume, material e o agrupamento dos elementos por famílias torna possível a extração automática de quantidades a partir do modelo. De facto, a extração automática de quantidades a partir do modelo BIM constitui uma vantagem comparativamente com a metodologia de trabalho corrente, pois transforma um processo tradicionalmente moroso e propenso ao erro num processo rápido (medições são obtidas em poucos minutos) e com elevado rigor. O facto de ser possível adicionar parâmetros e recorrer aos sistemas de classificação torna possível um elevado nível de personalização de tabelas/mapas de quantidades, de forma a corresponder da melhor maneira ao que o utilizador pretende. Estas tabelas são também adequadas para obtenção de rigorosas estimativas de custo [1]. A título exemplificativo é apresentado na Tabela 1 um extrato da medição das paredes da central de Venda Nova III compreendidas entre as cotas 217 m e 221 m.

Tabela 1: Parte de tabela com volumes de betão de paredes da Central de Venda Nova III compreendidas entre as cotas 217 m e 221 m.

Paredes 217m – 221m				
Tipo	Material	Espessura	Comprimento	Volume
Parede 1,15m	Betão	1,15m	18,44m	238,57 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	14,20m	183,71 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	5,80m	74,98 m ³
Parede 1,15m	Betão	1,15m	8,30m	107,38 m ³
Parede 0,30m	Betão	0,30m	2,14m	4,11 m ³
Parede 0,30m	Betão	0,30m	5,07m	9,52 m ³

5. Plano de Execução em contexto empresarial

De forma a promover uma implementação bem sucedida de metodologias BIM, é essencial que a equipa de projeto realize um planeamento detalhado e exaustivo [7]. Como resposta a este

fator, é importante que a equipa de projeto desenvolva um plano de execução BIM, doravante designado BEP (*BIM Execution Plan*). O desenvolvimento deste documento deve permitir ao dono de obra e aos membros de projeto [8]:

- Entender claramente os objetivos estratégicos para a implementação BIM no projeto;
- Perceber as suas funções e responsabilidades a nível de criação de modelos, manutenção e colaboração nas diferentes fases de projeto;
- Desenvolver um processo apropriado para participarem na implementação;
- Delinear eventuais recursos ou serviços adicionais que possam ser necessários;
- Providenciar uma base de referência para medir o progresso ao longo do projeto.

Neste contexto, optou-se pelo desenvolvimento de um documento de apoio à implementação de metodologias BIM na empresa. Neste documento são definidos elementos do plano de execução padrão para diferentes projetos, tal como a definição de objetivos BIM, de usos BIM (onde é, também, sugerida uma metodologia para a sua seleção), são apresentadas novas funções atribuíveis aos recursos humanos, decorrentes da adoção do BIM, e atribuídos os seus responsáveis. São também mapeados processos para garantir as adequadas trocas de informação e são discutidos os formatos em que a informação deve ser trocada. Finalmente, são discutidos aspetos organizacionais, tais como a organização e nomenclatura da informação.

O plano apresentado visa a implementação de metodologias BIM no departamento de fundações e estruturas da DEB (Direção de Engenharia de Barragens), logo, corresponde a uma versão adaptada de recomendações genéricas para o efeito [8], com simplificação no número de itens abordados, pois trata-se de uma tipologia de trabalho de gabinete de projeto e dono de obra, o que não requer todas as partes de um BEP geral. O documento é maioritariamente inspirado no *BIM Project Execution Planning Guide* [8].

O BEP foi ainda complementado com outros documentos que se entendem catalisadores na implementação BIM, nomeadamente um procedimento para controlo de qualidade de modelos, um documento de especificações LOD e ainda um auxiliar de modelação, que visa apoiar os colaboradores menos familiarizados com modelação BIM. A consulta do plano pode ser efetuada na referência [9].

6. Conclusões

Com o trabalho desenvolvido foi possível obter uma perceção dos reais desafios à implementação BIM na fase de projeto de obras hidroelétricas. No caso das componentes de complexidade inferior como, por exemplo, o posto de observação e controlo e até a central, é inequívoca a possibilidade de aplicação da metodologia BIM e exploração de todas as suas dimensões. No entanto, no caso das componentes mais complexas, como a tomada de água, a modelação exigiu o recurso a programação gráfica, com maior investimento inicial, mas com elevado potencial de retorno a longo prazo dada a possibilidade de reutilização do código.

A exploração dos modelos revelou ser possível a obtenção de relevantes benefícios para o departamento de Fundações e Estruturas da Direção de Engenharia de Barragens da EDP

Produção. De facto, os modelos permitem uma melhoria de qualidade do projeto e podem ser determinantes em processos específicos (a título exemplificativo, a possibilidade de se poder complementar desenhos 2D tradicionais com cortes tridimensionais promove uma melhor compreensão da obra por parte dos diferentes intervenientes e pode prevenir erros construtivos).

O plano de execução BIM proposto revela elevado potencial organizacional, constituindo-se como um documento essencial na implementação BIM, pois promove uma melhor integração por parte dos colaboradores no novo paradigma.

Face aos trabalhos encetados e às potencialidades BIM exploradas, consideram-se criadas as condições para aplicação sistemática de metodologias BIM no contexto de projeto de obras hidroelétricas, extraindo-se todas as vantagens e benefícios inerentes a este tipo de metodologias.

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, 2nd ed. New Jersey: Wiley, 2011.
- [2] Infrastructure, *Model-based Design Powers China Dam Construction*. Consultado em 11 de maio de 2016, <https://informedinfrastructure.com/4362/model-based-design-powers-china-dam-construction/>.
- [3] EDP, *Picote II - Informação técnica*. Consultado em 13 de setembro de 2015, http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/empreendimento.php?item_id=85&cp_type=he.
- [4] J.C. Lino, M. Azenha, M. and P. Lourenço, "Integração da metodologia BIM na Engenharia de Estruturas" in *Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL (2012)*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [5] BIM Forum, *Level of Development Specification*, 2013, <http://bimforum.org/wp-content/uploads/2013/08/2013-LOD-Specification.pdf>.
- [6] A. Ferreira, C. Sarmiento and C. Lima, "Tomada de Água do Reforço de Potência de Venda Nova III" in *Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL (2012)*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2012.
- [7] The Computer Integrated Construction Research Program, *BIM Project Execution Planning Guide version 2.1*. The Pennsylvania State University, 2011.
- [8] Building and Construction Authority, *BIM Essential Guide for BIM Execution Plan*. Singapore, 2013.
- [9] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras hidroelétricas" *Tese de Mestrado*, Universidade do Minho, 2015.

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NA DIREÇÃO DE ENGENHARIA DE BARRAGENS DA EDP PRODUÇÃO – CASO DE ESTUDO DO PROJETO DE ESTRUTURAS DA CENTRAL E CIRCUITO HIDRÁULICO DO A.H. DE FRIDÃO

André Ferreira ⁽¹⁾, Alexandre Marques ⁽¹⁾, Celso Lima ⁽¹⁾

(1) EDP Produção, Porto

Resumo

O presente artigo retrata os primeiros progressos efetuados na Direção de Engenharia de Barragens (DEB) da EDP Produção no sentido da implementação da metodologia BIM em estruturas de obras hidroelétricas. Aborda-se o desenvolvimento de um Add-In, com recurso à API (Application Programming Interface) da plataforma BIM Revit, com o objetivo de automatizar o processo de modelação paramétrica de geometrias complexas e transversais a aproveitamentos hidroelétricos. A elaboração do processo de concurso do Aproveitamento Hidroelétrico de Fridão constitui um projeto piloto para a implementação BIM na DEB e, neste contexto, são apresentados os diferentes modelos desenvolvidos para este empreendimento. Dá-se particular ênfase ao complexo da central e circuito hidráulico, registando-se os principais desafios em termos de modelação, bem como ao software de programação gráfica Dynamo como importante complemento ao Revit na modelação de elementos de maior complexidade. Discute-se ainda a exploração dos modelos elaborados na obtenção de peças desenhadas e os benefícios obtidos em termos de processo de trabalho. São também apresentadas reflexões acerca do trabalho desenvolvido até à escrita do presente artigo, bem como são apontados diferentes fatores que se consideram ser importantes a considerar no futuro.

1. Introdução

O BIM constitui um passo importante no desenvolvimento da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Embora a nível nacional a aplicação da metodologia BIM tenha vindo a aumentar, esta encontra-se ainda numa fase embrionária [1]. Se no âmbito de obras correntes (entendam-se como obras correntes as obras de edifícios habitacionais e escritórios) a adoção do BIM a nível nacional sofre uma lenta implementação, quando se tratam de obras especiais, concretamente de aproveitamentos hidroelétricos, o número de casos implementados é nulo. No entanto, a nível internacional, o BIM tem despertado o interesse de empresas que possuem, operam e mantêm aproveitamentos hidroelétricos, reconhecendo os

benefícios a longo prazo do modelo BIM na operação e em intervenções futuras no aproveitamento. É já possível encontrar relatos de obras que incorporaram modelação BIM em fase de projeto (como por exemplo o aproveitamento hidroelétrico de Huangdeng, China), sendo o modelo explorado para obtenção de informação para o mapa de quantidades e ligação entre especialidades. Os balanços destas implementações são positivos, com melhoria na comunicação entre especialidades, decréscimo do desperdício de recursos com alterações no projeto e melhor compreensão da obra por parte dos diferentes intervenientes. Embora neste tipo de empreendimentos ainda seja difícil a exploração do BIM em todas as suas dimensões, principalmente devido à complexidade das obras, a expectativa é que no futuro se atinjam idênticos resultados que em obras correntes [2]. Com a perspetiva da realização do projeto para lançamento do concurso do Aproveitamento Hidroelétrico de Fridão, a Direção de Engenharia de Barragens (DEB) da EDP Produção viu como uma oportunidade a avaliação da possibilidade da implementação BIM em estruturas de obras hidroelétricas. O elevado grau de complexidade característico de um empreendimento deste tipo, aliado à inexperiência dos executantes na metodologia BIM, conduziu a uma incerteza da capacidade de elaboração atempada dos diferentes modelos. Este fator levou a que o presente projeto piloto fosse conduzido em paralelo com a metodologia tradicional, com o objetivo de não comprometer a data chave para elaboração do projeto.

2. Application Programming Interface

Em experiências anteriores, na modelação BIM de componentes de um aproveitamento hidroelétrico, foi possível identificar alguns elementos que constituem desafios na modelação tridimensional, quer pela sua complexidade geométrica, quer pelo tempo despendido para a sua modelação [3]. Neste cenário, com o objetivo de aumentar a produtividade e sistematizar o processo de modelação tornando-o um processo mais acessível aos utilizadores, optou-se pela exploração da API (*Application Programming Interface*) da plataforma BIM *Revit*. Do ponto de vista informático a API corresponde, simplificadamente, a um conjunto de funções do *software*, acessíveis pelo utilizador através de programação, que permitem automatizar ou estender as funcionalidades nativas do *Revit* [4]. Neste pressuposto e com recurso a programação na linguagem C#, desenvolveu-se o *Add-In* para o *software Autodesk Revit* denominado “Ferramenta de modelação”. Esta ferramenta, que pode ser acedida diretamente a partir da interface do software, permite a modelação automática e independente de quatro elementos comuns na estrutura de aproveitamentos hidroelétricos, nomeadamente: i) envolvente da espiral; ii) envolvente do tubo de aspiração; iii) zonas de transição de secções quadradas ou retangulares para secções circulares (zonas usualmente denominadas como zonas de transição quadrado-redondo); iv) troços de desenvolvimento reto de túneis (ver Figura 1). Numa primeira fase testou-se a viabilidade de modelar cada um destes elementos nativamente no *software Autodesk Revit*, realizando-se a modelação em ambiente de criação de famílias e sem recurso a softwares de programação visual, como por exemplo o *Dynamo*. Este processo, embora bastante moroso, permitiu não só validar a possibilidade de modelação dos elementos no *software* mas também possibilitou a identificação dos comandos utilizados no seu processo.



Figura 1: Possibilidades de modelação a partir da “Ferramenta de modelação”.

Com base no guia de desenvolvedores de API do *Revit* [5], foi possível transformar este processo em linguagem de código executando os comandos utilizados por meio de programação. Este processo foi depois parametrizado, de forma a permitir ao utilizador o máximo de controlo sobre o elemento a modelar. A título exemplificativo, descrevem-se as funcionalidades deste *Add-In* para o caso de modelação da geometria do betão envolvente a um tubo de aspiração. Esta ferramenta tem de ser executada num *template* de criação de famílias do *Autodesk Revit* onde o utilizador, após seleccionar a opção “Tubo de Aspiração” no menu principal, insere o número de secções de cada tipo de entre os três tipos programados para este *Add-In*. Em função do número de secções existentes o utilizador procede posteriormente ao preenchimento dos parâmetros correspondentes e dependentes do tipo de secção em causa. Uma vez preenchidos os parâmetros relativos a todas as secções que definem a geometria do tubo o objeto é automaticamente modelado podendo ser guardado e utilizado em qualquer projeto. De realçar que a parametrização da posição relativa das secções apenas tem lugar no momento da criação do objeto. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma da modelação da envolvente do tubo de aspiração com recurso à “Ferramenta de modelação”.

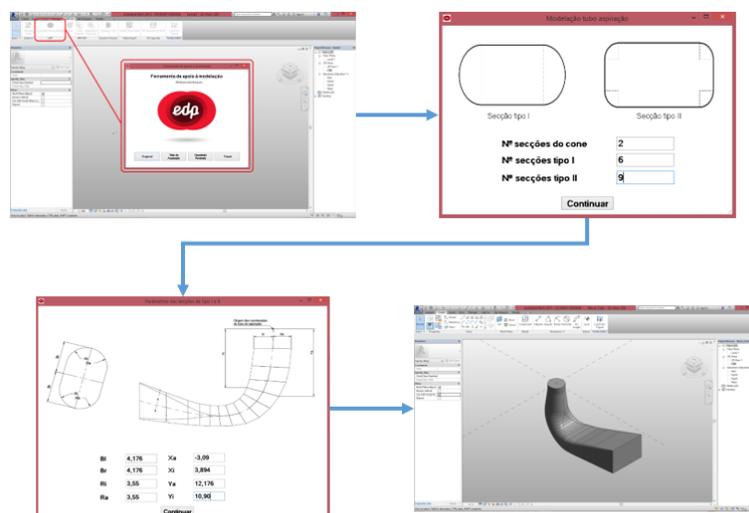


Figura 2: Add-in desenvolvido em C#.

3. Modelos Desenvolvidos

No presente capítulo são apresentados os aspetos mais relevantes dos modelos elaborados relativamente ao edifício principal da central, ao poço da central, à tomada de água, ao túnel de

adução e restituição do projeto para concurso do aproveitamento hidroelétrico de Fridão. É feita ainda uma breve referência à compatibilização dos diferentes modelos num modelo único integrado. Foi definido como objetivo inicial que os elementos dos diferentes modelos apresentassem um nível de desenvolvimento (LOD) de 300, de forma a permitir obter documentação (principalmente desenhos base) a partir dos modelos desenvolvidos. Convém, no entanto, realçar que, nesta fase e face aos objetivos definidos para o modelo BIM, o modelo apenas contém informação relativa a geometria e materiais.

3.1 Edifício principal da Central

O edifício principal da central é caracterizado por uma altura de 24 m, para permitir a manobra de equipamentos com a ponte rolante, e por uma área de implementação de cerca de 2050 m², resultado de dimensões em planta de 64m de comprimento por 32m de largura. Adjacente ao edifício principal, foi projetado um edifício com 5.5m de altura e cerca de 750 m² onde se incluem a portaria, reservatório de água contra incêndio, armazéns e oficinas. Sob o ponto de vista de modelação estrutural BIM o edifício não constituiu um elevado desafio por se tratar de uma estrutura reticulada comum e, tendo em conta as diferentes soluções estruturais testadas, o modelo paramétrico revelou-se bastante útil para o trabalho da equipa de projeto nesta fase pois permitiu agilizar a comunicação, por exemplo com ensaios de diferentes soluções rapidamente durante as reuniões de trabalho. Na Figura 3 são apresentadas imagens deste modelo.



Figura 3: Edifício de Fridão: a) vista exterior b) vista interior.

3.2 Poço da Central

Nesta fase a central de Fridão foi concebida como uma central do tipo poço com, aproximadamente, 80m de altura. Desde o átrio (à cota 123,20 m) até à cota 78,80 m, a central apresenta uma forma oval, que se sobrepõe ao maciço de betão que envolve o grupo gerador tipo Francis. A obtenção do modelo estrutural BIM exigiu, nesta fase de projeto, a modelação da envolvente deste equipamento de onde se destacam, como elementos de maior dificuldade de modelação, a geometria da espiral e do tubo de aspiração. Para acomodar os espaços necessários a equipamentos, entre as cotas 78,80 e 77,00, a geometria de escavação do poço da central sofre uma ligeira transição em planta e que se revelou uma dificuldade de modelação com recurso a ferramentas nativas do *software Revit*. Esta transição consiste na passagem da secção assinalada na Figura 4 a traço contínuo para a secção assinalada a traço interrompido na mesma figura. Parte desta transição, preenchida na Figura 4 a cinzento, apresenta uma geometria que não se conseguiu reproduzir corretamente no *Revit*. Assim, optou-se pela

modelação desta zona de transição da escavação com recurso ao *Add-In* de programação gráfica *Dynamo* [6].

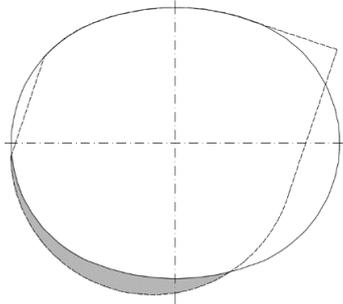


Figura 4: Transição de escavação (em planta).

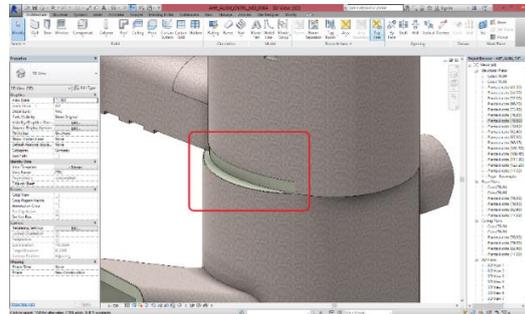


Figura 5: Modelo sem transição de escavação.

A solução encontrada passou então por, numa fase inicial, modelar a central sem esta transição, ou seja, contendo apenas as extremidades desta (ver Figura 5). Posteriormente, foi criado um algoritmo *Dynamo* em que, selecionando estas extremidades, gera superfícies entre elas e define um sólido a partir destas. Este sólido é depois exportado para o *Revit* e guardado como uma família (ver Figura 6). Um corte tridimensional pelo eixo do tubo de aspiração do modelo do poço da central é apresentado na Figura 7.

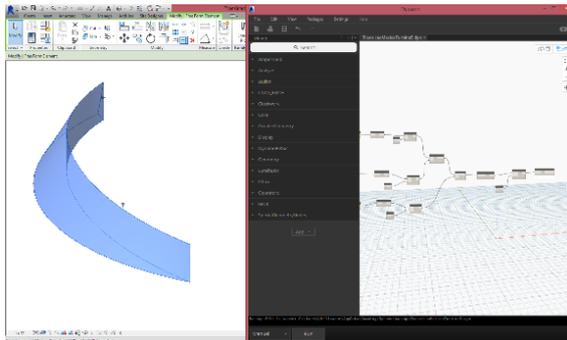


Figura 6: Zona de transição de escavação (esquerda) e respetivo algoritmo *Dynamo* (direita).



Figura 7: Corte tridimensional da central.

O potencial do *Dynamo* foi ainda explorado para outras finalidades, nomeadamente a modelação de armaduras de geometria complexa. Estudou-se a possibilidade de modelação das armaduras envolventes da espiral, sendo criado para tal fim um algoritmo com cinco *inputs*: i) a geometria da espiral (o utilizador apenas tem de selecionar a espiral no modelo que o programa lê a sua geometria); ii) o diâmetro dos varões a introduzir; iii) o espaçamento entre estes; iv) o recobrimento; v) o tipo de amarração. Apesar de ainda se revelar complexo este tipo de modelação, foi possível evidenciar com este teste o grande potencial do software *Dynamo* no caso de se pretenderem níveis de desenvolvimento mais elevados para futuros trabalhos. Na Figura 8 é esquematizada a modelação de parte das armaduras da envolvente da espiral.

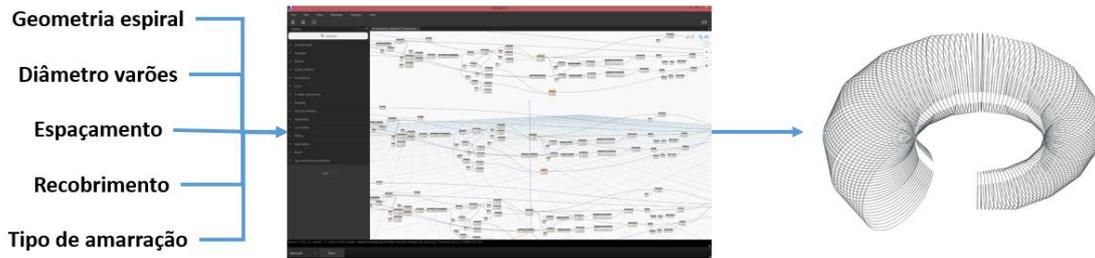


Figura 8: Algoritmo de modelação das armaduras transversais da espiral.

3.3 Tomada de água

A estrutura da tomada de água do Aproveitamento Hidroelétrico de Fridão tem, aproximadamente, 37 m de altura e 40 m de extensão. Realçam-se as características geométricas desta estrutura, que nem sempre são de fácil interpretação em desenhos bidimensionais. De facto, a geometria de uma estrutura deste tipo é definida segundo uma lógica sequencial complexa. Assim é de elevada importância que o modelador perceba perfeitamente essa lógica de definição de formas para que a consiga reproduzir no processo de modelação, a fim de garantir uma coerência nos elementos que constituem a construção virtual da tomada de água. Este fator, aliado à elevada complexidade dos esboços disponíveis para realização do modelo e ao facto de se tratar de uma estrutura singular, com um número reduzido de elementos presentes nas bibliotecas de origem da plataforma BIM em que se trabalhou, constituíram as maiores dificuldades de modelação. A “Ferramenta de modelação” descrita no ponto 2 do presente artigo foi também utilizada na construção deste modelo, nomeadamente para a modelação geométrica da zona de transição da secção retangular para secção circular, denominada por transição “quadrado-redondo”. Apesar dos aspetos supracitados, foi possível efetuar a modelação da tomada de água exclusivamente na plataforma BIM *Revit*. Importa no entanto referir que, usando o *Revit*, foi identificado um aspeto de modelação que, no presente, constitui uma limitação face ao tradicionalmente representado no projeto de definição de circuitos hidráulicos. Tradicionalmente, e de modo a se poderem alinhar na mesma prumada os limites da planta e do perfil do circuito hidráulico, é feita a representação do circuito através de um corte vertical contendo o eixo do circuito e, quando este é inclinado, a representação em projeção horizontal do corte correspondente a um plano inclinado contendo aquele mesmo eixo. No *software* em questão não foi possível realizar esta representação uma vez que não se conseguiu no *software* a projeção em eixo horizontal de um corte definido segundo um eixo inclinado. Neste modelo foi ainda incluída a topografia onde a tomada de água se insere e realizada a escavação de acordo com o projeto. Na Figura 9 é apresentado um corte tridimensional do modelo e a integração da topografia neste mesmo modelo.

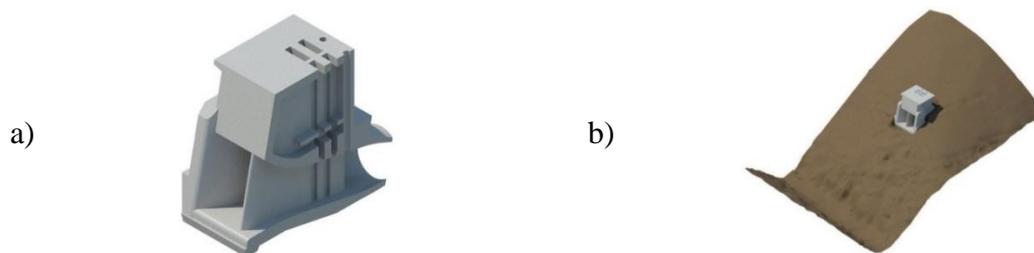


Figura 9: Tomada de água: a) corte tridimensional b) integração da topografia.

3.4 Túnel de adução

O túnel de adução de Fridão apresenta uma extensão de aproximadamente 340 m e é constituído por troços de diferentes secções (podendo estas ser constantes ou variáveis) e inclinações. Devido à elevada complexidade de cada secção, a modelação de cada troço constitui uma tarefa morosa e que exige elevada capacidade de modelação. O túnel de adução desenvolve-se ao longo de um eixo que pode ser definido por diferentes troços. No caso do aproveitamento hidroelétrico de Fridão um destes troços desenvolve-se a partir de uma curva definida no espaço, o que constituiu o maior desafio de modelação para esta componente. A “Ferramenta de modelação” não pôde ser utilizada neste caso, pois apenas possibilita a modelação de troços retos de um túnel. Assim, a primeira solução testada passou por definir esse eixo a partir do software *Dynamo*, exportando-o para o *Revit* como uma curva. Posteriormente, foi utilizado o comando “*Sweep*” do *Revit* que cria um sólido por varrimento de uma secção ao longo de um eixo. No entanto, esta hipótese não se revelou viável pois o comando utilizado na criação deste troço do túnel realizava uma rotação da secção ao longo do seu eixo. Este fator implicaria problemas de integração deste troço com os troços a montante e a jusante, pelo que este comando só poderá ser utilizado desta forma quando a secção for circular, o que não se verifica neste caso. Na Figura 10 é esquematizada esta solução testada.

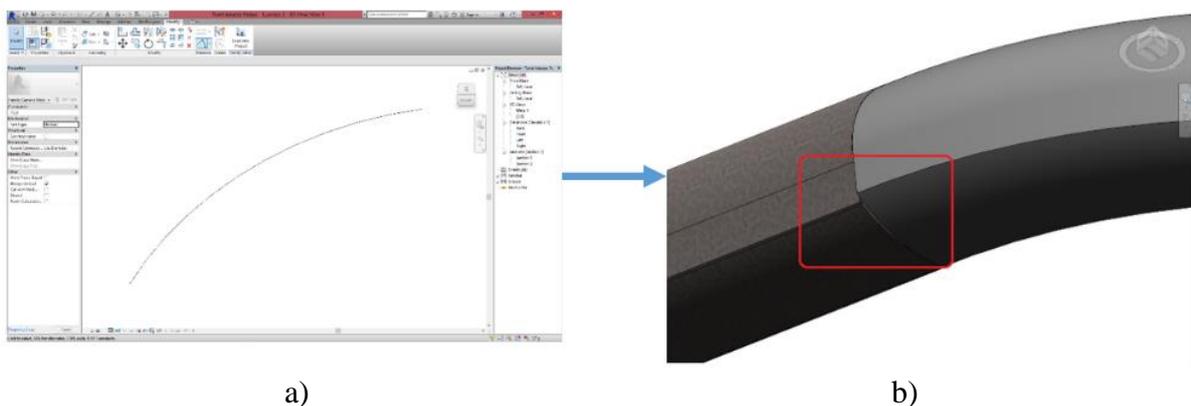


Figura 10: Fluxograma da primeira solução testada: a) eixo definido no espaço; b) integração do troço modelado com o troço a montante (evidenciada a vermelho a incompatibilidade entre troços).

Além desta solução, testou-se ainda o comando “*Swept Blend*” que, dado um eixo e as secções inicial e final, cria um sólido por varrimento do eixo, com as secções a servirem de auxiliares na definição do objeto. Esta hipótese também não se revelou viável pois pressupõe que as secções transversais definidas sejam perpendiculares ao eixo de varrimento, constituindo uma limitação, por exemplo, no caso de se pretender modelar um troço que antecede uma transição de inclinação do eixo do circuito hidráulico, em que a secção transversal final do troço não é perpendicular ao eixo. Tendo em conta o exposto anteriormente, recorreu-se, então, ao *Dynamo* para definição deste troço. Foi criado um algoritmo de programação gráfica que parte da premissa que é executado quando, no *Revit*, estão modelados os troços a montante e jusante do troço a modelar (com desenvolvimento circular) e o eixo projetado na horizontal (curva num plano e não no espaço). O utilizador tem, então, de definir 4 *inputs*: i) selecionar os extremos do troço a montante (isto é, a secção inicial); ii) selecionar os extremos do troço a jusante (secção final); iii) selecionar o eixo projetado na horizontal; iv) definir a inclinação desse

mesmo eixo (*input* numérico). Uma vez definidos estes *inputs* o algoritmo pode ser executado, sendo o objeto automaticamente modelado em ambiente *Revit*, e o resultado ser guardado como uma família e complementado com parâmetros não geométricos, conforme esquematizado na Figura 11. Para o modelo do túnel de adução há ainda a realçar o facto de o modelo ser discretizado pelas diferentes componentes que o podem constituir, como o betão de revestimento e betão projetado. A modelação exigiu elevada atenção e rigor geométrico na definição do túnel, de forma a garantir a correta integração deste modelo com os restantes desenvolvidos.

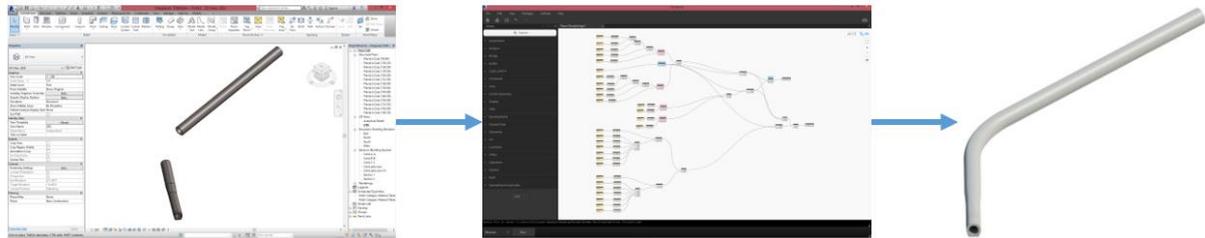


Figura 11: Solução de modelação do troço curvo do túnel de adução.

3.5 Restituição

A modelação da restituição seguiu uma estratégia semelhante à aplicada no caso da tomada de água. A restituição apresenta, também, uma geometria complexa que visa minimizar perdas hidráulicas, sendo alguns dos elementos definidos a partir de uma sequência lógica complexa. Devido à reduzida extensão do túnel da restituição, comparativamente com o túnel de adução, optou-se por incorporar esta componente no modelo da restituição. De facto, o túnel da restituição constituiu o maior desafio em termos de modelação deste elemento de obra devido ao facto de se caracterizar por uma secção de escavação atípica, não complementada ainda na “Ferramenta de modelação”, descrita no ponto 2. Assim, optou-se pela criação de uma família correspondente ao túnel da restituição, o que se revelou um processo moroso mas que revela elevado potencial no caso de alteração de projeto, havendo a possibilidade de realizar a atualização em curtos intervalos de tempo. Nesta família foi incluída uma outra família, a do negativo do tubo de aspiração, que se prolonga desde a central até ao túnel da restituição. Tal como no caso do túnel de adução, a modelação do túnel da restituição exigiu um elevado rigor geométrico com o objetivo de promover uma correta integração dos diferentes modelos desenvolvidos. Na Figura 12 é apresentado um corte tridimensional do modelo da restituição.



Figura 12: Modelo da Restituição.

3.6 Integração dos diferentes modelos

O conjunto dos modelos desenvolvidos foram integrados num modelo global. Esta integração foi realizada partindo de pontos georreferenciados no modelo da tomada de água. A partir das

coordenadas partilhadas foram integrados os modelos do edifício, da central e da restituição, cuja posição é também definida a partir de pontos georreferenciados. Relativamente ao túnel de adução, a integração dos diferentes modelos permitiu validar e realizar um controlo de qualidade do modelo do túnel, verificando-se a ligação deste modelo com os restantes (quer a nível de desenvolvimento, quer a nível de cotas a jusante). Devido ao elevado rigor tido em conta na modelação, a integração foi realizada sem problemas. Como consequência da elevada dimensão dos diferentes modelos, a integração foi realizada com recurso ao comando “*Revit Link*”. Este comando permite uma melhor visualização e integração de modelos extensos acoplando as partes, não permitindo a manipulação dos elementos dos modelos locais (modelos isolados), ficando o ficheiro do modelo global relativamente leve e facilmente acessível a colaboradores com recursos correntes em termos de *hardware*. Este tipo de integração apresenta também a vantagem de o modelo global ser atualizado com alterações nos modelos locais, evitando a realização de uma nova integração com alterações nos diferentes modelos. Na Figura 13 é apresentada a integração realizada.



Figura 13: Integração dos diferentes modelos.

4. Exploração dos Modelos BIM

Tal como já referido, a elaboração do modelo BIM do aproveitamento hidroelétrico de Fridão não poderia comprometer a data chave da elaboração do projeto. Este fator, associado à incerteza da capacidade de se elaborar um modelo BIM de uma estrutura de elevado grau de complexidade, como é o caso de uma central hidroelétrica, com colaboradores não acostumados à metodologia e sem nenhuma ou pouca formação no *software* escolhido, levou a que a análise da viabilidade de aplicação da metodologia fosse feita paralelamente com o processo de trabalho tradicional. Em todo caso a elaboração dos diferentes modelos deste projeto levou a que, na verdade, muita da informação relevante existente nos modelos fosse utilizada e aproveitada para otimizar as soluções e o processo de trabalho tradicional. Apesar de muitas das vantagens identificadas serem transversais à metodologia BIM e não apenas à sua aplicação em obras hidroelétricas, apontam-se de seguida algumas das que se traduziram em significativo aumento de rendimento do processo e que ao mesmo tempo foram também facilitadoras na comunicação entre intervenientes no projeto.

4.1 Obtenção de peças desenhadas

A geração de peças desenhadas constitui um dos processos mais elementares na exploração de um modelo BIM. Estes desenhos podem ser obtidos de forma fácil e têm a particularidade de

se manterem fiéis ao modelo, com a atualização automática mediante alterações do mesmo. O facto de os tradicionais cortes e plantas bidimensionais poderem ser complementados com perspetivas tridimensionais promove uma melhor compreensão dos desenhos e reduz o risco de erros de interpretação. Na Figura 14 é apresentado um exemplo de desenhos obtidos a partir do modelo da central.

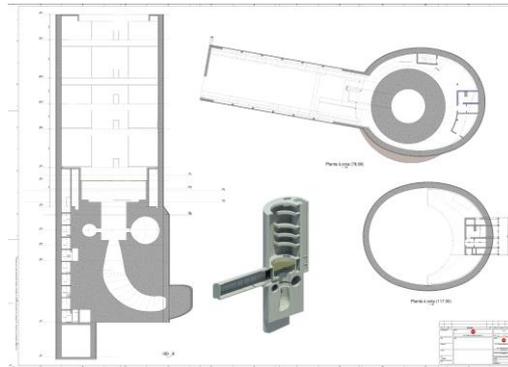


Figura 14: Desenhos obtidos a partir do modelo da Central.

Este ponto revelou-se como uma real vantagem e de primordial importância no desenvolvimento do processo de conceção do projeto. A comunicação com os intervenientes das especialidades de engenharia de equipamentos e arquitetura foi significativamente melhorada com a possibilidade de, rapidamente e de forma rigorosa, disponibilizar desenhos para discussão em reuniões de trabalho da equipa de projeto.

4.2 Processo de trabalho

A elaboração do modelo BIM foi tida em consideração desde a fase inicial do processo de conceção no que respeita à definição estrutural (desde níveis de desenvolvimento reduzidos). Neste ponto de vista o modelo revelou-se de primordial importância nos seguintes pontos:

- **Conceção estrutural:** o modelo tridimensional forneceu uma melhor perspetiva do empreendimento quando comparado com desenhos 2D, o que promoveu não só uma melhor definição da estrutura como facilitou comunicação com os técnicos de desenho;
- **Modelo de cálculo:** no que respeita ao edifício principal da central, uma vez obtido o modelo BIM, foi possível exportar o seu modelo analítico para um software de cálculo. No maciço de betão do poço da central e nas geometrias mais complexas onde não se modelou com ferramentas nativas do software, não foi possível obter um modelo analítico diretamente do modelo BIM;
- **Análise de diferentes opções:** o facto de o modelo ser paramétrico permitiu testar diferentes hipóteses em intervalos de tempo curtos que se revelaram diferenciadores na rentabilidade das reuniões de trabalho da equipa de projeto;
- **Integração de diferentes especialidades:** ainda que as diferentes especialidades não estejam ainda a explorar a metodologia BIM, o modelo de estruturas revelou-se extremamente útil no cruzamento de especialidades, facilitando a antecipação de conflitos nas reuniões com os diversos intervenientes.

5. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O constante avanço tecnológico vai servindo de catalisador à implementação da metodologia BIM na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção, prevendo-se processos cada vez mais automatizados, rigorosos e capazes. O trabalho desenvolvido e descrito no presente artigo constitui o início da implementação do novo paradigma na Direção de Engenharia de Barragens (DEB) da EDP Produção. Este projeto piloto vai revelando o potencial da metodologia e o seu contributo crescente para as diversas áreas da indústria, nas diferentes fases de projeto. Com a existência de um modelo BIM, embora que apenas estrutural, foi inequívoco neste trabalho o melhoramento da comunicação e da deteção e antecipação de conflitos entre as diferentes especialidades intervenientes no processo. Ainda assim, tratando-se de uma fase bastante prematura de implementação, há diferentes fatores a desenvolver. O envolvimento de um maior número de especialidades potencia os benefícios obtidos com a metodologia BIM. A título exemplificativo, no caso de se possuir também o modelo dos equipamentos, seria possível detetar de forma automática os conflitos destas componentes com as estruturas, tornando o processo mais rigoroso. No entanto, e sob outro prisma, dado o detalhe da componente mecânica num aproveitamento hidroelétrico, a integração de modelos de equipamentos complexos com a componente de civil poderá conduzir a limitações de hardware ou tornar de difícil manuseamento os modelos globalmente integrados. Assim, entende-se que a implementação da metodologia por parte de todos os *stakeholders* de um projeto hidroelétrico é um passo importante de evolução mas que, o modo da sua interligação e comunicação, deve ser devidamente analisado e ponderado. A progressiva mudança de processos de trabalho implica também novas exigências, devendo os cadernos de encargos dos concursos para o fornecimento de equipamentos prever a entrega de informação em formato adequado a este novo paradigma.

Referências

- [1] Lino, J.C., Azenha, M. and Lourenço, P., "Integração da metodologia BIM na Engenharia de Estruturas" in Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL (2012), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- [2] Informed Infrastructure, Model-based Design Powers China Dam Construction. Consultado em 11 de Maio de 2016, <https://informedinfrastructure.com/4362/model-based-design-powers-china-dam-construction/>.
- [3] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras hidroelétricas" Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2015.
- [4] Autodesk, My first Revit Plug-In. Consultado em 10 de Maio de 2016, <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=16777469>.
- [5] Autodesk, Revit API Developers Guide. Consultado em 13 de Maio de 2016, <http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/ENU/?guid=GUID-F0A122E0-E556-4D0D-9D0F-7E72A9315A42>.
- [6] Dynamo, Open Source Graphical Programming for Design. Consultado em 13 de Maio de 2016, <http://dynamobim.org/>.

GUIA DE IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM

Claudio Gomes ⁽¹⁾, **José Carlos Lino** ⁽²⁾, **Ricardo Pereira Santos** ⁽³⁾

(1) BIMMS – *Building Information Modeling & Management Solutions*, Porto

(2) BIMMS – *Building Information Modeling & Management Solutions*, Porto

(3) ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto

Resumo

A adoção da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) é vista como um processo transformador que engloba as empresas, os Projetos e, no global, toda a Indústria da Construção Civil. Contudo, a sua implementação tem impactos sociais, técnicos e metodológicos, pelo que há alguns anos tem sido alvo de inúmeras pesquisas com o objetivo primordial de difundir as práticas associadas ao BIM nas empresas, nos Projetos e na Indústria. Por todo o mundo, várias iniciativas de entidades públicas e privadas, governamentais e não-governamentais, têm produzido guias, normas, manuais ou outros documentos que funcionam como um motor propulsor da implementação BIM. Torna-se pertinente o desenvolvimento de documentos similares orientados para a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AEEO) nacional.

Em resposta a esta necessidade foi desenvolvido no contexto de uma empresa – a BIMMS (*Building Information Modeling & Management Solutions*) – o “Guia de Implementação da Metodologia BIM em Organizações e Projetos”. Este guia de carácter generalista resultou do estudo, compilação e adaptação de vários documentos e artigos internacionais desde normas, especificações técnicas e guias produzidos pela comunidade científica e pelas iniciativas de implementação. Os seus conteúdos foram escritos com o objetivo de fornecer uma ferramenta de carácter não só teórico, mas também técnico e prático, que sirva de referência para as entidades que pretendem avançar com a implementação BIM no seu âmbito organizacional como em Projeto. Assim, o guia apresenta uma série de procedimentos que podem ser seguidos para que o processo de implementação BIM seja levado a cabo de uma forma organizada e estruturada.

1. Introdução

A metodologia BIM pode ser implementada em diferentes níveis, nomeadamente ao nível da Organização como parte integrante da sua atividade, ao nível de Projeto como um meio ou ferramenta de atingir resultados de forma mais eficiente, rápida, competitiva e de qualidade superior, e ao nível da Indústria *AECO* como uma metodologia normalizada e universal seguida por todas as entidades da Indústria [1]. O conteúdo do Guia de Implementação BIM abrange a implementação BIM no âmbito da Organização e no âmbito de Projeto. É estruturado em dois capítulos principais, um que fornece um procedimento para implementar o BIM no âmbito organizacional e outro para implementar o BIM num Projeto de qualquer natureza (renovação, construção nova, reabilitação). Estão ainda incluídas no guia algumas conclusões e recomendações acerca de aspetos-chave considerados importantes para o sucesso da implementação BIM em ambos os âmbitos mencionados.

2. Implementação BIM na Organização

A implementação da metodologia BIM na esfera organizacional é algo que implica uma profunda reestruturação na forma como esta desempenha a sua atividade, em particular nos seus processos de trabalho, nos serviços que disponibiliza, na tecnologia que utiliza. Tal implicação deve-se ao facto que a metodologia BIM não é só uma nova ferramenta, sistema ou software de computador específico. Mais do que isso é na realidade uma nova metodologia de trabalho [2]. Assim, implementar o BIM numa empresa é um processo transversal a todas as suas áreas funcionais (área financeira, produção, recursos humanos, investigação e desenvolvimento até mesmo marketing e vendas), e por consequência é igualmente transversal aos diferentes níveis hierárquicos de gestão que formam uma organização – estratégico, tático e operacional [3].



Figura 1: Influência da Implementação BIM na estrutura organizacional, baseado em [4] e [5].

Implementar o BIM deve por isso seguir um procedimento estruturado numa sequência de ações de planeamento e ações de execução, e como é algo que tem um elevado impacto na

Organização deve ser planeado a um nível estratégico pela gestão de topo e posteriormente desenvolvido a um nível tático-operacional. O guia propõe um procedimento constituído por dois tipos de planeamento, o Planeamento Estratégico e o Planeamento Detalhado e de Execução, que resultam em dois documentos, o Plano Estratégico e o Plano Detalhado e de Execução, respetivamente. Neles ficam registados todas os aspetos abordados ao longo do planeamento da implementação. Com o Planeamento Estratégico é proporcionada à Organização a possibilidade de planear a sua estratégia global tendo em conta o BIM através da determinação de metas e objetivos da sua implementação e a demarcação de uma estratégia para os atingir. Possibilita ainda analisar a atual cultura organizacional e a sua posição no ambiente que a rodeia e perspetivar o seu estado futuro bem como decidir até que ponto se pretende implementar o BIM, ou seja, o nível de integração do BIM na Organização. Relativamente ao Planeamento Detalhado e de Execução, o seu objetivo é viabilizar de forma detalhada as diretivas do Planeamento Estratégico determinando em concreto os recursos necessários e a eventual reestruturação da Organização para implementar o BIM.

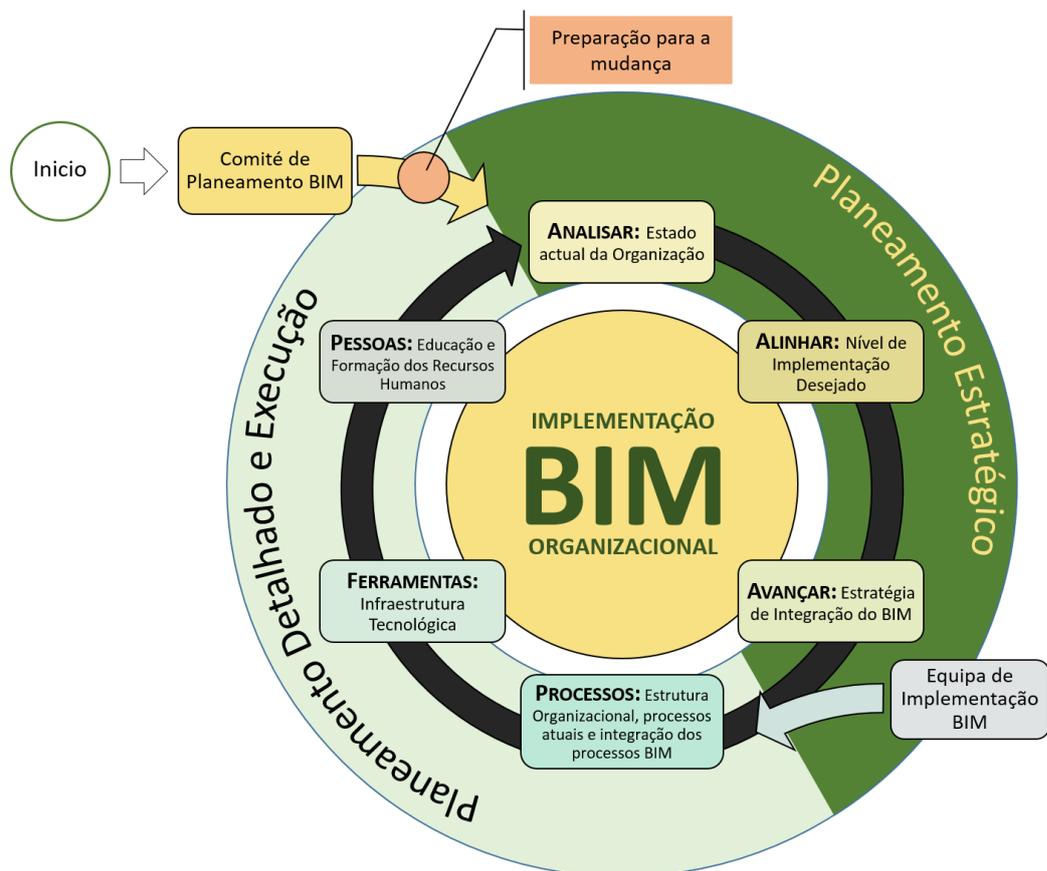


Figura 2: Procedimento de Implementação BIM numa Organização, baseado em [6] e [4].

A implementação BIM não é um ato isolado no tempo pelo que, tal como a figura anterior demonstra, deve ser vista como um ciclo em que todo o planeamento envolvido é revisto, avaliado, controlado e melhorado, como parte integrante da Organização.

2.1 Componentes da Implementação BIM

Implementar o BIM numa Organização é uma experiência sociotécnica que abarca uma transformação social e técnica. É por isso um processo combinado entre implementar uma nova tecnologia e uma nova metodologia num ambiente sociocultural que lhe serve de contexto [4]. Por estas razões são abordados 5 componentes essenciais, dependentes entre si e que formam um mecanismo que deve ser harmonizado.

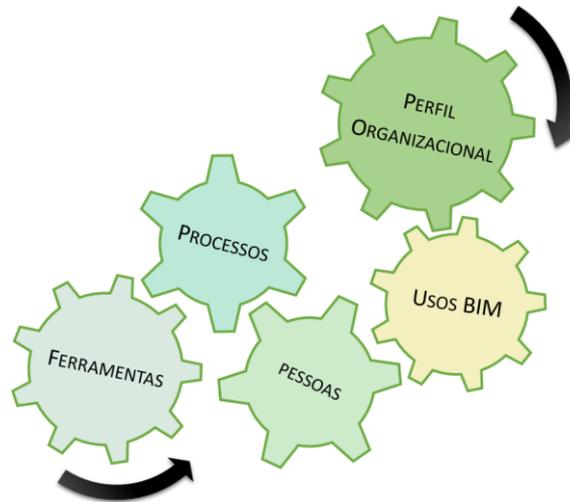


Figura 3: Componentes da Implementação BIM numa Organização, baseado em [4].

Dentro de cada um destes componentes residem determinadas preocupações/considerações que isoladamente não podem dirigir por si só a implementação BIM. Assim, o planeamento da implementação BIM é um processo integrador destes componentes e que os aborda como um conjunto.

A interpretação da Figura 4 sugere que o perfil organizacional constituído pela missão, objetivos organizacionais e visão e objetivos da implementação BIM, é o componente que governa todos os restantes. Cada um destes suporta todos os outros que lhe estão acima. Em particular, note-se que na base da pirâmide encontra-se o componente Ferramentas constituído pelo Software e Hardware, o que reforça a perspetiva de que no BIM a tecnologia é apenas o suporte de toda a metodologia e que acima de tudo se encontra a principal consideração, a Missão Organizacional. Ou seja, o BIM deve ser visto com um novo meio, ferramenta ou metodologia para atingir objetivos e não como um fim [8].

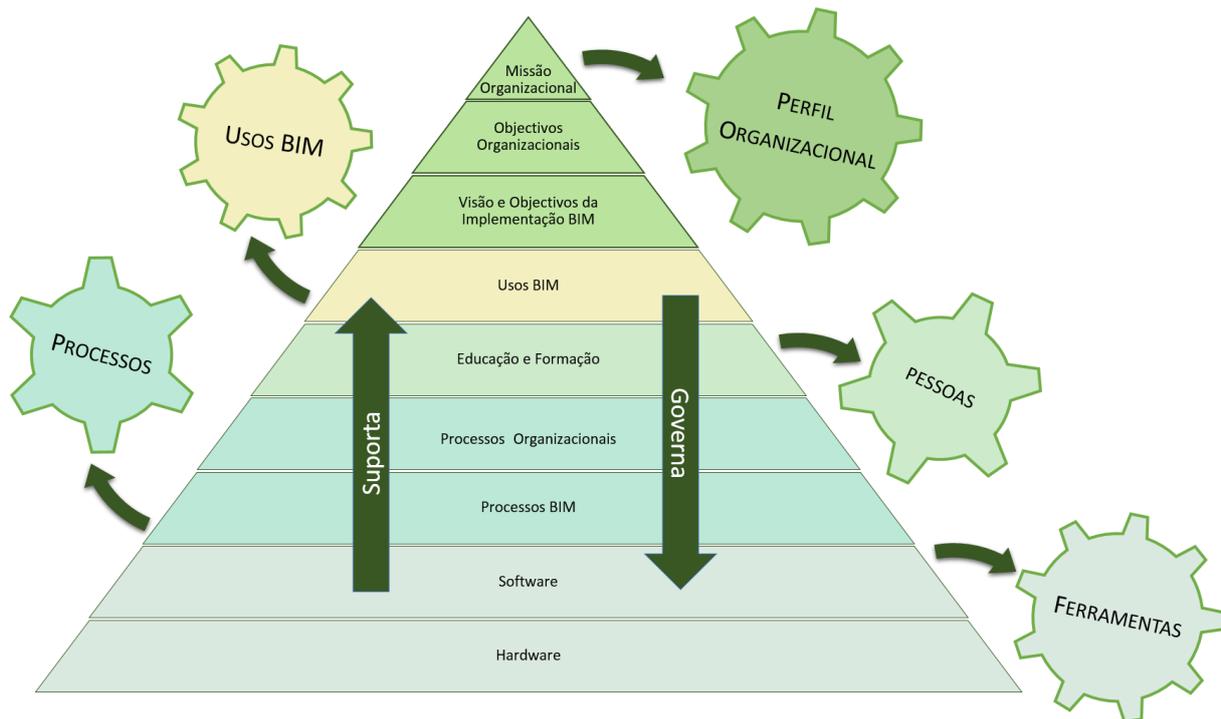


Figura 4: Considerações associadas aos Componentes de Planeamento BIM, baseado em [7].

3. Implementação BIM em Projeto

Em situação de Projeto, várias Organizações desempenham a sua atividade específica para conceber o produto final, o empreendimento. Em conjunto formam uma organização temporária, pelo que é essencial que colaborem de forma coordenada e organizada para atingir os objetivos da implementação BIM num Projeto. Assim, deve ser da responsabilidade de todas as Organizações envolvidas (e às que, entretanto, se associam ao Projeto em fases posteriores), planear devidamente a implementação BIM em conjunto, formando assim uma Equipa de Projeto BIM. O seu objetivo é, pois, planear em que trâmites o Projeto será executado recorrendo à metodologia BIM.

O recurso à metodologia BIM para a execução de um Projeto leva à centralização de toda a informação desenvolvida num meio partilhado. Esta é uma das grandes vantagens de utilizar o BIM, pois permite, entre outras possibilidades, a qualquer entidade envolvida no Projeto aceder a essa informação em qualquer fase. Assim, é importante que cada uma delas detenha métodos e procedimentos típicos internos que definem como tencionam utilizar o BIM no seu âmbito organizacional, para suportar a implementação BIM no âmbito do projeto [9].

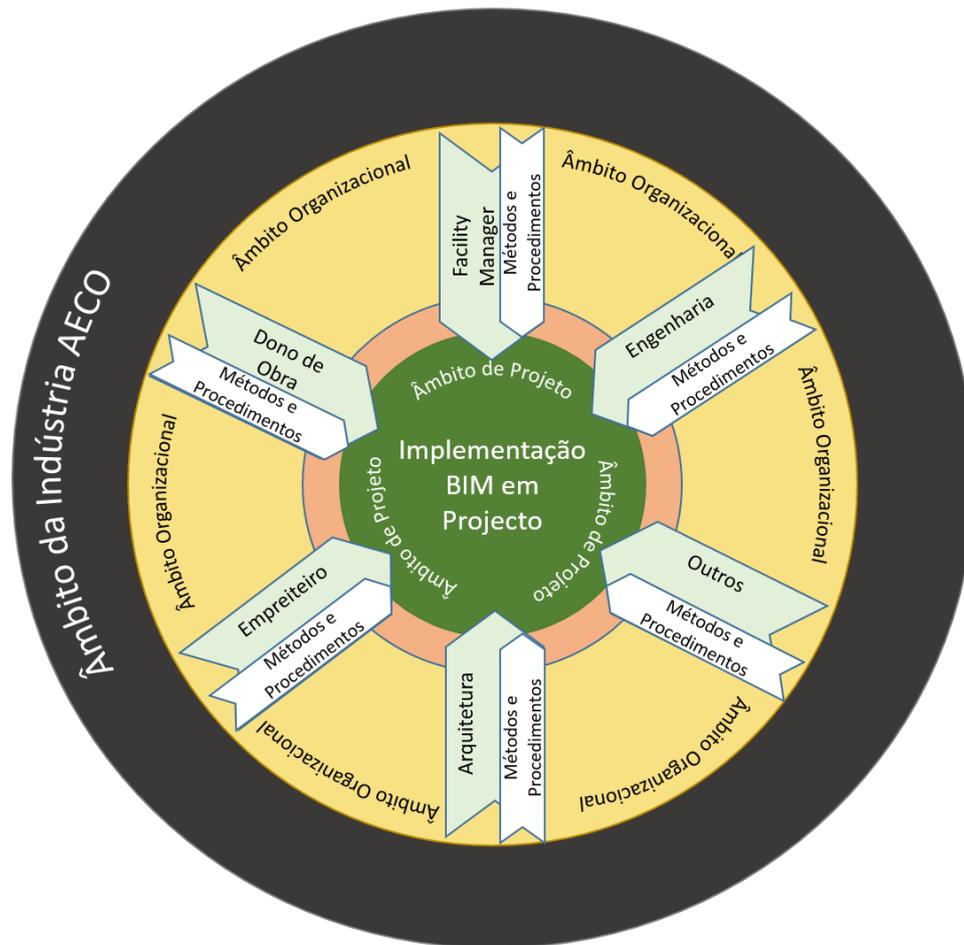


Figura 5: Diagrama representativo da forma como as Organizações suportam a implementação BIM em Projeto.

O planeamento da implementação BIM num Projeto deve ser registado num documento denominado Plano de Execução de Projeto em BIM, internacionalmente conhecido por *BIM Project Execution Plan (PxP)* ou *BIM Execution Plan (BEP)* ou ainda *BIM Management Plan (BMP)*, variando de país para país. É um documento formal com o objetivo de definir de que forma o projeto será executado, controlado e coordenado recorrendo à metodologia BIM. Como consequência do facto de que o Plano de Execução BIM é elaborado pelas diversas entidades intervenientes no Projeto, aquele é diretamente influenciado pelo modelo de contratação estipulado para o Projeto, já que os intervenientes se associam ao Projeto em diferentes fases do seu ciclo de vida.

Modalidades de contratação	Promoção		Projeto		Preparação da construção	Execução
	Programa Preliminar	Programa base	Est. Prévio e anteprojecto	Projeto Execução		
chave na mão	D.O.				Empreiteiro	
concepção	D.O. + Projectistas				Empreiteiro	
construção max					Empreiteiro	
concepção	D.O. + Projectistas				Empreiteiro	
construção min					Empreiteiro	
tradicional		D.O. + Projectistas			Empreiteiro	
administração direta			D.O. + Projectistas		Empreiteiro	

Figura 6: Fase do empreendimento em que os intervenientes estão envolvidos, conforme o modelo de contratação.

O guia de implementação propõe que deve ser desenvolvido apenas um Plano de Execução de Projeto em BIM que é transportado ao longo de todas as fases do Projeto e deve ser visto como um documento vivo em constante desenvolvimento e evolução. Um Plano de Execução de Projeto em BIM traz mais-valias, não só para o Projeto em si mas também para os intervenientes, na medida em que: i) todos os intervenientes são capazes de entender através dele os objetivos estratégicos de implementar o BIM no Projeto; ii) entender qual o papel que cada interveniente desempenha no Projeto e qual a sua responsabilidade que detêm em criar, manter e partilhar os modelos BIM e a informação, em cada fase do Projeto; iii) conceber ou adaptar os seus métodos e procedimentos típicos (no seu âmbito organizacional) à implementação BIM no Projeto; iv) prever recursos e serviços adicionais eventualmente necessários; v) estabelecer um planeamento base a partir do qual é possível medir o progresso da implementação no Projeto.

3.1 Procedimento de Implementação BIM num Projeto

O procedimento de implementação sugerido pelo guia compreende uma sequência estruturada em quatro etapas. Começa pela especificação dos objetivos da implementação BIM no Projeto a par dos Usos BIM, passando pelo desenvolvimento do processo de execução do Projeto em BIM e através do qual são previstas, identificadas e caracterizadas as trocas de informação entre os intervenientes, e culmina com o planeamento da metodologia colaborativa a implementar, com a determinação dos requisitos de infraestrutura tecnológica e com a definição do sistema de controlo da qualidade dos modelos e da informação.

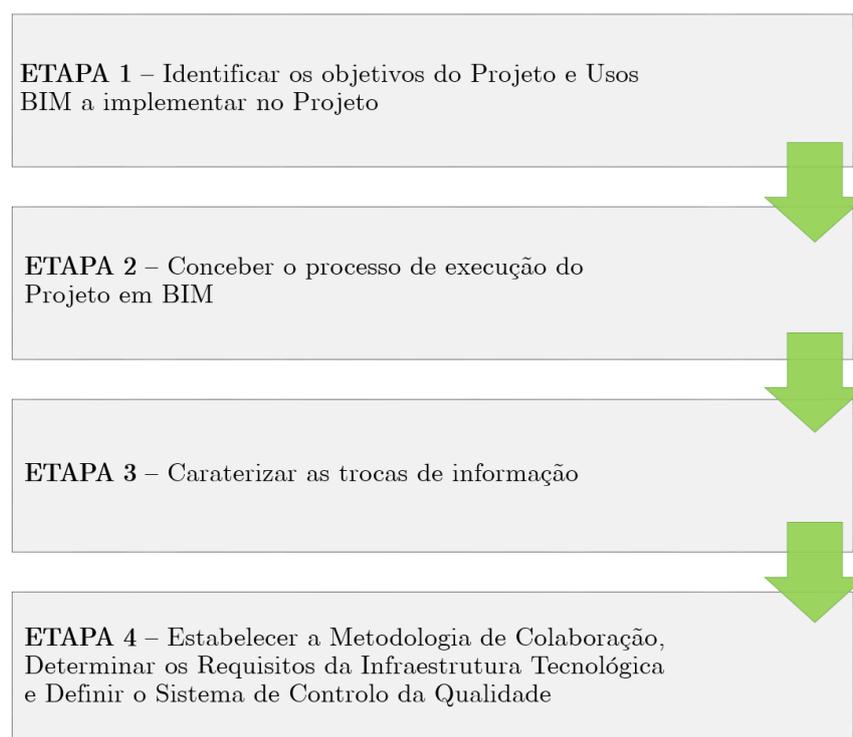


Figura 7: Procedimento de implementação BIM em Projeto, baseado em [8].

4. Recomendações e Fatores Críticos de Sucesso

No âmbito organizacional a probabilidade de sucesso da implementação BIM é positivamente influenciada se existir experiência na Organização em saber gerir a resistência comportamental. Para tal, é importante envolver toda a Organização de forma proativa no processo de implementação, atribuindo tarefas e objetivos realistas e atingíveis a curto prazo aos seus colaboradores. É também importante ter consciência que cada Organização tem a sua identidade, pelo que o processo de implementação deve ser adaptado a cada caso. Para além disto, a comunicação interna acerca do que é o BIM, quais os seus benefícios, quais as razões da sua adoção na Organização é algo essencial para o sucesso [4].

Em Projeto podem ser enumerados fatores críticos de sucesso que passam pelo envolvimento ativo de todos os intervenientes (incluindo o cliente) no planeamento da execução do Projeto em BIM e na compilação do Plano de Execução do Projeto em BIM, depender o tempo necessário para este planeamento, consultar e atualizar o plano à medida que o projeto evolui, ter alguém que detenha capacidades adequadas para defender a implementação BIM no Projeto [9].

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Todo o processo de estudo e compilação dos documentos BIM atualmente existentes e que serviram de base ao “Guia de Implementação BIM em Organizações e Projetos” permitiu

chegar a algumas conclusões que sublinham a pertinência no desenvolvimento deste tipo de documentos, tais como: i) as iniciativas de implementação BIM são um importante motor de difusão do BIM na indústria da construção civil e necessitam não só do apoio governamental, mas também das diversas associações profissionais e mesmo das próprias empresas da indústria; ii) atualmente já existe uma panóplia bastante extensa de documentos de carácter legal e normativa noutros países que abordam diferentes aspetos da metodologia BIM, o que indica que a metodologia BIM está de facto a tornar-se prática comum e obrigatória.

Este guia pretende ser uma base ao desenvolvimento de novas pesquisas e estudos. Assim, como desenvolvimentos futuros proceder-se-á à sua aplicação prática em casos reais com o objetivo de criar casos de estudo que sustentem o seu conteúdo, para numa fase posterior publicá-lo. Ambiciona-se também que sejam criados documentos similares que abordem aspetos específicos da implementação BIM, nomeadamente especificações que contenham regras e metodologias de modelação gerais e específicas a cada disciplina. Por fim, a criação de uma plataforma informática que sirva de apoio à gestão da implementação BIM no âmbito organizacional e no âmbito de Projeto.

Referências

- [1] Y. Jung, “Building Information Modeling (BIM) Framework for Practical Implementation,” *Automation in Construction*, 2010.
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks and K. Liston, *BIM Handbook*, 2011.
- [3] O. A. Olantunji, “Modeling Organizations' Structural Adjustment to BIM Adoption: A Pilot Study on Estimating Organizations,” *Journal of Information Technology in Construction*, 2010.
- [4] Computer Integrated Construction Research Program, *BIM Planning Guide for Facility Owners. Version 2.0*, The Pennsylvania State University, 2013.
- [5] C. A. M. Pinto, J. A. M. S. Rodrigues, L. T. Melo, M. A. D. Moreira and R. B. Rodrigues, *Fundamentos de Gestão*, 2006.
- [6] NATSPEC, “Information classification systems and the Australian construction industry,” 2008.
- [7] NATSPEC, *NATSPEC BIM Paper 001 - BIM and LOD, Building Information Modelling and Level of Development*, 2013.
- [8] B. E. Caires, “BIM as a tool to support the collaborative project between the structural engineer and the architect : BIM execution plan, education and promotional initiatives,” 2013.
- [9] Computer Integrated Construction Research Program, *BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.1*, The Pennsylvania State University, 2011.

IMPLEMENTAÇÃO BIM NOS PROJETOS DE ENSINO DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL DA UMINHO

Miguel Azenha ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽¹⁾, João Pedro Couto ⁽²⁾

(1) ISISE, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães

(2) C-TAC, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães

Resumo

O artigo pretende comunicar a estratégia de implementação de BIM nos vários projetos de ensino do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, particularmente no Mestrado Integrado em Engenharia Civil, no Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis e no International Master in Sustainable Built Environment.

Mais do que fazer um estado da arte sobre a implementação BIM em contexto académico, pretende dar-se um testemunho de um processo que está em desenvolvimento já desde o ano letivo 2012/2013 e que tem vindo paulatinamente a ser consolidado. Será possível ilustrar a evolução da qualidade e profundidade que os alunos têm atingido em anos consecutivos, que se deve ao progresso da equipa docente, ao apoio de alunos de anos anteriores e também a melhorias ao nível das próprias aplicações informáticas.

1. Introdução

Tendo em conta o cariz deste congresso, bem como o conhecimento sobre a temática BIM por parte dos leitores, considera-se desnecessário efetuar um enquadramento das razões bem conhecidas pelas quais é fundamental que as temáticas BIM venham a ser versadas nos projetos de ensino das Universidades. Esse enquadramento é convenientemente feito nos trabalhos de Barison e Santos [1-3] que têm encetado investigação específica na análise de iniciativas a nível internacional, bem como nas competências BIM que devem ser transmitidas no contexto da formação de Engenheiros.

Em estudos realizados com envolvimento da Universidade do Minho, já foram efetuadas discussões sobre a possibilidade do recurso a ferramentas BIM no apoio à transmissão de conhecimento [4-5]. Até à presente data, apenas se encontrou um outro artigo científico

nacional relacionado com a implementação BIM no ensino de Engenharia e Arquitetura [6], relacionado com a iniciativa ‘Fórum Académico BIM’ promovida no Instituto Superior Técnico e com um conjunto de reflexões resultantes dessa discussão. No entanto, não estão ainda reportadas iniciativas concretas já implementadas. É no entanto do conhecimento dos autores que, em Portugal, já várias escolas de ensino superior e politécnico em Engenharia e Arquitetura, têm adotado iniciativas de divulgação do BIM pela comunidade estudantil, algumas mais integradas pelo quadro pedagógico oficial enquanto outras mais livres ou esporádicas.

Tendo em conta a existência de iniciativas relacionadas com o ensino BIM na Universidade do Minho já desde 2010, bem como a existência de Unidades Curriculares específicas desde o ano letivo 2012/2013, o presente artigo pretende comunicar o historial da implementação BIM nos projetos de ensino no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho (DEC/UM). O artigo está organizado em quatro secções principais para além da presente introdução, compreendendo a descrição cronológica da implementação BIM nos projetos de ensino do DEC/UM, a descrição da Unidade Curricular BIM do 4º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil DEC/UM (MIEC), as iniciativas de disseminação BIM efetuadas (seminários e redes sociais) e finalmente um conjunto de ilações e conclusões tiradas relativamente a este artigo.

2. Descrição cronológica da implementação BIM nos projetos de ensino DEC/UM

Desde o início do contacto dos autores deste trabalho com as metodologias BIM, foi percecionado que seria importante tirar partido destas metodologias e mesmo ensiná-las nos projetos de ensino do DEC/UM. Já desde o ano letivo 2010/2011 foram incluídos alguns modelos BIM no ensino da Unidade Curricular de ‘Estruturas de Betão I’, como por exemplo uma viga contínua de betão armado que é objeto de análise e dimensionamento, tornada disponível aos alunos em formato BIM (*TeklaBIMSight*[®]) para apoio à compreensão da distribuição e dispensa de armaduras – ver Figura 1 [4].

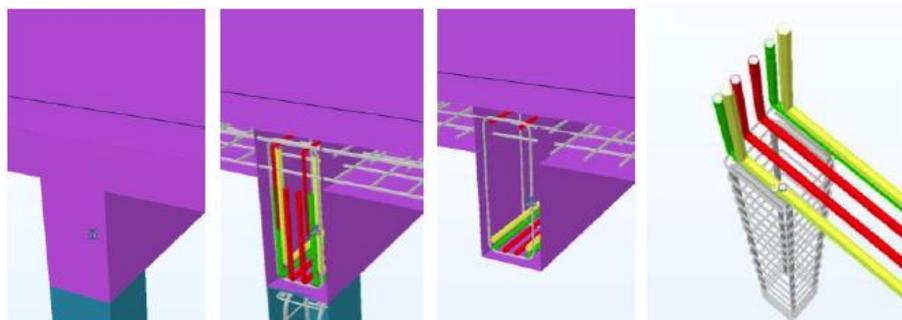


Figura 1: Modelo de viga de betão armado para apoio ao ensino em ‘Estruturas de Betão I’

Apesar de pequenas iniciativas avulsas no âmbito das Unidades Curriculares em que os autores deste artigo se encontravam envolvidos, o impacto do BIM nos processos de ensino era ainda muito reduzido. Constatou-se desde bem cedo que seria estratégica a criação de Unidades

Curriculares (UC) exclusivamente dedicadas a BIM nos projetos de ensino do DEC/UM, pois permitira sensibilizar alunos e colegas de forma muito mais rápida para a importância, relevância e complexidade desta temática. Por essa razão, foram encetados esforços junto das direções dos vários projetos de ensino do DEC/UM para criação de nova UC. No entanto, este processo foi difícil, por se tratarem de projetos de ensino já estabilizados, e sem ‘espaços vazios’ para preencher com um conteúdo que, invariavelmente, se substituiria a um outro conteúdo anteriormente contemplado e já consolidado na estrutura desses projetos de ensino. No entanto, a insistência continuada na proposta de novas unidades curriculares BIM acabou por surtir efeito a partir do ano letivo 2012/2013, seguindo o percurso cronológico indicado nas 4 secções seguintes. A descrição de conteúdos programáticos será feita no capítulo 4 deste artigo, relativamente à edição mais recente de Unidade Curricular BIM no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da UMinho.

2.1 Ano letivo 2012/2013

No ano letivo 2012/2013, a direção do ‘Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis (MCRS)’ convidou os autores deste artigo a propor um programa de Unidade Curricular a apresentar aos alunos no âmbito das disciplinas optativas do curso, durante o segundo semestre letivo do mesmo (1º ano). Foi então proposta uma UC denominada ‘Building Information Modeling (BIM): conceção, projeto e construção’, com 45 horas de contacto e avaliação por trabalho prático. A disciplina opcional foi selecionada por 12 alunos, pelo que foi garantido o seu funcionamento. O corpo docente contou com os autores deste artigo, bem como um conjunto de colegas de outras instituições que gentilmente aceitaram o convite para partilhar as suas experiências BIM em contexto académico e profissional.

2.2 Ano letivo 2013/2014

Apesar do sucesso da Unidade Curricular BIM do ano letivo anterior, não houve repetição da mesma no ano 2013/2014 pelo facto de não ter havido edição de MCRS nesse mesmo ano letivo. A direção do MCRS investiu num projeto semelhante em língua inglesa, denominado iMiSBE ‘*International Master in Sustainable Built Environment*’. Uma vez que não foi possível introduzir novas unidades curriculares optativas no iMiSBE, e tendo em conta que o correspondente plano curricular já estava estabilizado há algum tempo, não foi possível a inclusão de UC exclusivamente dedicada a BIM. Foi, no entanto, possível incluir uma relevante parcela na UC ‘*Integrated Design Process*’ (2º semestre, sob responsabilidade do Prof. Cardoso Teixeira). Com efeito, 30 das 45 horas de contacto da Unidade Curricular puderam ser dedicadas a conteúdos BIM. A UC contou com 23 alunos, e a sua avaliação final foi efetuada por teste escrito.

Foi também durante o ano letivo 2013/2014 que se iniciou o CursoBIM na Ordem dos Engenheiros. O Curso baseou-se na experiência de ensino BIM tida no ano letivo anterior, efetuando-se num esforço de equipa envolvendo formadores de várias instituições académicas e empresas, com coordenação da Universidade do Minho. Este curso tinha duração de 80 horas, e realizou-se de forma praticamente simultânea no Porto e em Lisboa (uma semana de desfasamento), nas respetivas sedes regionais da Ordem dos Engenheiros. Apesar deste Curso não se enquadrar nos projetos de ensino do DEC/UM, entendeu-se ser relevante a sua referência neste artigo dada a inter-relação que teve com a crescente experiência docente da equipa UM no contexto BIM.

2.3 Ano letivo 2014/2015

Tendo em conta as iniciativas de ensino BIM tidas nos anos letivos anteriores, bem como a insistente proposta de UC no âmbito BIM para o MIEC, foi aceite pela Direção do Curso MIEC que no ano letivo 2014/2015 fosse criada uma UC opcional no 4º ano com a denominação: “BIM na Engenharia Civil: Projeto e Construção”. A UC cingiu-se a uma turma de 30 alunos, tendo em conta o cariz de avaliação contínua da mesma, bem como a forte necessidade de acompanhamento por parte dos docentes. A unidade curricular foi disponibilizada para escolha por parte dos alunos, não havendo à partida garantia do seu funcionamento, que seria naturalmente condicional ao número de alunos interessados na Unidade Curricular. O grande interesse por parte dos alunos por parte das temáticas BIM levou a que esta UC fosse selecionada, com 1 turma de 30 alunos a funcionar em pleno. Considera-se que este foi um importante marco no ensino BIM em contexto de Engenharia Civil em Portugal, uma vez que foi a primeira implementação de uma Unidade Curricular exclusivamente dedicada a esta temática num curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil no País. O programa e conteúdos veiculados basearam-se nos materiais já desenvolvidos para as iniciativas anteriormente encetadas. O processo de avaliação foi baseado em dois trabalhos entregues pelos alunos, agrupados em grupos de 5: (i) um primeiro trabalho subordinado à descrição detalhada de uma regulamentação BIM específica; (ii) um segundo trabalho relacionado com um projeto BIM realizado a partir de peças desenhadas e escritas de um projeto existente realizado através de metodologias tradicionais. A descrição detalhada desta UC será feita na secção 4 deste artigo.

A UC ‘Integrated Design Process’ do iMiSBE voltou a realizar-se em 2014/2015 nos mesmos moldes do ano letivo anterior.

Assinala-se também a realização de edição especial do MCRS realizada de forma deslocalizada no ‘Instituto Superior Técnico Militar’ (ISTM) em Luanda, Angola. Nesse âmbito, o primeiro autor deste artigo deslocou-se em fevereiro de 2015 ao ISTM para lecionar UC denominada ‘Seminário BIM’, com conteúdos semelhantes à UC do MCRS já lecionada em Portugal no ano letivo 2012/2013. Esta formação contou com 20 alunos que foram avaliados com recurso a teste escrito.

Assinala-se também a realização da 2ª Edição do CursoBIM na Ordem dos Engenheiros entre outubro e dezembro de 2014 (com 25 formandos no Porto e 25 formandos em Lisboa).

2.4 Ano letivo 2015/2016

Neste ano letivo, voltou a decorrer a UC opcional ‘BIM na Engenharia Civil’ do MIEC, tendo novamente atingido a plena ocupação com 30 alunos. Neste ano letivo houve evolução ao nível dos conteúdos que passaram a incluir aula específica sobre ‘Regulamentação BIM’, ‘Programação em contexto BIM’ e ‘Implementação BIM’. Foram também introduzidas inovações ao nível da avaliação trabalhos práticos realizados pelos alunos, sendo que a primeira etapa consistiu na redação de um plano de execução BIM (BEP – ‘*BIM Execution Plan*’), e a segunda etapa no projeto BIM completo em consonância com o BEP inicialmente realizado. Voltou também a decorrer a edição do MCRS na UMinho, tendo sido a UC-BIM sido encetada em linhas semelhantes àquelas que foram descritas no contexto do ano letivo 2012/2013, i.e., com avaliação por teste escrito.

Neste ano letivo foi também realizada a 3ª edição do Curso BIM (Porto e Lisboa com total de 50 formandos). Nesta edição, que decorreu entre setembro e dezembro de 2015, foram introduzidas várias alterações relevantes das quais se destacam: (i) realização de períodos expositivos específicos para demonstração da aplicação de conceitos BIM com *software* comercial; (ii) registo de vídeos formativos de conteúdos veiculados nas formações (particularmente sobre *software*), permitindo acompanhamento e repetição por parte dos formandos fora dos períodos de contacto. Estas duas alterações principais decorreram de sugestões efetuadas nos inquéritos de satisfação realizados nas edições anteriores do CursoBIM, que apontaram de forma consistente nesse sentido.

3. A Unidade Curricular ‘BIM na Engenharia Civil’ do MIEC

O processo de ensino BIM no DEC-UM foi evoluindo ao longo dos 4 anos letivos reportados neste artigo. Naturalmente foram sendo introduzidos melhoramentos e conteúdos que conduziram à forma atual de ensinar. Pode considerar-se que a UC-BIM do MIEC ministrada em 2015/2016 repercute a quase totalidade das evoluções mencionadas, pelo que se optou pela criação de uma secção independente neste artigo para a sua descrição detalhada.

3.1 Funcionamento e sistema de ensino/avaliação

As aulas desta UC decorreram à sexta-feira, com um período da manhã entre as 9h e 12h para exposição de conceitos por parte dos docentes, e um período da tarde, entre as 13h e as 15h, para elaboração do trabalho prático por parte dos alunos. As aulas do período da manhã eram normalmente asseguradas por docente da UC, ou por convidado externo, conforme o calendário que será explanado na secção 3.2. No que diz respeito ao período da tarde, o ensino adotou formato tutorial, com acompanhamento por parte dos docentes e de um grupo de cerca de 10 ex-alunos da UC do ano letivo anterior que se voluntariou para dar apoio à UC. A presença de ex-alunos permitiu acelerar bastante a curva de aprendizagem inicial do software, que costuma ser uma relevante barreira no contexto da aprendizagem BIM. Para além disso, o registo informal de interação entre colegas de curso, que inclusive teve lugar fora dos horários letivos, facilitou bastante a interação.

Dada a inexistência de sala específica no DEC-UM com computadores para formação BIM, optou-se por solicitar aos alunos que usassem os respetivos computadores pessoais para realização dos trabalhos durante as aulas (e fora delas). As aulas decorreram numa sala de aulas normal, equipada com projetor multimédia, quadro branco e lugares sentados para ~35 pessoas. Adicionalmente ao material disponível na sala, foi feito um esforço por parte de docentes e alunos em garantir a existência de extensões elétricas para permitir que todos os computadores pessoais pudessem estar ligados à corrente elétrica durante as aulas. Com efeito, as aplicações BIM podem ser extremamente exigentes sobre os computadores, reduzindo drasticamente a autonomia a períodos inferiores às 2h de aula prática. O arranjo da sala sofria evoluções durante o dia de aulas: enquanto que de manhã se mantinha a localização de mesas e cadeiras típica de uma sala de aulas, com orientação para o docente, durante a tarde era efetuado um rearranjo de mesas/cadeiras para criar células individuais correspondentes aos grupos de trabalho.

A avaliação dos alunos foi feita exclusivamente com base nos trabalhos práticos, com os alunos separados em grupos de 5 e envolvendo duas entregas: (a) entrega 1 durante a primeira semana de abril, subordinada à elaboração de Plano de Execução BIM; (b) entrega 2 no final do semestre, respeitante ao relatório final do projeto BIM realizado. Ambas as entregas compreenderam um relatório escrito e uma apresentação oral. Foi dada uma ponderação de 35% à entrega 1 e de 65% à entrega 2. Foi também tida em conta a assiduidade e o desempenho específico de cada aluno no seio do seu grupo para efeitos de avaliação final da Unidade Curricular.

A comunicação entre docentes, alunos e monitores foi garantida de forma facilitada pela plataforma GLIP.COM, que é gratuita e permite troca de mensagens e ficheiros de forma instantânea em grupos pré-definidos. É também possível a instalação de *app* nos telemóveis, garantindo ainda mais disponibilidade de leitura/resposta. Para além do grupo global que envolvia todos os docentes/alunos/monitores, foi dada a sugestão dos alunos criarem grupos independentes relativos aos grupos de trabalho ou até interesses específicos (como linguagens de programação). A experiência de interação foi bastante positiva e irá ser mantida no ano letivo 2016/2017.

A partilha de ficheiros com os alunos foi feita através da plataforma DROPBOX, dada a grande dimensão e número de ficheiros. Para os docentes o processo foi extremamente simples e transparente, não tendo sido identificado nenhum problema por parte dos alunos relativamente a esta modalidade de partilha.

3.2 Programa e planificação letiva

A UC decorreu durante 15 semanas praticamente consecutivas, apenas interrompidas pelo período de férias da Páscoa e pela semana académica. O planeamento das aulas teóricas e práticas pode ser observado na Tabela 1, na qual os docentes responsáveis pelas aulas teóricas se encontram identificados entre parêntesis. Em termos de conteúdos programáticos veiculados nas aulas teóricas, iniciou-se com os fundamentos relacionados com as definições genéricas, seguidas de conceitos detalhados sobre modelação paramétrica e interoperabilidade. Na quarta semana foi dado ênfase a planos de execução e aplicação BIM, em consonância com os objetivos da primeira avaliação do trabalho prático. Seguidamente, os conteúdos nas aulas teóricas seguiram a lógica das especialidades envolvidas em obras de construção civil: arquitetura, estruturas e instalações. Já nas semanas 11-13 foram abordados aspetos relacionados com o BIM na construção (incluindo 4D e 5D) e na gestão de operações/manutenção (BIM-FM). A semana final de formação incidiu sobre a implementação BIM em perspetiva estratégica e organizacional.

Tabela 1: Planeamento de aulas teóricas e práticas.

Semana	Aula Teórica (9h-12h)	Aula prática (13h-15h)
1	Introdução ao BIM (Miguel Azenha)	-
2	Modelação paramétrica (Miguel Azenha)	Trabalho prático
3	Interoperabilidade (Miguel Azenha)	Trabalho prático
4	Planos de execução e aplicação BIM (Bruno Caires)	Trabalho prático
5	BIM na Arquitetura (Vanessa Tavares)	Trabalho prático
6	BIM na Arquitetura (Nuno Lacerda)	Trabalho prático
-	Páscoa	Páscoa
7	Apresentação dos trabalhos TP1	Apresentação dos trabalhos TP1
8	BIM na Eng. Estruturas (José Carlos Lino)	Trabalho prático
9	BIM nas instalações hidráulicas e elétricas (Francisco Reis)	Trabalho prático
10	Programação em contexto BIM (Carlos Gomes e Luís Bidarra)	Trabalho prático
11	BIM na Construção (João Pedro Couto)	Trabalho prático
12	BIM na Construção (José António Ribeiro)	Trabalho prático
-	Semana Académica	Semana Académica
13	BIM-FM (João Poças Martins)	Trabalho prático
14	Implementação BIM (António Aguiar Costa)	Trabalho prático
15	Apresentação dos Trabalhos TP2	Apresentação dos Trabalhos TP2

3.3 O trabalho prático

Nesta secção será dada ênfase apenas ao trabalho prático final da UC uma vez que, a primeira entrega (do plano de execução), corresponde na realidade a uma fase parcelar dos trabalhos conducentes ao projeto BIM final.

Pretendeu-se com o trabalho prático permitir aos alunos ter experiência direta na produção de modelos BIM e, principalmente, na extração de informação relevante dos mesmos. Naturalmente, uma das importantes componentes do trabalho relacionou-se com a aprendizagem do software, bem como a resposta aos desafios de interoperabilidade intrínsecos aos processos BIM.

Os alunos foram desafiados a fazer o estudo completo em BIM de uma construção sorteada aquando do arranque do trabalho. Este trabalho deveria envolver, potencialmente, as valências de Arquitetura, Estruturas, AVAC, Redes de Águas, Orçamentação e Faseamento Construtivo, entre outras. Como material de base foram dados os processos completos de peças escritas (PDF) e desenhadas (DWG) de 6 casos de estudo: 4 edifícios habitacionais em Guimarães; um Hotel em Lisboa; o novo edifício do Instituto de Ciência e Inovação para a Bio-sustentabilidade (IB-S) localizado no Campus de Azurém da UMinho, em Guimarães.

Foram criados grupos de cinco alunos, encorajados desde o início a definir claramente o papel que cada um iria assumir no processo BIM, com a seguinte recomendação de papéis: coordenação BIM; arquitetura; engenharia de estruturas; engenharia de redes hidráulicas; gestão da construção. Foi estabelecido um conjunto de objetivos recomendáveis no contexto de cada componente do modelo BIM e explanado no enunciado do trabalho. Além disso, foram estabelecidos os seguintes critérios de avaliação à partida: (i) integração e trabalho colaborativo; (ii) abrangência (integração de várias especialidades); (iii) utilização de objetos e modelação

paramétrica na criação dos modelos; (iv) interoperabilidade (p.ex. IFC); (v) exploração de visualização avançada dos modelos; (vi) qualidade do relatório; (vii) apresentação final (incluindo respeito pelas regras/tempos).

Em termos de licenças de *software*, os processos a seguir são relativamente simples, uma vez que a maior parte dos produtores permitem automaticamente o uso gratuito para fins de ensino, bastando o simples registo do endereço de e-mail institucional dos alunos. Em alguns casos, é necessária a intervenção dos docentes para que seja disponibilizada versão académica do software. Regista-se que não ocorreu nenhum caso de rejeição de licença académica gratuita, o que é bastante positivo do ponto de vista da formação dos alunos.

Ainda relativamente ao *software*, indica-se que no ano letivo 2015/2016 se efetuou uma nova experiência: tornar o uso de determinados softwares obrigatório para determinadas especialidades. Para o efeito, imediatamente após o sorteio dos trabalhos a realizar, os alunos foram informados de que teriam que usar um software específico para cada especialidade. Esta iniciativa foi tomada devido à tendência observada em formações anteriores de os alunos tendencialmente usarem apenas soluções da Autodesk (líder de mercado em grande parte dos segmentos BIM), em detrimento de se aventurarem em processos de aprendizagem de plataformas alternativas, bem como de arriscar interoperabilidade entre plataformas distintas. Esta prática revelou-se interessante, mas deverá ser aplicada com adaptações no futuro, em face das curvas de aprendizagem especialmente lentas de alguns softwares que disponibilizam menos recursos de aprendizagem.

Apesar da entrega do trabalho estar marcada para o início de junho, quer no ano letivo 2014/2015, quer no ano letivo 2015/2016, os alunos solicitaram adiamento da entrega do trabalho e respetiva apresentação para o mês de julho, permitindo-lhes realizar trabalho adicional durante a época de exames e mesmo após a mesma.

Da realização dos trabalhos práticos têm resultado relatórios, apresentações e vídeos de grande maturidade, tendo em conta que se tratam de alunos do 4º ano. Com efeito, durante o semestre sente-se o crescendo de conhecimento BIM por parte dos alunos, em face dos desafios práticos que sentem. Por outro lado, é interessante verificar que a UC-BIM tem servido para ensinar bastante aos alunos sobre projeto de arquitetura/engenharia, na medida em que é a primeira vez no seu curso que têm acesso aos projetos completos de um edifício. Uma parte interessante da aprendizagem que se obtém é, de facto, a capacidade de interpretar e compreender projetos, reconstruindo-os na 3ª dimensão (e outras) através do modelo BIM.

A título exemplificativo de alguns resultados obtidos pelos alunos, mostram-se na Figura 2 algumas imagens finais de trabalhos desenvolvidos.

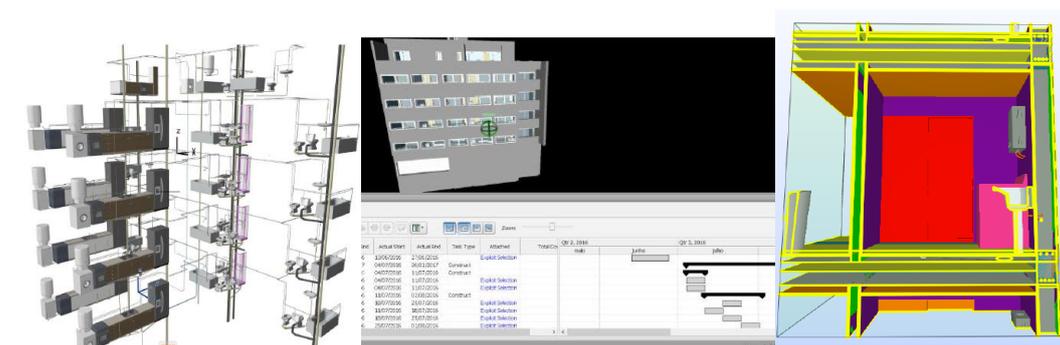


Figura 2: Algumas imagens exemplificativas do resultado final dos trabalhos dos alunos da UC-BIM no ano letivo 2015/2016.

4. Iniciativas de disseminação em contexto académico

No presente capítulo são explanadas as várias iniciativas tomadas no contexto do BIM para disseminação desta relevante temática, bem como de trabalhos realizados no contexto do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. O capítulo separa-se em 3 partes principais: (i) seminários; (ii) a iniciativa BIMCLUB; (iii) canal YouTube e página Facebook relativos a BIM no Departamento de Engenharia da Universidade do Minho.

4.1 Seminários

Desde o primeiro seminário realizado em 12/12/2012, ilustrado na Figura 3a, tentou-se realizar sempre um seminário por ano, até à presente data: em 2013, 2014, 2015 e 2016. À exceção da primeira iniciativa de 2012, que foi claramente dirigida ao conjunto da comunidade académica e comunidade profissional da região, os seminários dos anos subsequentes foram essencialmente direcionados para a comunidade académica, particularmente aos alunos do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil. Nestas atividades de disseminação tentou-se sempre manter uma componente formativa de demonstração de aplicação prática de BIM em exemplos concretos, mas também com convidados externos para apresentação de testemunhos de aplicação BIM em contexto profissional. Tem-se também utilizado estes seminários para disseminação do progresso de trabalhos de dissertação de Mestrado em curso, com oportunidade de discussão entre colegas, e funcionando como agente motivador para futuros alunos da UC-BIM e de realização de dissertações de mestrado neste contexto.

4.2 A iniciativa BIMCLUB – www.bimclub.pt

No âmbito do evento de 12/12/2012, foi proposta a criação de uma plataforma comum no meio académico nacional, denominada BIMCLUB. O BIMCLUB é uma iniciativa com génese no meio académico, tendo em vista o estabelecimento de uma plataforma virtual de discussão informal e promoção de iniciativas relacionadas com a implementação e divulgação do BIM, particularmente dirigido a estudantes e docentes. A iniciativa é suportada numa página WEB (www.bimclub.pt), contando com a associação de 9 instituições académicas e de investigação à data da escrita do presente artigo. Pretende ser uma forma agregadora das iniciativas encetadas pelas várias instituições, que podem obter sinergia direta através desta iniciativa comum.

Numa comprovação cabal das suas características muito centradas na comunidade dos alunos (servindo os docentes apenas como tutores e polos de ligação à instituição universitária, por uma questão mais de mera logística de sites e espaços a utilizar do que propriamente de envolvimento pedagógico/académico) e numa verdadeira estratégia de implementação “bottom-up”, foi com grata satisfação que os autores se aperceberam da proliferação desta iniciativa de um modo totalmente autónomo, para outras comunidades estudantis, inclusivamente para Espanha (<http://www.bimclub.es/>).

4.3 Canal YouTube e página Facebook

Tendo como objetivo alargar o processo de disseminação das iniciativas BIM no Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho, foram criadas páginas específicas no Facebook e no YouTube para o efeito, denominadas “BIM no Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho”. No canal YouTube, que conta já com um total de 8 vídeos públicos, são colocados vídeos alusivos a trabalhos de Mestrado em Curso, bem como vídeos resultantes dos trabalhos realizados no âmbito da Unidade Curricular do 4º ano do MIEC. Na página do Facebook têm sido disseminados todos os eventos em que o DEC/UM tem estado envolvido, bem como as atualizações ao canal YouTube. Refira-se que o potencial de disseminação se tem revelado bastante eficaz uma vez que, à presente data, a página de Facebook conta já com mais de 2500 seguidores.

5. Conclusões

No presente artigo foi passado um testemunho sobre os processos de disseminação e implementação BIM no contexto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade do Minho. O artigo compreendeu a descrição cronológica da implementação BIM em unidades curriculares específicas dos projetos de ensino do departamento, bem como uma discussão sobre a estrutura e funcionamento da Unidade Curricular “BIM na Engenharia Civil” do 4º ano do Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Universidade do Minho. Finalmente foram apresentadas as várias iniciativas de disseminação BIM do DEC-UM, compreendendo seminários, o BIMCLUB e os canais YouTube e Facebook.

A experiência de ensino BIM no decurso dos últimos 4 anos letivos tem-se revelado bastante produtiva, tendo-se confirmado a viabilidade de recurso à ‘aprendizagem baseada em projeto’ (*project based learning*) com que se tem realizado o ensino/avaliação no âmbito da unidade curricular do 4º ano do MIEC. Esta unidade curricular, pioneira a nível nacional no contexto dos cursos de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, tem tido um acolhimento bastante positivo por parte dos alunos, e encontra-se em constante atualização face à evolução das regulamentações potencialmente aplicáveis, bem como pela evolução do software de suporte. Acredita-se que o caminho trilhado conduziu os autores a uma perceção melhorada das formas de ensinar BIM e que este testemunho se poderá revelar útil para garantir que outros projetos de ensino de outras Escolas/Faculdades de Engenharia Civil e Arquitectura possam implementar de forma facilitada o ensino do BIM.

Agradecimentos

O trabalho aqui apresentado resultou em muitos aspetos de trabalho de equipa bastante alargado com alunos, ex-alunos e colegas de outras instituições e/ou empresas. Apesar de ser difícil sermos justos para todos os envolvidos, destaca-se a colaboração dos ex-alunos Bruno Caires, Carlos Gomes, Alexandre Marques, Luís Bidarra e Bruno Ribeiro. É também de assinalar a uma palavra de agradecimento aos formadores que apoiam a UC BIM do MIEC, com referência especial aos que participaram nos últimos 2 anos letivos: João Poças Martins, António Aguiar Costa, Carlos Nuno Lacerda, Francisco Reis, Vanessa Tavares e José António Ribeiro.

Referências

- [1] MB Barison e ET Santos, "A tool for assisting teachers in planning BIM courses". *Computing in Civil and Building Engineering - Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. pp. 2159-2166, 2014.
- [2] MB Barison e ET Santos, " The competencies of BIM specialists: A comparative analysis of the literature review and job Ad descriptions ". *Congress on Computing in Civil Engineering, Proceedings* pp. 594-602, 2011.
- [3] MB Barison e ET Santos, "BIM teaching strategies: an overview of the current approaches" in *Proc. of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, Nottingham, 2010*.
- [4] H Fontes, M Azenha e R Sanches, "Potencialidades de aplicação de ferramentas “Building Information Modelling”, Encontro Nacional Betão Estrutural 2010 – Lisboa, 2010.
- [5] JC Lino, M Azenha e PB Lourenço, "Integração da metodologia BIM na Engenharia de Estruturas”, Encontro Nacional Betão Estrutural 2012 – Porto, 2012.
- [6] F Bastos, A Aguiar Costa, "Building Information Modeling. O Ensino do BIM em Portugal”, *Construção Magazine*, nº69, 2015.

Parte II
BIM em projeto de arquitetura e engenharia

O BIM APLICADO A ESTAÇÕES DE METRO

Luís Ribeirinho ⁽¹⁾, André Monteiro ⁽²⁾, Miguel Conceição ⁽¹⁾

(1) CENOR Consultores, S.A., Lisboa

(2) bimTEC, Porto

Resumo

No presente artigo expõe-se de que forma as metodologias e processos BIM podem contribuir para a comunicação do faseamento executivo no projeto de grandes escavações, nomeadamente de escavações a céu aberto com recurso a cortinas flexíveis. De seguida é apresentado um caso prático de aplicação do processo BIM a uma estação de metro com cerca de 6700 m² de área de implantação e 28 m de profundidade. Esta estação foi desenvolvida recorrendo a ambas as metodologias, CAD e BIM, permitindo, por isso, comparar resultados. Indicam-se ainda as principais dificuldades encontradas na abordagem BIM, explicando como foram ultrapassadas e dando exemplos concretos de procedimentos que se desenvolveram para dar resposta, designadamente, à modelação da escavação. Por fim, apresenta-se uma outra estação de metro, desenvolvida apenas em BIM, o que suscitou medidas adicionais de organização, e onde se introduziu o modelo geológico.

1. Introdução

O presente artigo refere-se à aplicação do processo *Building Information Modelling* (BIM) [1] a grandes escavações, explorando as vantagens gerais e particulares do mesmo neste tipo de obras.

A construção de estruturas subterrâneas tem vindo a conhecer um assinalável desenvolvimento a nível mundial. Este desenvolvimento tem sido particularmente importante nas áreas metropolitanas, onde as elevadas taxas de crescimento da população têm originado carências em redes de transportes e de outras infraestruturas de água, esgotos, gás, eletricidade e telecomunicações [2]. Estas obras podem ser complexas e com características muito próprias onde, para além da definição da estrutura de suporte, importa também definir com rigor o faseamento executivo da escavação.

Apesar de as ferramentas BIM não apresentarem ainda um grau de desenvolvimento elevado no que respeita especificamente às obras geotécnicas, já é possível desenvolver projetos completos de grandes escavações neste ambiente, tirando partido das vantagens inerentes a esta forma de trabalhar na indústria Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) e em especial das ferramentas de definição de faseamento, que permitem transmitir a sequência dos trabalhos de forma mais intuitiva, facilitando assim a compreensão de todos os intervenientes e de quem executa.

2. Contributo do BIM

A aplicação de metodologias BIM no desenvolvimento do projeto de geotecnia carece de documentação científica, tanto do ponto de vista teórico, descrevendo requisitos de aplicação, métodos e processos, como do ponto de vista prático, onde sejam apresentados resultados efetivos de casos de estudo. A utilidade de modelos de informação do projeto de geotecnia começa a ser reconhecida pela indústria [3], sobretudo na fase de construção, onde são utilizados para realizar uma melhor caracterização do terreno e dos requisitos de construção, permitindo reduzir riscos e custos de construção [4], [5]. A capacidade de utilização dos dados geológicos e geotécnicos em diferentes tipos de modelo, isto é, a interoperabilidade, é um dos requisitos fundamentais identificados para qualquer tipo de metodologia BIM.

O contributo mais imediato de uma aplicação de modelação BIM para o desenvolvimento do projeto de geotecnia passa pela modelação e caracterização do terreno em diferentes tipos de vista, 2D e 3D. Funcionalidades mais avançadas, como a integração da componente temporal no desenvolvimento do modelo, são complementos de considerável valor acrescentado.

Ao assentar na simbiose entre representação tridimensional e informação, o BIM permite associar a informação temporal relativa à execução de cada elemento à respetiva representação do elemento da obra no modelo BIM. Com base nesta informação, é possível definir as fases necessárias à execução dos trabalhos e criar uma série de vistas, para cada momento, onde se evidenciam quais os elementos criados ou demolidos em cada fase, por meio de representação gráfica distinta para, por exemplo, cada tipo de operação a realizar. É ainda possível associar, a cada fase, um período temporal para representar a duração dos trabalhos e fazer variar, ao longo do tempo, a aparência dos elementos, criando, desta forma, uma animação do faseamento executivo. O grau de realismo desta animação dependerá, naturalmente do esforço despendido e da complexidade da obra, sendo necessário ponderar os benefícios e os custos. A informação temporal relativa ao faseamento é incluída no modelo BIM podendo ser utilizada ou manipulada por *software* especializado de gestão de obra, constituindo-se o modelo BIM como uma ferramenta de visualização e controlo da empreitada.

3. Projeto-piloto

3.1 Caracterização do projeto

No âmbito da implementação BIM na CENOR foi escolhido o projeto de uma estação subterrânea de metro como projeto-piloto para formação das equipas de geotecnia e estruturas e em simultâneo para validação da aplicabilidade das ferramentas a este tipo de obras.

A área de implantação da estação, incluindo os acessos, é cerca de 6700 m². A escavação tem 130 m de comprimento, 22,6 m de largura média e 28 m de profundidade. Está ainda definido um poço de bombagem no extremo sudoeste da estação onde a escavação é 7 m mais profunda (Figura 1). No que diz respeito à estrutura de contenção, foram projetadas paredes moldadas. Definiu-se o encastramento das paredes de 16 m para garantir a impermeabilização do fundo da escavação. A viga de coroamento do corpo principal da estação situa-se a uma profundidade média de 3,5 m, o que implica uma escavação geral, com tratamento dos taludes de escavação até ao terreno natural (Figura 2).

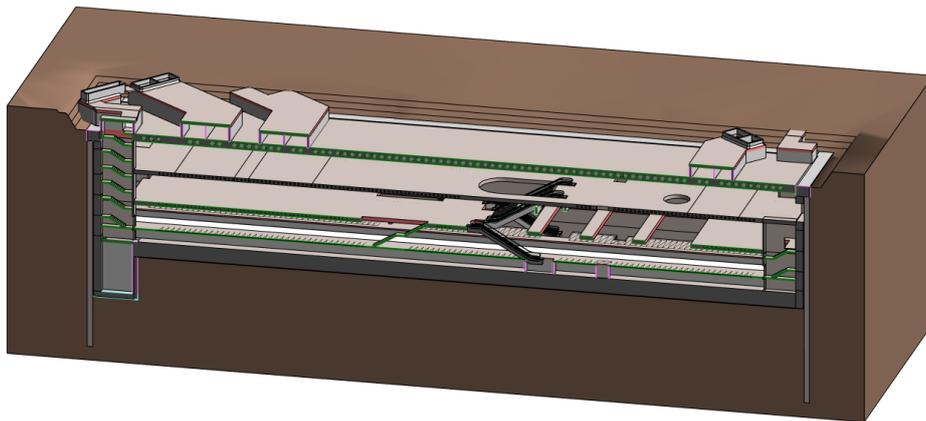


Figura 1: Vista em corte do modelo tridimensional da estação de metro.

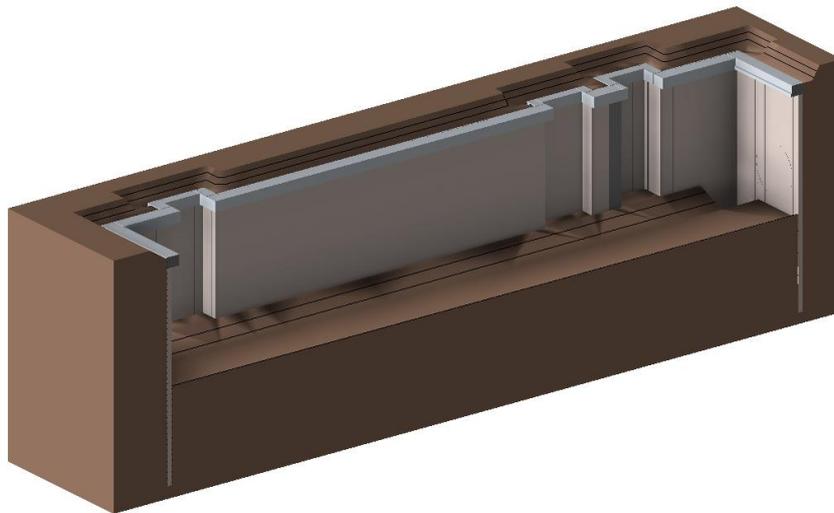


Figura 2: Paredes moldadas e viga de coroamento.

As paredes moldadas são executadas por painéis alternados em toda a profundidade, havendo uma ligeira sobreposição entre os painéis de primeira e de segunda fase, resultante da necessidade de garantir a continuidade da parede. As zonas de contacto dos painéis de primeira fase são demolidas para que haja uma boa ligação entre os betões de ambas as fases. No interior das paredes moldadas está prevista uma parede de forro, com 1,4 m de espessura, que será executada em conjunto com os níveis de apoio à medida do avanço da escavação.

Estão definidos 5 níveis de escoramento, dos quais quatro são metálicos e o restante é uma laje intermédia da estação com 0,70 m de espessura (Figura 3). Cada apoio da estação a materializar pelos perfis metálicos será formado por duas secções em caixão com um comportamento viga-coluna independente (Figura 4). Tendo em conta os esforços atuantes em cada nível, foi necessário definir contraventamento na direção de menor inércia dos perfis nos três níveis de escoramento abaixo da laje intermédia (Figura 5). A localização de cada nível foi definida tendo em conta as cotas de escavação e as juntas de betonagem da parede de forro.

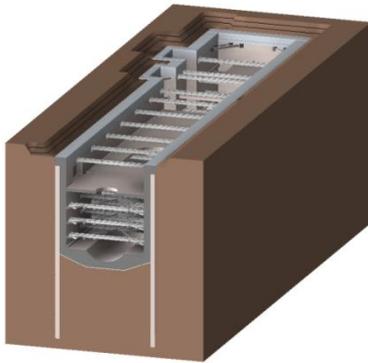


Figura 3: Níveis de escoramento.

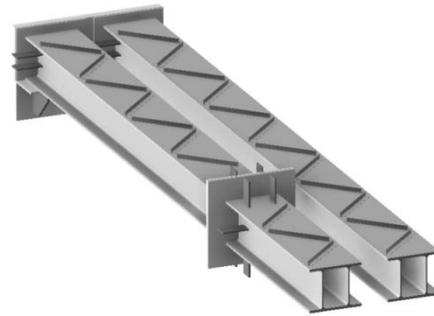


Figura 4: Perfis metálicos.



Figura 5: Contraventamento dos níveis abaixo da laje intermédia.

A arquitetura da estação obrigou à definição de três nichos na parede sul para instalação de poços de ventilação até à superfície, tendo-se definido o escoramento de forma a não ocupar o espaço corrente do interior da estação nessas zonas, para permitir a movimentação de materiais e equipamentos entre o interior e o exterior da escavação (Figura 6). Foram ainda definidos rolhões em jet-grout nas extremidades da estação.

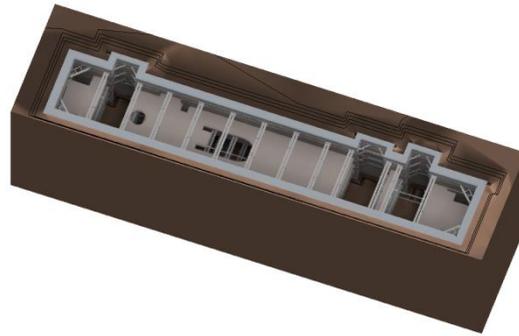


Figura 6: Aproveitamento dos nichos para permitir a movimentação de materiais e equipamentos.

3.2 Abordagem e objetivos

A modelação desta estação em BIM foi feita em paralelo com a produção recorrendo à metodologia tradicional, uma vez que este era um trabalho em curso e não se achou prudente comprometer a qualidade e prontidão da entrega com as eventuais vicissitudes decorrentes de uma nova metodologia ainda não experimentada pela equipa. O REVIT foi o *software* adotado pela CENOR para o desenvolvimento de projetos BIM.

O projeto-piloto tinha três propósitos fundamentais: formar uma equipa capaz de modelar em BIM (usando REVIT); testar, na CENOR, a capacidade de desenvolvimento de projetos de grandes escavações em BIM; obter medições das principais quantidades de materiais do projeto.

Relativamente ao primeiro objetivo, a aquisição de competências de modelação foi além da simples familiarização com o funcionamento da aplicação, procurando dar-se ênfase à modelação orientada para o projeto, em que o modelo é construído desde o início tendo já em conta os *outputs* finais, neste caso, os desenhos do projeto e as quantidades. Esta abordagem reflete-se na forma como os elementos são modelados e como a informação é introduzida nos elementos. Particularmente no que diz respeito a este projeto, um exemplo desta abordagem reflete-se na forma como as paredes moldadas foram modeladas painel a painel e contemplando a sobreposição entre painéis.

Uma forma de validar o segundo objetivo foi a replicação de alguns dos desenhos produzidos em CAD, seleccionando-se desenhos considerados representativos de cada tipo, nomeadamente, plantas, cortes, alçados e detalhes.

Em adição aos elementos produzidos de acordo com a representação tradicional, foi definido um quarto objetivo mais ambicioso que os restantes, a animação do faseamento executivo através da combinação do modelo com o planeamento das atividades de construção.

3.3 Comparação entre as metodologias CAD e BIM

A principal vantagem de o projeto ter sido desenvolvido recorrendo a ambas as metodologias, CAD e BIM, foi permitir comparar resultados. As condições de trabalho nas duas abordagens não foram as mesmas, no entanto, isso foi tido em conta na comparação realizada. A quantidade de trabalho produzido em CAD foi maior, não só porque se produziram mais desenhos da

estação, mas também porque foram definidos os seus acessos, que não foram modelados em BIM. Por outro lado, o tempo despendido em BIM reflete, em parte, o tempo necessário para adaptação a um novo *software*, o desenvolvimento de metodologias de modelação, a criação de vários objetos personalizados e o teste dos modelos, em virtude de este ser o primeiro projeto do género realizado na empresa, o que justifica não existirem ainda as bases necessárias para agilizar o processo.

Contabilizaram-se as horas gastas em CAD e em BIM. Em relação às horas gastas em CAD, admitiu-se que 50% do total teria sido gasto a desenhar os acessos à estação e que dessas horas, 5% teriam sido gastas em alterações decorrentes da conceção. Considerou-se um valor bastante reduzido para as alterações, uma vez que os avanços e recuos da conceção foram praticamente todos absorvidos pela engenharia e pelo cálculo. Assim sendo, contabilizaram-se 473 horas em CAD. No que diz respeito às horas gastas em BIM, o total das horas registadas é de 464 horas, ou seja, da mesma ordem de grandeza das horas gastas em CAD. Contudo, 150 dessas horas foram de apoio à modelação, valor que tenderá a diminuir com a maturidade da equipa.

Em relação à qualidade do trabalho produzido, pode afirmar-se que se produziram entregáveis com o mesmo rigor e detalhe que pautam o restante trabalho produzido pela empresa, tendo sido inclusivamente detetadas algumas incompatibilidades entre desenhos desenvolvidos pela metodologia tradicional e que não tinham sido descobertas pela equipa CAD, tendo permitido realizar algumas correções e evitando que as incompatibilidades surgissem na fase de medições ou mesmo durante a preparação de obra.

No que se refere às dificuldades relativamente à abordagem BIM, destaca-se a falta de experiência dos modeladores, a necessidade de avaliar vários cenários possíveis de modelação e o facto de as ferramentas disponíveis não estarem ainda totalmente amadurecidas. Estima-se que, no futuro, o tempo necessário para desenvolver os modelos e preparar as peças desenhadas será reduzido relativamente ao verificado neste projeto-piloto uma vez que a inexperiência dos modeladores tenderá a desaparecer à medida que a equipa for desenvolvendo mais projetos em BIM. Para além disso, é expectável o aparecimento de novas soluções para dar resposta a requisitos de utilização específicos à medida que cada vez mais empresas forem adotando a metodologia BIM e as *softwarehouses* forem aprimorando os seus *softwares*.

3.4 Modelação do terreno e das estruturas de fundação e suporte

Ao longo do desenvolvimento do projeto-piloto foram identificadas alguns aspetos a evoluir nos processos de modelação do projeto de geotecnia, sobretudo em relação a dois casos em particular.

O primeiro está relacionado com a modelação da escavação (Figura 9). O primeiro passo foi a importação do CAD com as curvas de nível e os pontos que definiam o terreno natural, convertendo-se de seguida essa informação numa topografia REVIT. Definida a fase zero (existente), a topografia das fases seguintes foi, inicialmente, definida à custa de uma ferramenta específica da aplicação para fasear alterações topográficas. Contudo, as ferramentas de modelação de superfícies topográficas, com as quais se definiriam as alterações ao terreno em relação à sua forma original, limitam-se à edição dos pontos que definem a topografia (Figura 7). Esta operação, realizada com a referida ferramenta do REVIT, mostrou-se muito

trabalhosa, especialmente tendo em conta que a escavação em causa se executa na vertical, o que se traduziu em frequentes erros de triangulação. A utilização de *Pads* (elemento REVIT que permite modelar escavações na vertical) também se revelou limitado, dado que os limites inferiores dos vários níveis de escavação por fase têm uma pente longitudinal, e o seu perfil irregular (Figura 8). Houve então necessidade de encontrar um procedimento mais apropriado para definir as fases de escavação. Uma vez que uma das características do BIM passa pela integração da contribuição de diferente *software* para o desenvolvimento do modelo, a solução passou pela utilização do Civil 3D, um programa orientado e estruturado para a modelação de superfícies topográficas.

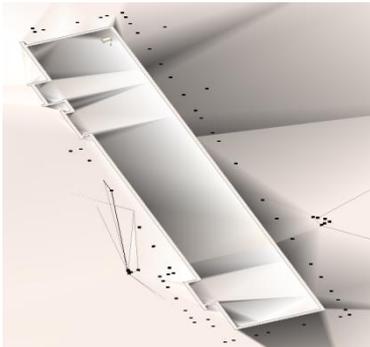


Figura 7: Modelação de superfície topográfica recorrendo à edição de pontos no REVIT.

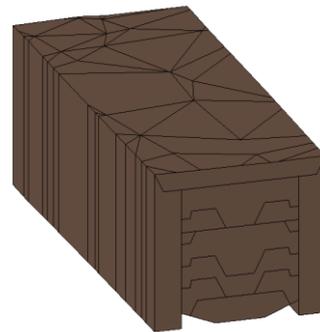


Figura 8: Elementos genéricos da topografia importada do Civil 3D.

O procedimento adotado passou pela criação das superfícies de cada fase em Civil 3D, através das quais se geraram sólidos entre cada duas superfícies, representando os volumes a movimentar em cada fase. Os sólidos gerados automaticamente pelo Civil 3D foram importados para o modelo REVIT como elementos genéricos (Figura 8). Neste caso, optou-se por perder a classificação do elemento como pertencendo à categoria de topografia em prol da velocidade e do rigor com que foi possível definir a geometria.

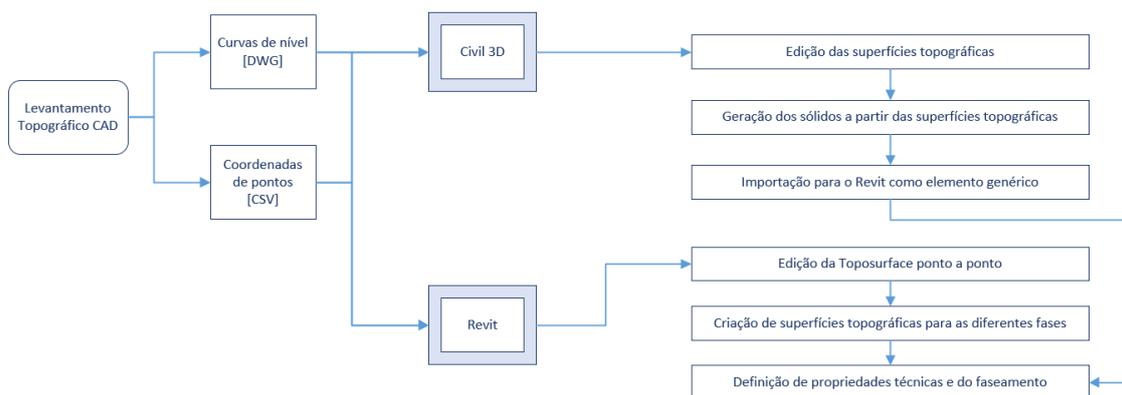


Figura 9: Procedimentos adotados para modelar o terreno.

O segundo exemplo está relacionado com a escolha da ferramenta para modelação das paredes moldadas. Atendendo ao próprio nome faria sentido que fossem modeladas com a ferramenta

disponível para modelação de paredes. Contudo, dada a necessidade de modelar a sobreposição dos painéis, bem como a sua individualidade, isto é, que cada painel se mantenha independente e que não se funda com os painéis adjacentes, optou-se por modelar cada painel como pilar, cuja ferramenta no REVIT apresenta um comportamento mais parecido com o que se pretende obter para os painéis das paredes moldadas.

4. Desenvolvimentos pós projeto-piloto

Terminado o projeto-piloto, teve início o desenvolvimento de uma nova estação exclusivamente em BIM. O facto da conceção do projeto ter passado para o ambiente BIM, obrigou à adoção de medidas adicionais de organização.

O arranque deste projeto foi marcado pela elaboração do *BIM Execution Plan* (BEP), onde se define toda a informação relevante relacionada com o projeto: equipas; especialidades envolvidas; responsáveis; entregáveis; datas de entrega; configurações dos modelos; processos de modelação. Este documento foi validado pelos responsáveis das diferentes especialidades.

Foi também desenvolvido um sistema de gestão documental com o objetivo de evitar que se perdesse o rasto da versão mais recente, ou que outras especialidades utilizassem modelos que não estivessem validados.

Em relação ao projeto-piloto houve uma especialidade que se estreou nesta estação na metodologia BIM: a Geologia. Na estação anterior modelou-se a camada de cascalho que condicionou a profundidades das paredes moldadas, mas a sua utilidade cingiu-se à apresentação do projeto, na medida em que a solução já estava definida. Como nesta estação a solução é definida em ambiente BIM e como a solução geotécnica depende da geologia do local da estação, considerou-se que seria vantajoso que essa informação estivesse modelada.

Por um lado, a possibilidade de visualizar tridimensionalmente o modelo geológico permite uma melhor compreensão do mesmo. Para além disso, permite que facilmente se façam cortes com qualquer orientação dentro do volume definido, apesar de tal implicar um maior esforço inicial, pois obriga à interpolação e extrapolação de todo o volume definido pelas formações interessadas pela obra, em vez de se definirem apenas as secções consideradas representativas. Uma outra vantagem da modelação tridimensional da geologia, menos operacional e mais técnica, é a possibilidade de permitir escolher melhor o perfil de cálculo a adotar.

No capítulo 6 refere-se a ligação ao Civil 3D para a modelação da escavação e foi essa a ferramenta inicialmente escolhida para modelar a geologia. A equipa de Geologia definiu uma planta para cada limite com as respetivas isolinhas, tendo-se utilizado essa informação para gerar superfícies de Civil 3D. Contudo, ao realizar os primeiros cortes, e sendo estas superfícies muito mais complexas do que as testadas para os níveis de escavação da primeira estação, foi possível constatar que as superfícies não dispunham de detalhe suficiente, apresentando-se um facetadas e com aspeto pouco orgânico. Para além disso, controlar a geometria da superfície na aproximação a outro limite através de isolinhas mostrou ser uma tarefa árdua e com resultados insatisfatórios. Foi então que surgiu a ideia de testar outro *software* de modelação tridimensional.

Os diferentes limites geológicos acabaram por ser modelados em Rhinoceros, uma vez que este programa dispõe de um conjunto de ferramentas de modelação muito mais alargado, que permitiu expressar melhor a conceção que a equipa de Geologia fez do local (Figura 10).

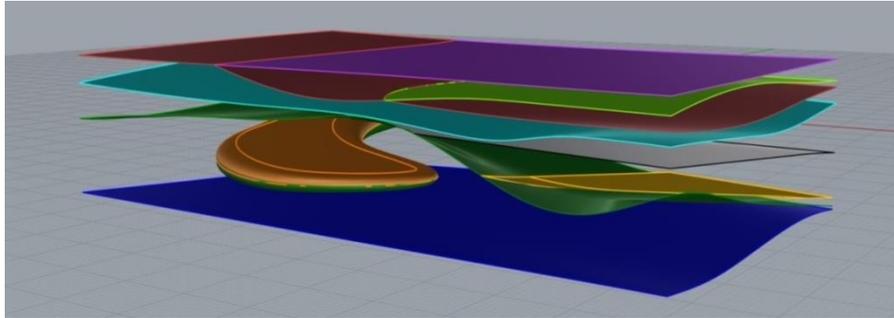


Figura 10: Modelação da geologia em Rhinoceros.

A ligação ao Revit foi feita através do formato SAT (*Standard ACIS text*). Cada limite foi exportado para um ficheiro SAT, que por sua vez foi ligado a uma *In-Place Mass*. Foi necessário colocar os *links* em famílias para que pudessem ser controladas visualmente, serem seccionadas em corte, aparecendo apenas as linhas de corte das superfícies, e fossem passíveis de ligação a anotações automáticas (Figura 11). Os textos com a identificação do tipo de material são *tags* que leem o nome do tipo de cada família de massa.

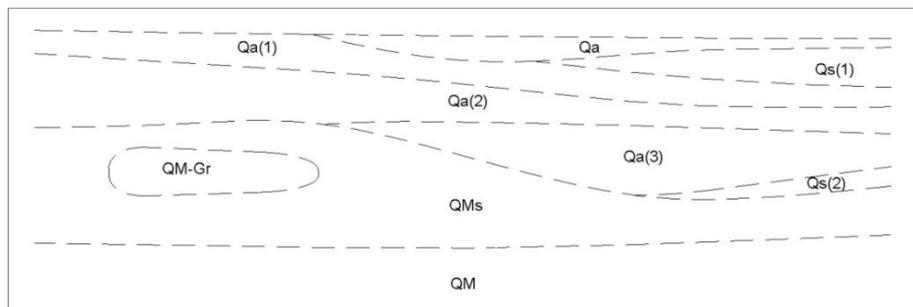


Figura 11: Corte longitudinal extraído do REVIT.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

Os resultados do projeto-piloto apresentado no presente documento permitiram concluir que é efetivamente possível utilizar uma metodologia BIM em projetos da indústria AEC, incluindo especialidades menos frequentemente associadas ao BIM, como é o caso da geotecnia, obtendo benefícios a nível da produtividade e da comunicação e instrução do projeto. A possibilidade de planejar de uma forma mais rigorosa o faseamento da construção, a segurança com que se introduzem alterações e se detetam incoerências no modelo representa uma mais-valia significativa para o Projetista, o Empreiteiro e o Dono de Obra. Apesar do número de horas despendidas para o desenvolvimento do projeto em ambiente CAD e em ambiente BIM ter sido muito aproximado, admite-se que o número de horas para desenvolvimento do projeto BIM tenderá a baixar com o evoluir da metodologia interna e das competências de modelação.

Os desafios relacionados com a modelação do projeto de geotecnia centram-se sobretudo na modelação do terreno integrando a componente do faseamento construtivo. Para superar as limitações sentidas a este nível, foi desenvolvido um *workflow* para a utilização do Civil 3D e do Revit para modelação de camadas de terreno sucessivas.

A introdução da Geologia na metodologia BIM continua a ser inovadora, apesar de ser tecnicamente viável desde o final da década de 80. A tomada de decisões em obras geotécnicas sem informação geológica está altamente condicionada e nesse sentido parece inevitável que ambas as especialidades transitem em simultâneo para a metodologia BIM.

No que diz respeito a avanços futuros, estes passarão decerto pela ligação dos modelos das obras geotécnicas a programas de cálculo geotécnico, nomeadamente de estabilidade, de percolação, de análise dinâmica ou de tensão-deformação. Estando o faseamento construtivo e as propriedades mecânicas das diferentes formações geológicas definidos no modelo, poderia ser possível importar também essa informação para o programa de cálculo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Arq.^a Sofia Henriques e ao Eng.^o Luís Rodrigues a sua colaboração na elaboração deste artigo.

Referências

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks e K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*, Hoboken, N.J: Wiley, 2008.
- [2] J. N. V. Almeida e Sousa, *Túneis em maciços terrosos. Comportamento e modelação numérica*. Dissertação de Doutoramento, Coimbra, Portugal: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 1998.
- [3] R. L. Tawelian e B. S. Mickovski, “The Implementation of Geotechnical Data Into the BIM Process,” *Procedia Engineering*, vol. 143, n.º *Advances in Transportation Geotechnics 3. The 3rd International Conference on Transportation Geotechnics (ICTG 2016)*, pp. 734-741, 2016.
- [4] H. Kessler, B. Wood, g. Morin, A. Gakis, G. McArdle, O. Dabson, R. Fitzgerald e R. Dearden, “Building Information Modelling (BIM) – A Route for Geological Models to Have Real World Impact,” *AER/AGS Special Report 101*, 2015.
- [5] G. McArdle, “Geotechnical BIM Case Studies of Linear Asset Design,” *Tata Steel Projects*, UK, 2016.

BIM EM PROJETO DE OBRAS HIDRÁULICAS – O CASO DE UMA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA

Sofia Henriques ⁽¹⁾, Luís M. P. Rodrigues ⁽¹⁾, Jorge de Mello Vieira ⁽¹⁾

(1) CENOR Consultores, S.A., Lisboa

Resumo

Apresenta-se, neste artigo, o caso de estudo de modelação BIM da componente hidráulica (tubagens, acessórios e equipamento) de uma estação elevatória de água bruta.

O projeto foi desenvolvido pela CENOR em 2016 para um cliente internacional. A CENOR desenvolveu o modelo BIM para produção das peças desenhadas e extração de quantidades a nível de projeto de execução.

Para enquadrar a modelação dos circuitos hidráulicos da estação elevatória, procedeu-se à modelação expedita e simplificada da cobertura, do reservatório e do terreno.

Foram produzidas as peças desenhadas de definição dos circuitos hidráulicos e respetivos equipamentos a instalar, bem como desenhos de produção das peças de tubagem, constituídas por vistas isométricas esquemáticas.

Obtiveram-se também as listas de quantidades necessárias de tubagem, acessórios e equipamentos modelados, salientando-se que foi necessário contabilizar elementos tão pequenos como as juntas de vedação entre flanges, parafusos, anilhas e porcas. Um dos desafios deste projeto foi a contagem destes elementos. Não existindo a necessidade de serem modelados de forma independente, foram utilizados parâmetros associados a outros elementos para fazer a sua contagem e identificação.

A modelação realizada permitiu cumprir os objetivos a que se propôs e revelou vantagens, face à metodologia CAD, de cada vez que surgiram alterações.

1. Introdução

A CENOR deu início à sua internacionalização em 2005, e percebeu a necessidade de acompanhar as tendências globais de modernização para se tornar mais competitiva nos mercados internacionais, responder às exigências dos seus clientes, e tornar mais eficiente o desenvolvimento dos seus projetos.

No final de 2014 inicia-se a implementação BIM na empresa. É integrado neste processo que o projeto de execução da Estação Elevatória é desenvolvido.

Tendo em conta que se previam várias iterações no desenvolvimento do projeto, a necessidade de extração de quantidades e os prazos de execução curtos, a CENOR apostou na utilização da metodologia BIM para elaboração do projeto de execução da Estação Elevatória, mesmo não sendo exigido pelo cliente. Apesar do risco associado a esta decisão, dado que a implementação (formal) das metodologias e processos BIM na empresa não estava ainda concluída e os utilizadores tinham ainda pouca experiência, as vantagens na articulação dos vários desenhos, incluindo desenhos esquemáticos, e extração direta de quantidades sobreponham-se à utilização das metodologias e processos CAD tradicionais.

A modelação BIM da Estação Elevatória serviu então de teste às capacidades da empresa para a elaboração de projetos de obras hidráulicas em BIM.

2. O projeto da Estação Elevatória

A Estação Elevatória faz parte do complexo de instalações que fornece água a uma refinaria. Este complexo está implantado junto à captação de água da albufeira e a cerca de 20 km da refinaria.

A Estação Elevatória apresenta três linhas de bombagem com capacidade máxima de 2000 m³/h prevendo a ampliação futura para quatro linhas de bombagem. A aspiração é realizada a partir de um reservatório metálico de planta circular com cerca de 4000 m³ de capacidade.

No circuito de compressão, foi prevista a instalação de dispositivos de proteção contra golpe de ariete, incluindo três Reservatórios de Ar Comprimido (RAC) com cerca de 20 m³ cada.

O equipamento será instalado sob cobertura metálica, não tendo sido prevista a construção de paredes, por opção do cliente.

3. Caso de Estudo

3.1 Modelo BIM da Estação Elevatória - Hidráulica

O modelo BIM da Estação Elevatória (Figura 1) foi desenvolvido em *Revit* 2016 e separado em 3 ficheiros para facilitar o seu uso e manipulação:

- Modelo dos circuitos hidráulicos – contém todos os equipamentos hidráulicos da estação elevatória.

- Modelo da estrutura – contém a estrutura da estação elevatória modelada de forma expedita e com pouco detalhe (cobertura e lajes) para contextualização dos equipamentos hidráulicos.
- Modelo da topografia – contém a informação topográfica (modelação do terreno em Civil 3D pela CENOR).

O modelo foi utilizado para o desenvolvimento dos desenhos do projeto de execução e para a extração de quantidades.

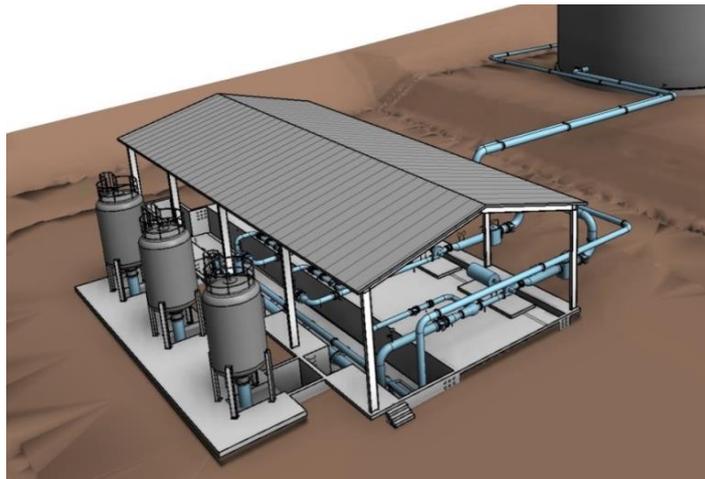


Figura 1: Modelo BIM da Estação Elevatória – vista 3D.

3.2 Bibliotecas BIM para Projetos Hidráulicos e Normalização

Tendo em conta que este foi um dos primeiros projetos a ser desenvolvido em BIM na CENOR, foi necessário criar uma biblioteca de objetos – tubagens, acessórios e equipamento – como base para a modelação BIM da Estação Elevatória, pensando na sua utilização futura dentro da empresa.

Apesar das bibliotecas BIM internacionais disponíveis na internet estarem a crescer, são ainda muito vocacionadas para projetos de arquitetura e de edifícios, sendo difícil encontrar disponíveis objetos para projetos de engenharia hidráulica mais específicos e de maiores dimensões, como é o caso de uma Estação Elevatória.

Os elementos utilizados neste tipo de projeto devem seguir a normalização em vigor, que estabelece o dimensionamento geral da sua geometria em função do material, do diâmetro do sistema, e da pressão a que podem estar sujeitos.

No início da modelação, os elementos criados foram parametrizados com base nas normas europeias, com vista a poderem ser utilizados por toda a empresa. Mais tarde, com o desenvolvimento do trabalho, houve necessidade de adaptar estes elementos às normas americanas.

Este trabalho de parametrização dos elementos é um trabalho complexo dada a relação existente entre os diferentes elementos de MEP. Veja-se o caso dos acessórios das tubagens, que devem

ter o mesmo diâmetro dos tubos a que estão ligadas. A alteração do diâmetro do tubo tem implicações imediatas na geometria dos acessórios a eles associados. A parametrização implicou por isso a transferência dos dados das normas europeias e americanas para *lookup tables* que depois foram incorporadas nos elementos.

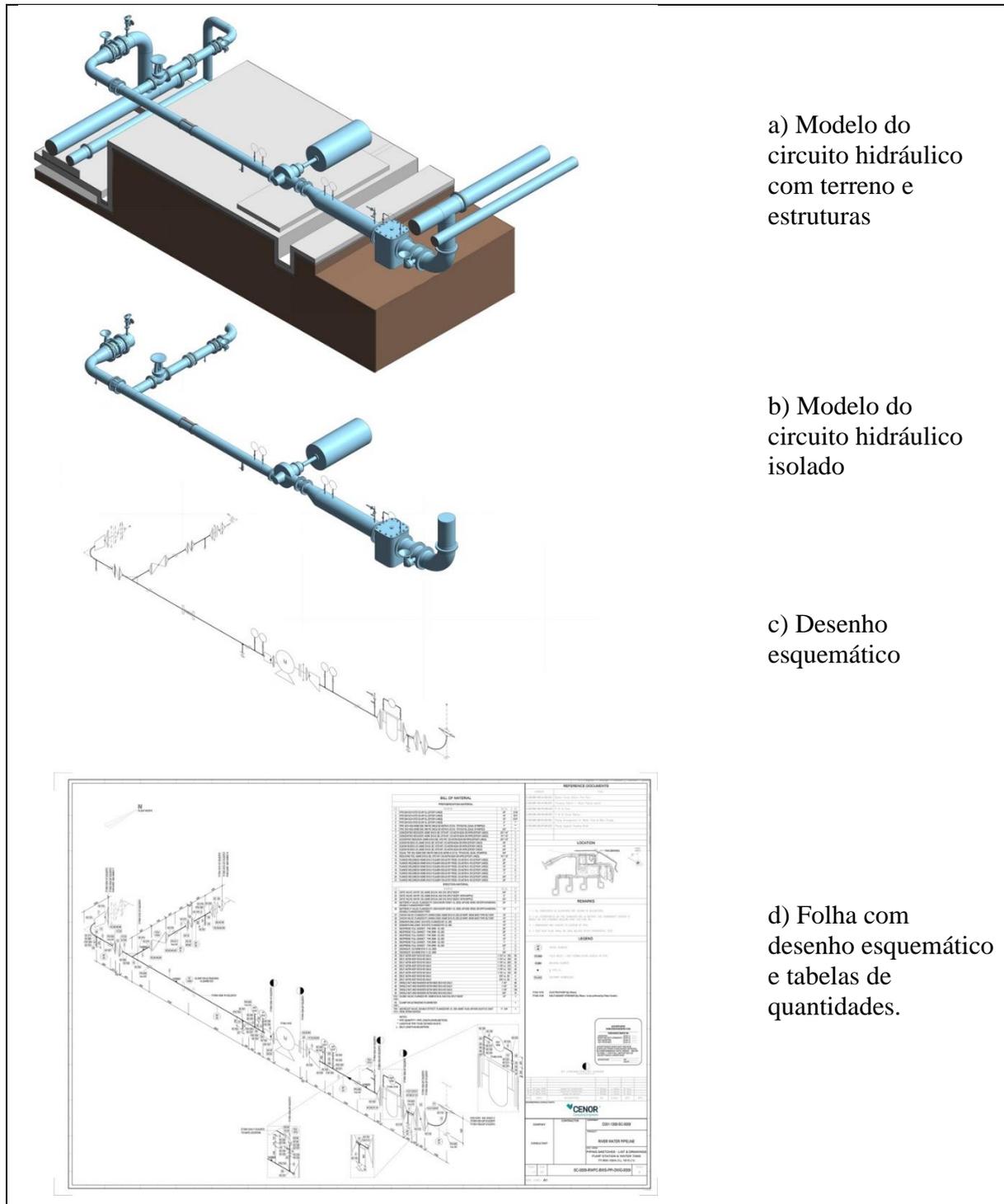


Figura 2: Do modelo à peça desenhada.

A modelação dos elementos teve também de ter em conta as diferentes formas de representação, conforme as diversas vistas. Para este projeto era necessário que os elementos tivessem uma representação reconhecível, e não simbólica, nas plantas, cortes, alçados e vistas 3D de definição dos circuitos. Mas para os desenhos de fabricação/construção – vistas axonométricas – as várias linhas de tubagem, acessórios e equipamentos tinham que ter uma representação simbólica (Figura 2). Para este efeito utilizaram-se as várias opções de visualização (níveis de detalhe) disponíveis no programa (*Revit*) de forma a controlar a representação dos elementos nos diferentes tipos de vista.

Foram ainda adicionados aos elementos os parâmetros necessários para a sua identificação e legendagem em quadros inseridos posteriormente nos desenhos.

3.3 Produção de peças desenhadas

O modelo foi utilizado para o desenvolvimento das peças desenhadas do projeto da Estação Elevatória. Foram criados no modelo os desenhos gerais (Figura 3) e de pormenor do sistema hidráulico da estação.

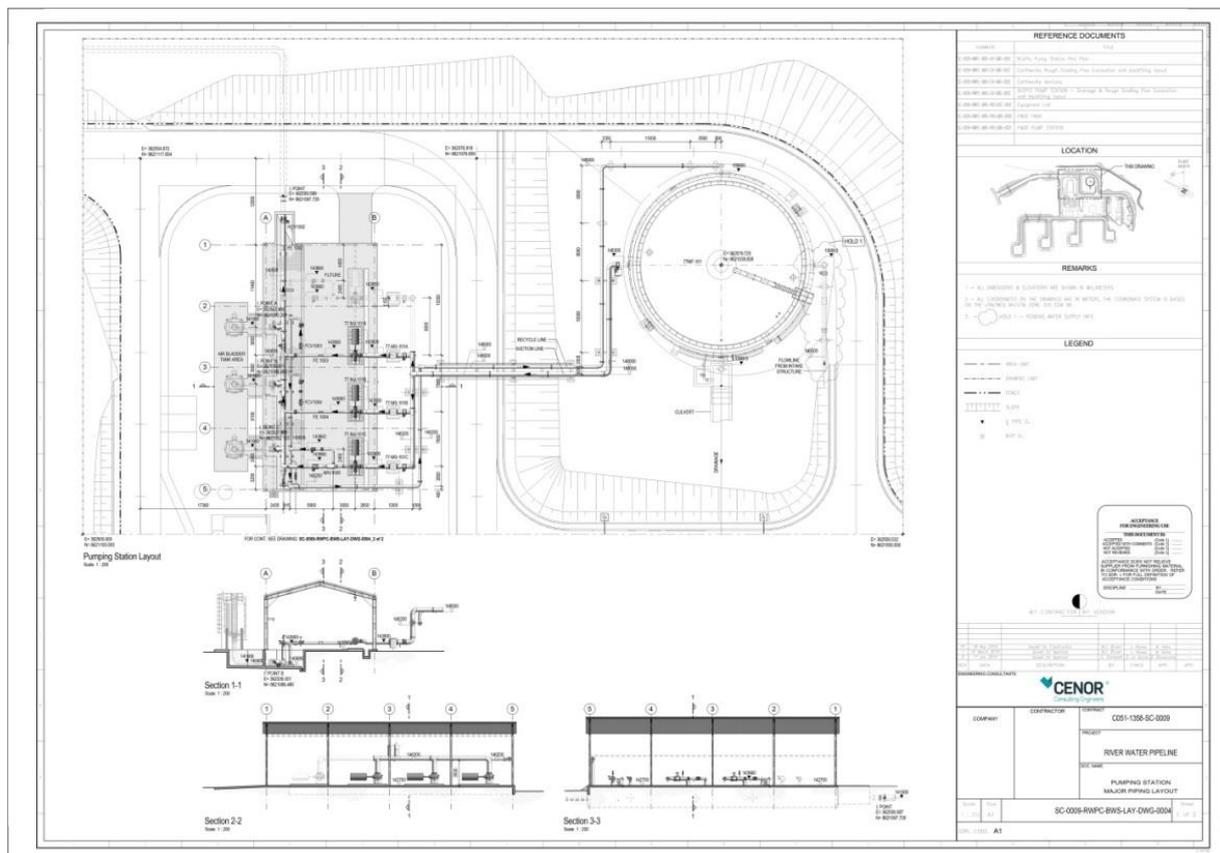


Figura 3: Folha de projeto – planta e cortes da estação elevatória.

Foi utilizado um desenho CAD para a representação da topografia e do reservatório de água em planta. A modelação 3D da topografia foi utilizada nos cortes e nas vistas 3D criadas para auxiliar a compreensão do projeto.

Um dos desafios deste projeto foi a criação das axonometrias esquemáticas das várias linhas de tubagem para construção. Neste tipo de vistas é necessário recorrer a planos auxiliares de trabalho para realizar a cotação dos elementos nas várias direções e a utilização quase exclusiva de anotações paramétricas (*labels*).

Ao contrário do que acontece tradicionalmente nos desenhos axonométricos de produção – onde a distância geométrica entre elementos é apenas indicativa e a cota é inscrita manualmente no desenho – com o modelo BIM, a posição geométrica dos elementos e as suas relações são sempre reais e atualizadas.

3.4 Extração de quantidades

O modelo BIM da estação elevatória serviu de base para a extração de quantidades, que aparecem tanto em tabelas nos desenhos, como nos mapas de quantidades. Foram contabilizados todos os acessórios, equipamentos e tubagem necessários para a instalação da estação elevatória.

Não sendo um projeto originalmente desenvolvido em BIM, e não estando todas as especialidades em BIM, a forma de apresentação do projeto teve de seguir as formas convencionais de apresentação, que por vezes não são as mais expeditas para a utilização das metodologias BIM.

A extração das quantidades para o Mapa de Quantidades foi conseguida através da exportação expedita de 5 tabelas, a partir do *Revit*, que depois foram trabalhadas em *Excel*.

Mas os desenhos com a representação axonométrica esquemática das várias linhas tinham também de conter a descrição de todos os elementos e as suas quantidades, indo ao encontro do que se iria fazer para outras partes do projeto que estavam a ser desenvolvidas em CAD.

Esta forma de apresentação das quantidades significou um aumento no número de tabelas criadas. Cada folha tinha discriminado todos os elementos visíveis nesse desenho, sendo para isso necessário criar cerca de 90 tabelas, para 13 folhas.

Em cada folha foi necessário subdividir os elementos pelas seguintes categorias:

- Material de construção
 - Tubagem (m)
 - Acessórios (unidade)
 - Equipamento (unidade)
 - Parafusos (unidade) – valores calculados
 - Porcas e anilhas (unidade) – valores calculados
- Material pré-fabricado
 - Tubagem (m)
 - Acessórios (unidade)

Foi necessária a modelação das juntas de neoprene de 3 mm que separam os acessórios do equipamento, pois era necessário contabilizar estes elementos, associar-lhe informação e representá-los nas axonometrias para construção/produção do sistema hidráulico. Foi a estes elementos que se associou a informação relativa à quantidade de parafusos, porcas e anilhas – divididas por diâmetro e também por comprimento (no caso dos parafusos). A utilização de vários quadros gerais permitiu o controlo da descrição de todos os elementos e a verificação da contabilização.

3.4 Visualização 3D

Uma das vantagens do desenvolvimento do projeto em BIM foi a utilização de imagens 3D do modelo para mais facilmente comunicar ou explicar o projeto ao cliente, outros consultores ou intervenientes. Foram criadas várias vistas 3D que foram exportadas para o formato JPEG e que se revelaram de grande utilidade na transmissão da evolução das soluções adotadas para o projeto no decorrer do trabalho (Figura 4 e 5).

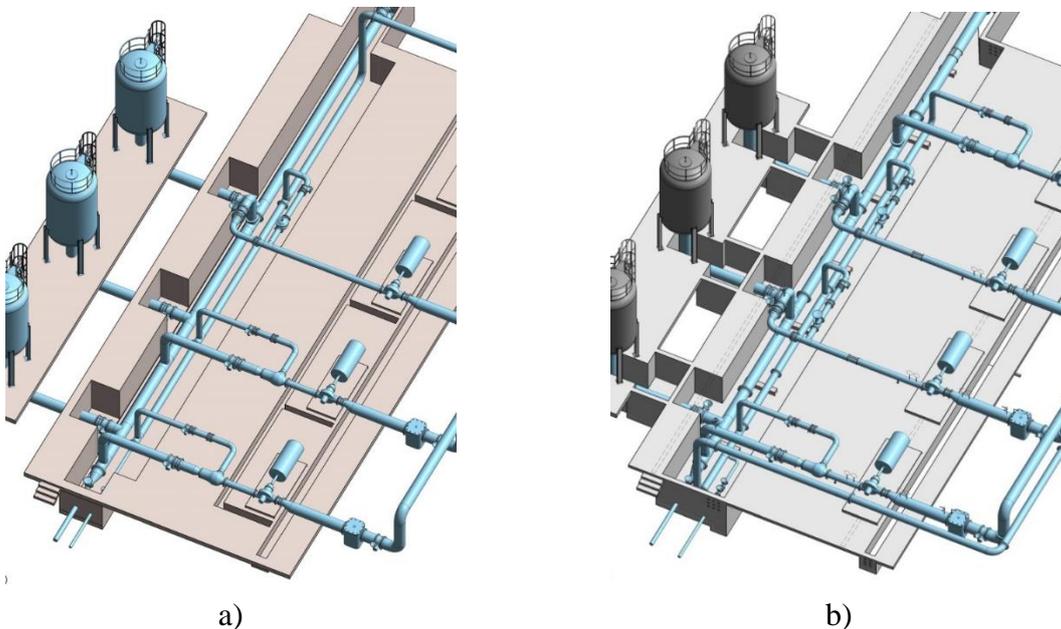


Figura 4: Vista 3D – solução inicial (a) e solução final (b)

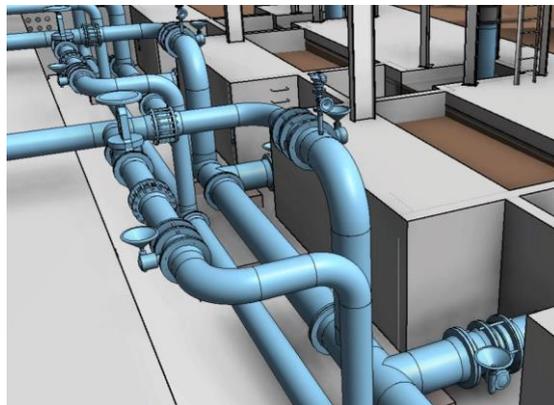


Figura 5: Perspectiva 3D – detalhe.

3.5 Alterações de projeto e revisão de desenhos

Uma das grandes vantagens da utilização de metodologias e processo BIM torna-se evidente quando o projeto sofre alterações, e quando estas alterações se propagam pelos vários desenhos simultaneamente.

Neste caso, o projeto sofreu algumas alterações durante o processo de validação da solução e revisão de desenhos.

O recurso aos quadros de quantidades e descrições torna-se, nesse momento, indispensável e muito útil no controlo do projeto.

Com os desenhos montados nas folhas e os quadros de descrição/quantidades coordenados as operações de alteração e revisão de projeto tornam-se mais eficientes, rápidas e controladas.

4. Conclusão

A adoção dos processos e metodologias BIM no projeto da Estação Elevatória revelou-se muito eficaz na coordenação de representação entre todas as peças desenhadas e na extração de quantidades. A utilização de vistas do modelo 3D foi também muito útil para a transmissão mais eficiente das soluções de projeto.

A criação de elementos específicos para este tipo de projeto – obras hidráulicas de maior dimensão – levou a um aumento do tempo gasto na fase inicial da modelação. No entanto, estes elementos fazem agora parte da biblioteca BIM da CENOR e poderão ser utilizados noutros projetos.

O facto de todas as outras especialidades e partes do projeto não serem desenvolvidas em BIM gerou algumas dificuldades na tentativa de recriar as representações já utilizadas noutros desenhos, e limitou a utilização de ferramentas mais expeditas, ou formas de representação mais apropriadas à metodologia BIM. No entanto, a utilização de um modelo BIM proporcionou grande controlo sobre as alterações realizadas ao longo do desenvolvimento do projeto e permitiu a sua rápida atualização.

ENGINEERING PROJECT'S SUPPORT BASED ON BIM TECHNOLOGY

Taisiia Mitina ⁽¹⁾⁽³⁾, **José Carlos Lino** ⁽²⁾, **Luísa Maria da Silva Gonçalves** ⁽¹⁾⁽⁴⁾

(1) Polytechnic Institute of Leiria, School of Technology and Management, Portugal

(2) NEWTON - Engineering Consultancy Company, Portugal

(3) Kharkiv National University of Municipal Economy, Ukraine

(4) Institute for Systems and Computers Engineering at Coimbra, Portugal

Abstract

There was always a need for an accurate virtual representation of buildings containing actual geometry and related data, required to support the design, execution and supply. Building Information Modeling (BIM) technology has appeared to fulfill that demand. Offering a model with regularly actualized and synchronized information, the BIM concept is able to reshape any AECO project. This paper presents an overview of BIM with focus on its applications in the project life cycle and benefits for project stakeholders through two case studies, out of five carried out during the master degree internship in the engineering consultancy company - NEWTON. In the first case study, attention was focused on the goals achieved through BIM based design in comparison with traditional design, particularly by structural engineer, due to the implementation of the mentioned technology on a complex project of residential building in Porto and its architectural integration. On the second case study, the spatial coordination of Mechanical, Electrical and Plumbing (MEP) systems on a large-scale hotel project has been analyzed and accomplished, highlighting merits of BIM at this project stage. Through the reduction of space used for facilities and infrastructures and the ability to identify conflicts and to nullify the related costs, its advantage on a complex building was proved.

1. Introduction

As a fundamentally new way of creating, sharing, and using project life-cycle data, BIM has reached different levels of development worldwide: in countries such as Ukraine the term “BIM technology” has just shown up on the horizon of Ukrainian architecture, engineering, construction, and operations (AECO) industry [1], active discussion and efforts to optimize and disseminate the implementation of BIM have been repeatedly observed in Portugal in recent years [2], while USA, United Kingdom, Singapore, Norway, South Korea, Denmark and Finland already have introduced requirements of BIM for the public projects been institutionally advocated due to its great potential to streamline all project processes [3].

BIM consists of a set of interacting policies, processes and technologies that generate a work methodology that is able to manage the building design and project data, in a digital format, throughout the building's lifecycle [4]. With BIM technology, an accurate virtual model of a building is digitally constructed. When completed, the building information model contains precise geometry and relevant data needed to support the design, procurement, fabrication, and construction activities required to realize the building [5, 6]. The use of BIM goes beyond the planning and design phase of the project, being extended throughout the life-cycle of buildings and structures, from houses to malls, stadiums and bridges, and to a wide range of infrastructures (water, wastewater, electricity, gas, waste etc.).

Within the framework of the internship in NEWTON Engineering Consultants company, five projects from different engineering sectors were performed, two of which are presented in this paper. For the development of these projects using BIM technology, a comprehensive literature review of fundamental concepts was initially performed and the application of BIM process in structural engineering and its impact on MEP coordination was reached. The main objective to be established by these practical means was to figure out useful benefits and advantages of BIM for engineering projects over traditional design approach, then highlighted in this article. In addition, model inspection procedures for identification, inspection and report of interferences in a 3D project model were investigated to justify BIM methodology application for the coordination process and with all facilitations that follow.

2. Application of BIM in Structural Engineering project - Case study 1: Multilevel residential building in Porto

Along with the rest, use of the Building Information Modeling (BIM) can be a beneficial platform for structural engineers to stay competitive and match with needs of modern AECO industry.

While using a building information model, both the physical, which contains the data used in the analysis applications, and analytical information, which is the model applicable for the structural analysis, are interconnected in the same place [7].

The project can be described as reinforced concrete building for habitation purposes with floor area about 530 m². It consists of two parts (front and back), connected with elevated walkway performed as steel structure and has complex multilevel floor marks. It was decided to carry out modeling in "phasing" methodology of Revit. The main idea was that BIM development process is needed to support the different uses of the model in different project phases. According to official BIM regulations, such as [8], purposes of usage of BIM data were agreed and confirmed for each phase of concrete project. Thus, the division into phases and requirements to each model were as in Table 2.1:

Table 2.1: Division the project into phases and Goal setting.

Phase	Existing terrain model	II. Demolishment and excavation model	III. Structural model
BIM model goals	Detect complications related to particular terrain qualities; Minimize lack of data through the visualization; Enable extract of excavation volumes in future stages of modeling.	Minimize excessive rock excavation; Extract excavation volumes by material categories; Prevent elements/parts of elements intended to maintain by the project from demolishment.	Detect inaccuracies/errors in structural design; Define final floor's elevation marks; Transmit to an architect various approaches of structural design; Justify a need in alteration of a list of architecture aspects; Extract quantities of elements and materials.

2.1 Model of existing terrain surface

The BIM technology applied to landscape was notably beneficial due to uneven slope with a drop of 20 meters plus, as well as rapid change of nature of soil from earth to rock which, unlike many sites, made it inconvenient to create a cut slope due to high cost of rock demolish at the top of the worksite. Instead, the building follows the shape of the site, going over the rock profile and including some elements of the building that remains. The toposurface in Revit can be created either by importing Google Earth Picture or drawing contours lines and elevation points directly [9]. In the instant case, the terrain modeling was built using the cartographic altimetry, namely contour lines and elevation points, but the uncertainties of available topographic survey data (Figure 2.1) have increased modeling effort. [9].

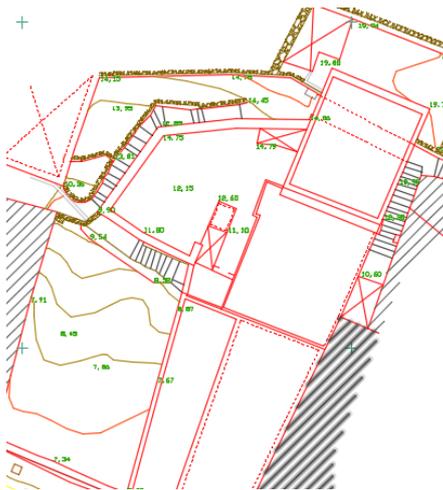


Figure 2.1: Data of topographic survey of worksite.

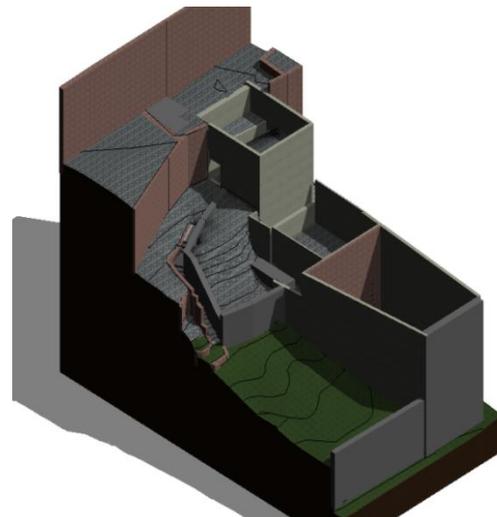


Figure 2.2: 3D model of existing terrain and structure's remains.

Modeling this phase was time-consuming (approximately 35 hours), but could be achieved faster in more appropriate for terrain modeling software.

2.2 Demolishment and excavation model

The radical project design decision was the choice in favor of partly building restoration over demolition. This decision, motivated by the desire to minimize the use of resources, brought a series of challenges in terms of integration of new systems into the existing structure [6]. As it can be seen from one of the longitudinal sections of the building (Figure 2.3), the elements to maintain were marked (red hatching) on the architectural project which has tangled the demolition procedure and increased the value of model.

To create the base of the building it was used “Building Pad” Revit tool, which generates flat horizontal surfaces according to reference plans uploaded to the project as links. The excavation volumes by soil type were extracted from Revit through its function to compare and trace the changes in different phases of one model. It should be noted that the cut and fill volumes calculated by Revit are approximate, generally providing results with +/- 1% to 2% accuracy [10]. The excavation volumes were extracted from Revit taking in account terrain change from rocky soil on the back part of the worksite to earth soil on the front (Figure 2.4).

This phase was accomplished in about 20 hours of learning and modeling.

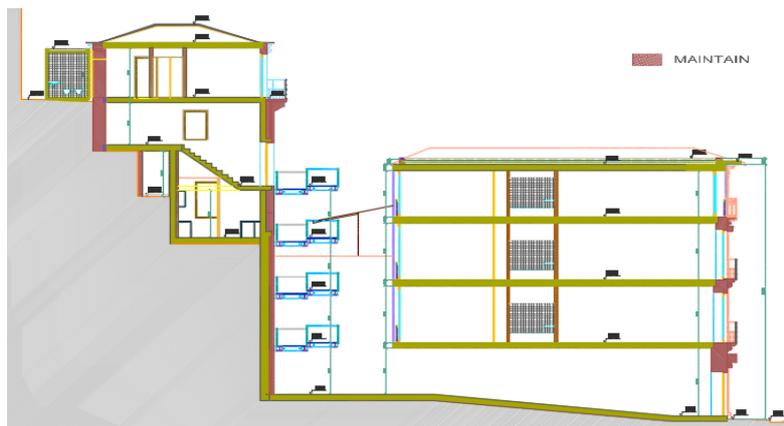


Figure 2.3: The longitudinal section of the building.

<1. Excavation Volumes>	
A	B
Name	Cut
Rock Excavation	1189.377 m ³
	1189.377 m ³
Earth Excavation	672.153 m ³
	672.153 m ³

Figure 2.4: Excavation volumes of rocky soil and earth soil extracted from Revit.

2.3 Structural model

Structural BIM is the part of the BIM process, where the majority of multi-material structural information is created and refined to form the actual structure [11]. For the project under consideration structural model of building has included columns, beams (both Reinforced Concrete (RC) and metal), walls and slabs, as well as foundations, lift shaft and roofing. A structural analysis model can be ready, with type, material, boundary conditions, element properties (like area, moment of inertia, etc.) and imported into structural analysis software [12].

Architects' models are not included in the scope of structural BIM [11], but, as for the presented case study, when architectural BIM model isn't preliminarily developed, it is a structural model that clarified some principal aspects and conceptual solutions of architectural project. This follows from the fact that the information produced by the architect, engineer and all the various contractors cannot always be represented in a drawing format [11].

As soon as the model had been accomplished (Figure 2.5) in Autodesk Revit and calculation of structural elements were carried out in Robot Structural Analysis (Figure 2.6), a list of decisions optimizing the project were taken. This was impracticable via traditional 2D drawings. Namely, level marks of certain areas were changed, the position of beams (shallow, inverted or normal) and columns' location and elevation was chosen for the best architectural performance and, simultaneously, without losses in bearing capacity.

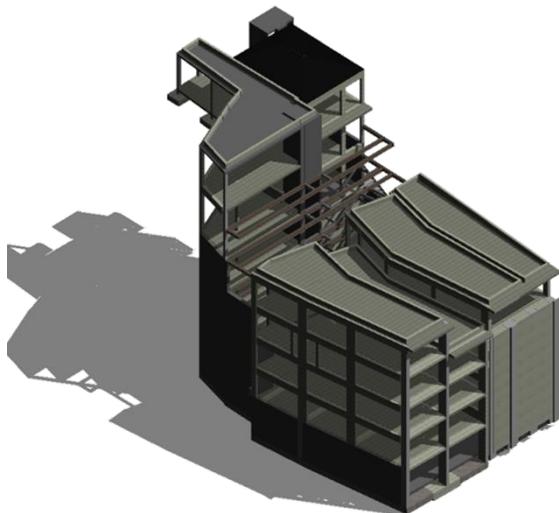


Figure 2.5: 3D BIM structural model in Revit.

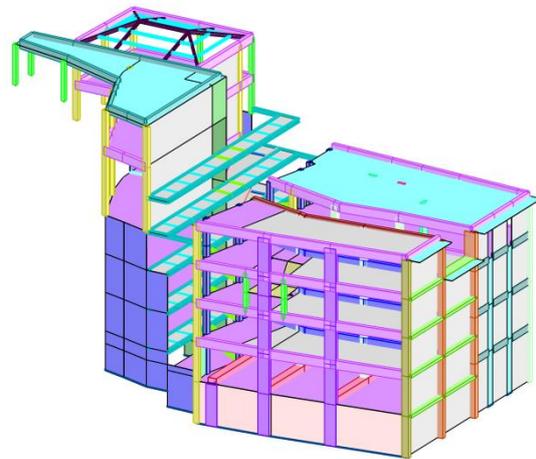


Figure 2.6: Analytical model for calculations in Robot Structural Analysis.

The main modeling concerns were associated with understanding of architectural drawings, and their revision after some alterations were introduced. The received documentation contained plans in quantity one plan per floor, while the building had 23 marks of finished ground level for 6 floors, as it comes out of Figure 2.7.

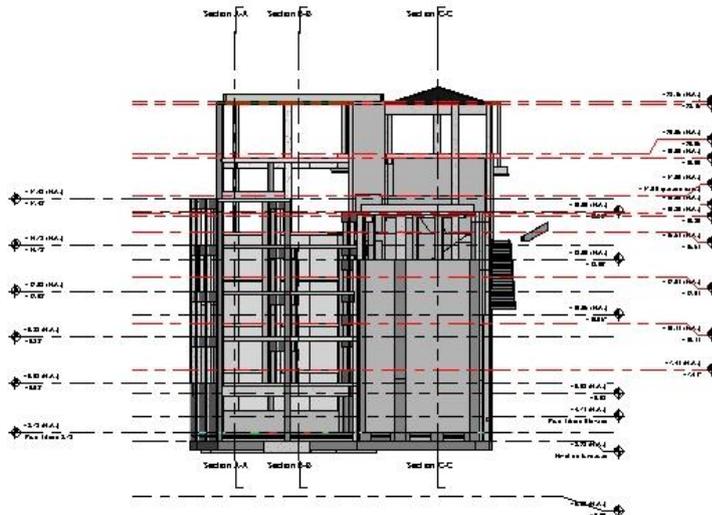


Figure 2.7: Elevation view of building in Revit.

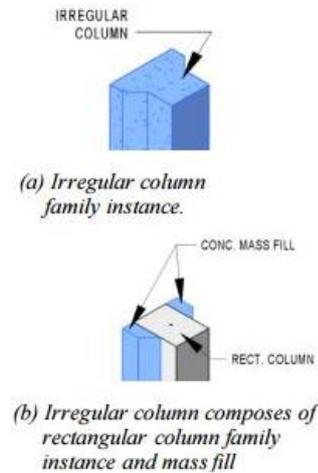


Figure 2.8: Modeling of irregular column (Source: (*Standard Approach of Modelling(SAM)*,2014) [13], p.9).

Irregular shape elements, which also raised complexity of modeling, were modeled as elements to be included into the building structure analytical model, by the principal demonstrated on Figure 2.8. Structural model with schedules verification took more or less 40 hours to be created following the structural modelling regulations.

Structural engineers can take advantage of BIM in different ways, as the model can be constantly updated with any changes in the design or general specifications, keeping all the data as accurate as possible [14]. BIM model allowed design team to assess impact of changes on structure, design and quantities. Various projects carried out with BIM technology in past times in NEWTON - Engineering Consultancy Company [15] and presented case study practically proved BIM's merit of extracting quantities (volumes and lengths) of RC and steel elements from model as schedules has been appreciated to the full extent, working on "The bill of quantities and processes".

3. Spatial MEP coordination in BIM environment: Case study 2 - BIM of large scale Hotel in Asia

One of the most powerful tools and merits of BIM is its application for disciplines coordination and clash detection. The task of spatial coordination has become a major challenge due to the complexities of the various systems involved [16]. The coordination process involves locating equipment and routing connecting elements for each system to avoid physical interferences [17]. Unlike 2D method, no research was found that suggested the onset of BIM had anything other than a positive effect on MEP spatial coordination [16].

For successful adoption of BIM and 3D modeling for spatial coordination of Mechanical, Electrical, Plumbing, and Fire Protection Systems (MEP) well-defined, organized, consistent, and repeatable framework has to be developed [18]. The introduced algorithm (Figure 3.1) was worked out taking in account specific characteristic of the project – large scale hotel building with complex design to be constructed in Asia. As implies from the functional application, building will accommodate, besides more than 700 rooms, numerous conference rooms, restaurants, swimming pools and offices over approximate floor area 15.000 m². In this case study the BIM effort was integrated into the project after design using 2D tools had already been accomplished but was considered as insufficient for such great complexity of the project.

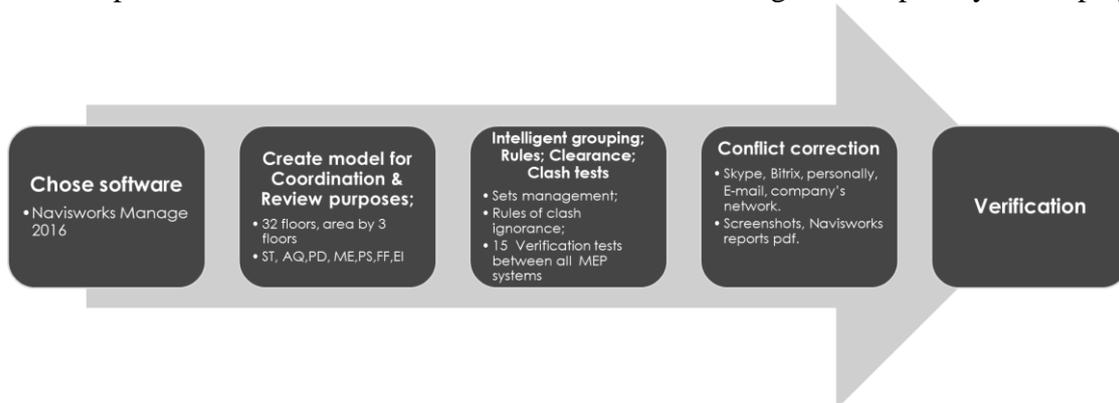


Figure 3.1: The MEP coordination process workflow developed for Case Study 2.

Nevertheless, the configuration of building systems in space is a complex process which requires knowledge and experience of work with all specialties: the properties and functions, limitations and restrictions of each network separately and in conjunction with others, as well as the priorities in positioning between the different specialties. There are typical zones with very complex configuration of installed services, among which building corridors, points of entry and exit, openings in shear walls, and vertical utility chases [16], such as demonstrated on Figure 3.2 and Figure 3.3. Ones need a few stages of coordination: primary visual and secondary automatic, for which Autodesk Navisworks was selected, constantly analyzing the installation sequence with extreme caution to guarantee conditions of accessibility for maintenance operations.

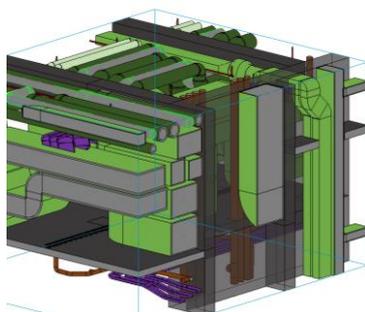


Figure 3.2: The fragment of 3D model displaying an exit of core of the building with complex configuration of MEP equipment.



Figure 3.3: Rendering of the model of the proposed building: complex configuration of MEP equipment over steel trusses.

Through effective identification, inspection, and reporting of potential interferences in a 3D project model, Navisworks Manage helped to reduce error-prone manual checking [19]. As defined by Figure 3.1, detected clashes were divided into 3 type-groups: 3rd type – mostly modeling errors possible to solve internally, 2nd type – clash requires Request For Information (RFI) [20] and involves the redesign of MEP system's configuration, 1st type – architectural changes are necessary due to the requirements of MEP installation.

Figure 3.4, 3.5 and 3.6 shows how the clashes between elements of different disciplines could be identified easily in the 3D model, the proper zone is then corrected and redesigned by the appropriate project team member. Figure 3.4 depicts utilization of the same service zone by ventilation and firefighting system (clash 1) and near miss of wall opening (clash 2).

This case study covers the coordination process towards the minor part of the project - six floors of the building, but even so, over 5000 clashes of 3 types were detected and resolved. Coordination including clash detection is a continuous process which is carried out along with modeling floor by floor, and in this case study was equal to 8 weeks. During this time the strategy was developed and improved with practical experience, as well as ways of communication between process members. The time dedicated to Intersections and errors which were identified and managed before tendering and construction could be estimated by avoided the direct and the indirect cost.

Analysis of return on investment (ROI) [21] has proved that the scale and size of a project should be weight heavily by owners in ordered to invest in BIM, since on larger more complicated projects benefit of BIM fees is the much higher. On an average, BIM results in the potential savings in construction costs ranging from 15 – 40% [22]. BIM coordination's efficiency effects on the client's budget, and invariably coordination issues affect the programmed duration of the project [16].

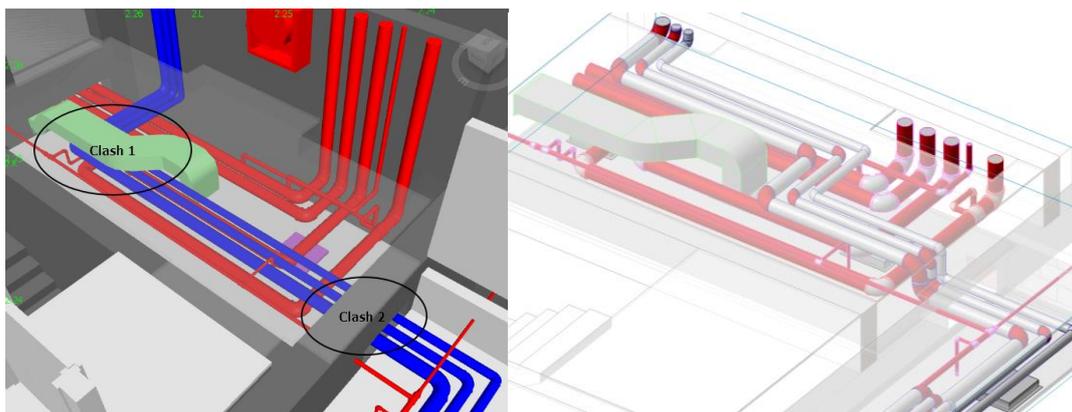


Figure 3.4: The fragment of 3D model with clashes (left -Navisworks) sorted as 3rd type and resolution after coordination process (right - Revit).

On Figure 3.6 architecture has suffered a change due to the presence of structural beam and conduct's passage downwards.

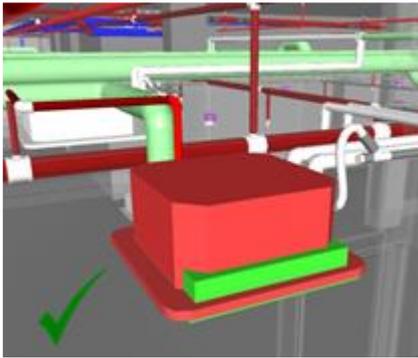


Figure 3.5: The fragment of 3D model (Navisworks) with clash of the 2nd type.

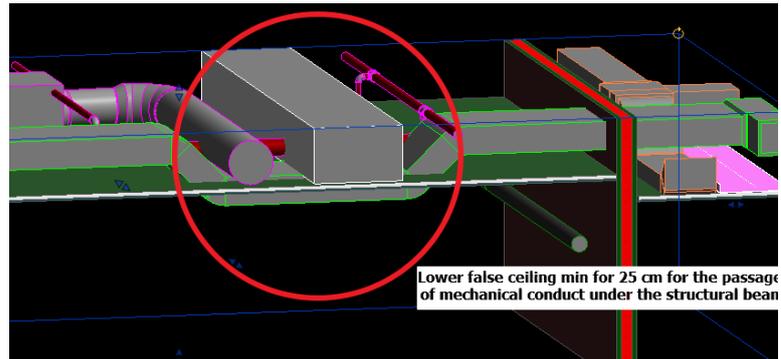


Figure 3.6: The fragment of 3D model (Revit) with clash of the 1st type.

The major advantages of BIM application in this case study, as well as in case studies presented by other authors [5, 6, 23-25], were the reduction of MEP coordination time, reduction of RFIs and avoid additional costs .

4. Conclusions

With BIM, engineers are empowered to achieve more efficient and intelligent design which makes evident for the entire AECO industry, the benefits of using the technology. Especially when analyzing the way how this methodology enhances the structural design workflow, it turns out that optimal design solutions are more apparent and accessible, and procedure of structural design data transfer to an architect and other stakeholders is facilitated in times. Furthermore, productivity is rising without losses of quality due to high automation of execution of construction documentation. Even though BIM is a relatively recent technology, it has already provoked an idea, occasionally appeared in scientific literature, to abandon 2D drawings, mostly due to reduction of the need in extensive checks and errors elimination even before generate the documentation.

Regarding MEP coordination, the presence of BIM environment contributes to all steps to dispose of the intersection: clash detection, finding solutions and final decision's realization. It's important to note that resolving all physical interference during the MEP coordination process does not necessary ensure that a facility has been well coordinated, since proper methodology's application needs significant knowledge base and qualified specialists.

Moreover, before proceed to BIM process a bunch of properties of a project should be evaluated to conclude that BIM usage is justified. It's definitely beneficial if BIM is implemented for the entire life-cycle of the project, and return of investment has always positive value [21], otherwise if model is developed for specific uses of different phases of the design and construction process, the aspects as time available for design and deadlines of project execution, need in future usage of model, skills of employees, architectural changes during the project, complexity of the project, budget etc. should be considered.

Acknowledgements

This work was possible due to the continuous support of all colleagues in NEWTON - Engineering Consultancy Company and BIMMS-Building Information Modeling & Management, who guided me through each of the presented case studies and accelerated my learning curve. The paper was prepared during Master Degree Programme in Polytechnic Institute of Leiria funded by INFINITY project in the framework of the EU Erasmus Mundus Action 2.

References

- [1] Білик, А.С. and М.А. Беляев, BIM-modeling. Review of opportunities and perspectives in Ukraine. 2015.
- [2] Maria João Lima Venâncio, Avaliação Da Implementação De BIM – Building Information Modeling Em Portugal. 2015, Universidade do Porto.
- [3] Francom, T.C. and M. El Asmar, Project quality and change performance differences associated with the use of building information modeling in design and construction projects. . Univariate and multivariate analyses. , 2015.
- [4] Succar, B., Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. . Automation in Construction, 18, 357-375. , 2009.
- [5] AZHAR, S., Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, in Leadership and Management in Engineering. 2011.
- [6] Eastman, C., et al., BIM Handbook, in A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors 2011.
- [7] Strafaci, A. What does BIM mean for Civil Engineers? 2008.
- [8] AEC (UK) BIM Protocol, in Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry. . 2012.
- [9] Wang, M., Building Information Modeling (BIM): Site-Building Interoperability Methods. 2011.
- [10] Stine, D.J., Design Integration Using Autodesk Revit 2016. 2016.
- [11] Robinson, C., STRUCTURAL BIM: DISCUSSION, CASE STUDIES AND LATEST DEVELOPMENTS Tekla (UK) Ltd, Wiley Interscience, 2007.
- [12] Hunt, C.A., The Benefits of Using Building Information Modeling in Structural Engineering 2013, Utah State University.
- [13] Standard Approach of Modelling(SAM),, in For Creating Building Information Structural model for Development and Construction Division of Hong Kong Housing Authority. 2014.
- [14] Bhusar, A.A. and A.R. Akhare, Application of BIM in Structural Engineering. SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG-IJCE), 2014.
- [15] Lino , J.C., M. Azenha, and P. Lourenço, Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas (in Portuguese language), in Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012 FEUP. 2012.
- [16] Neil, J., How has Building Information Modelling changed the MEP Coordination process? . 2014: University of Salford, Manchester.

- [17] Korman, T.M., L. Simonian, and E. Speidel, How building information modeling has changed the MEP coordination process. 2010: California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA, USA.
- [18] AGC BIMForum, MEP Spatial Coordination Requirements for Building Information Modeling 2009.
- [19] Navisworks, A., Navisworks Manage Brochure:Coordinated, Complete Control. 2010.
- [20] Hughes Nigel, et al., Impact & control of RFIs on construction projects, in Construction Forum. 2013.
- [21] Giel, B. and R.R.A. Issa, Return on Investment Analysis of Building Information Modeling in Construction. ASCE Journal of Computing in Civil Engineering special issue, 2011.
- [22] Holness, G., Building Information Modeling. ASHRAE Journal, 48(8), 38-46, 2006.
- [23] Kullven, F. and K. Nyberg, Possibilities with BIM in relation to cost estimation and scheduling.A case study of a Swedish civil engineering project. 2014, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY: Göteborg, Sweden.
- [24] Gerbov, A., Process improvement and BIM in infrastructure design projects – findings from 4 case studies in Finland. 2014: Aalto University.
- [25] Hergunsel, M.F., Benefits of building information modeling for construction managers and BIM based scheduling. 2011, Worcester Polytechnic Institute.

APLICAÇÃO DO DESIGN GENERATIVO NAS TECNOLOGIAS BIM

Inês Caetano ⁽¹⁾, António Leitão ⁽¹⁾ e Francisco Teixeira Bastos ⁽²⁾

(1) INESC-ID/IST, Lisboa;

(2) CERis, Instituto de Engenharia de Estruturas Território e Construção/IST, Lisboa

Resumo

Ultimamente, as tecnologias BIM têm vindo a substituir as ferramentas CAD tradicionais, por permitirem aos seus utilizadores associar informação de natureza construtiva e de comportamento dos materiais aos elementos constituintes dos seus modelos 3D. Por outro lado, o Design Generativo, uma abordagem algorítima ao design, tem permitido a mecanização de tarefas de design e a produção de geometrias de crescente complexidade. Dadas as potencialidades destas duas abordagens, têm sido desenvolvidas formas de combinar BIM com Design Generativo.

O trabalho desenvolvido neste artigo está inserido num projeto de arquitetura da autoria do Atelier dos Remédios e dos FOR-A. O desafio proposto foi a criação de um conjunto de fachadas perfuradas para um edifício de habitação na área de Lisboa. A exploração destes elementos arquitetónicos foi feita usando Design Generativo para BIM.

O desenvolvimento deste trabalho foi feito utilizando o Rosetta, um IDE para Design Generativo que suporta *scripts* usando diversas linguagens de programação e permite a visualização e a edição dos seus resultados em diversas aplicações CAD e BIM. Resultou um modelo de informação que incluiu três fachadas de composição geométrica parametrizável, com capacidade de extrapolação de quantidades de material utilizado e de ensaios de desempenho da construção.

1. Introdução

As ferramentas de *Computer-Aided Design* (CAD) foram criadas para aumentar a eficiência do processo de projecto. Não só têm ajudado os arquitetos a produzirem desenhos técnicos e modelos mais precisos, como também têm facilitado a edição dos mesmos. Contudo, quando a

complexidade dos modelos aumenta, estas ferramentas apresentam algumas limitações devido ao facto de não serem suficientemente flexíveis. Para ultrapassarem estas limitações, muitas destas ferramentas foram estendidas de modo a já permitirem a utilização do Design Generativo (*Generative Design-GD*) [1].

Por outro lado, o *Building Information Modeling* (BIM) veio alterar o paradigma no processo de projecto e construção, introduzindo novas funcionalidades na prática de projecto digital. Isto porque, para além de lidarem com a geometria tipicamente suportada pelas ferramentas CAD, as tecnologias BIM relacionam os elementos do edifício de uma forma paramétrica e associativa, atribuindo simultaneamente semântica aos mesmos [2]. Em termos práticos, esta metodologia representa uma base de dados de informação a ser partilhada por todos os intervenientes durante o ciclo de vida de um edifício, entre eles a arquitetura, as especialidades e a construção [3]. Esta informação pode ser também utilizada em processos de análise com vários critérios de desempenho (i.e., arquitetural, estrutural, energético, acústico, etc) [4]. Consequentemente, isto permite aos arquitetos, em especial, ganhar controlo sobre a informação e a conceção do edifício, em todas as fases do projeto [2].

Tal como aconteceu com as ferramentas CAD, o BIM foi também combinado com o GD numa recente abordagem de projeto, ao qual podemos chamar de BIM Algorítmico [5] [6]. O exemplo desenvolvido neste artigo já utiliza esta nova abordagem no desenvolvimento de um conjunto de fachadas algorítmicas para um edifício de habitação na área de Lisboa.

2. Processos Algorítmicos

A criatividade é caracterizada pela inconstância e a imprecisão [7], sendo assim necessário um processo de concepção que aceite facilmente a mudança. Infelizmente, as ferramentas de projecto tradicionais não facilitam as alterações devido ao facto de exigirem muito tempo e esforço para modificar os modelos desenvolvidos.

Contudo, as tecnologias mais recentes já permitem que a exploração arquitetónica vá para além das possibilidades tradicionais, promovendo o desenvolvimento e a proliferação de formas complexas, novos padrões e métodos de fabricação avançados [8].

O Design Generativo (GD) é uma abordagem de desenho que gera formas através de algoritmos [9]. Esta abordagem permite gerar uma gama variada de soluções num curto espaço de tempo, ao mesmo tempo evitando as tarefas repetitivas e bastante morosas necessárias na modelação usando as ferramentas CAD e BIM. De modo a usar esta abordagem, em vez do arquiteto ir diretamente da ideia para a forma, ele tem que desenvolver uma etapa intermédia onde produz uma definição algorítmica do design a produzir [10], na qual estão declarados os parâmetros do mesmo e as dependências entre estes (ver o exemplo na Figura 1).

Embora inicialmente a maioria das ferramentas de GD tenha sido desenvolvida para os ambientes CAD, já existem algumas extensões capazes de incorporar esta abordagem no paradigma BIM.

3. BIM Algorítmico

Tal como as tecnologias CAD, algumas ferramentas BIM também já beneficiam de processos algorítmicos. Algorithm-Aided BIM [6] ou Algorithmic-Based BIM [5] são alguns dos nomes pelo qual este novo paradigma é conhecido. O *Dynamo*, o *GenerativeComponents*, o *Lyrebird*, e o *RosettaBIM* são alguns exemplos de extensões que permitem aos seus utilizadores explorarem abordagens algorítmicas em aplicações BIM.

O *Dynamo* [11] é uma extensão do Revit que utiliza uma linguagem de programação visual, cuja dinâmica de trabalho se baseia na associação de *nós* através de *fiões* que transportam informação entre estes. As ligações entre *nós* associam duas portas de nós distintos, uma de saída e a outra de entrada, que suportem o mesmo tipo de informação.

Lyrebird [12] é uma extensão que foi desenvolvida para o *Grasshopper* [13], uma linguagem de programação visual para o Rhinoceros 3D (ver Figura 1) com uma dinâmica de trabalho muito semelhante à do *Dynamo*, permitindo a utilização do *Grasshopper* em ferramentas BIM como o Revit.

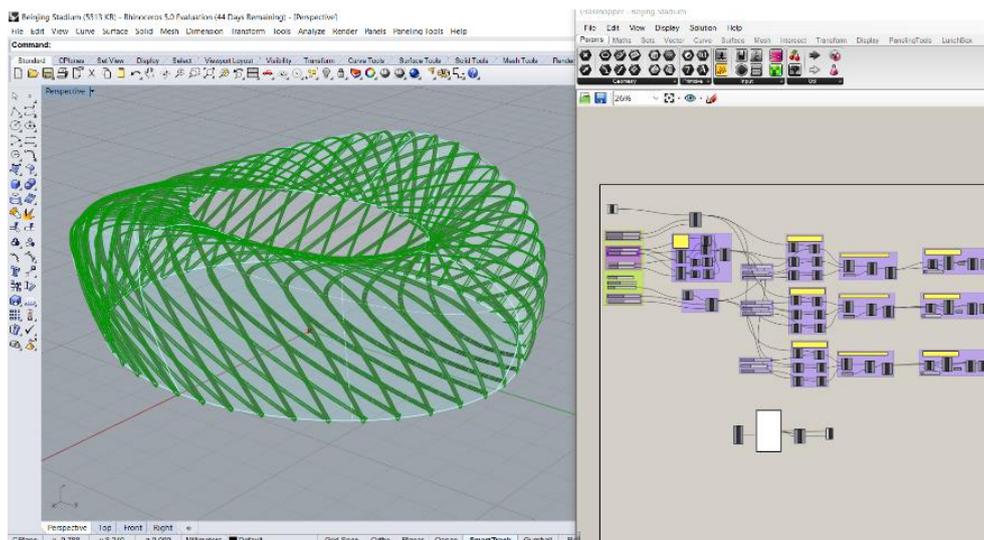


Figura 1: Exemplo de Design Generativo - modelo em Rhinoceros (esquerda) gerado por um conjunto de algoritmos implementados em *Grasshopper* (direita).

O *GenerativeComponents* [14] é um sistema paramétrico e associativo desenvolvido para o *Microstation* [15], a ferramenta BIM da Bentley.

Finalmente, o *RosettaBIM* [16] [5] [17] é uma ferramenta de GD que suporta diversas linguagens de programação textuais, como por exemplo o *Python*, *AutoLISP* e o *Racket*, e que permite a portabilidade entre diversas ferramentas CAD, incluindo o *AutoCAD*, o *Rhinoceros 3D* e o *SketchUP* e BIM, incluindo o *Revit* e o *ArchiCAD*.

Para o desenvolvimento do projeto descrito neste artigo, utilizámos o *RosettaBIM* devido à portabilidade que este permite entre diferentes ferramentas BIM.

4. Caso de Estudo

O trabalho desenvolvido está inserido num projeto de arquitetura da autoria do Atelier dos Remédios em parceria com os FOR-A. O desafio proposto foi criar uma fachada perfurada que assegurasse diferentes permeabilidades, para um edifício de habitação na área de Lisboa. Como já foi referido em secções anteriores, optou-se pela exploração deste elemento arquitetónico usando uma abordagem algorítmica para BIM.

4.1 Descrição do Projeto

O projeto consistiu num edifício de habitação para a zona de Belém. Mais precisamente, o lote da intervenção localizava-se na rua da Junqueira e possuía uma preexistência que teria de ser mantida no desenvolvimento do novo projeto (Figura 2.A). Esta acabou por ficar incorporada na fachada principal do edifício, virada para a rua da Junqueira (Figura 2.B).

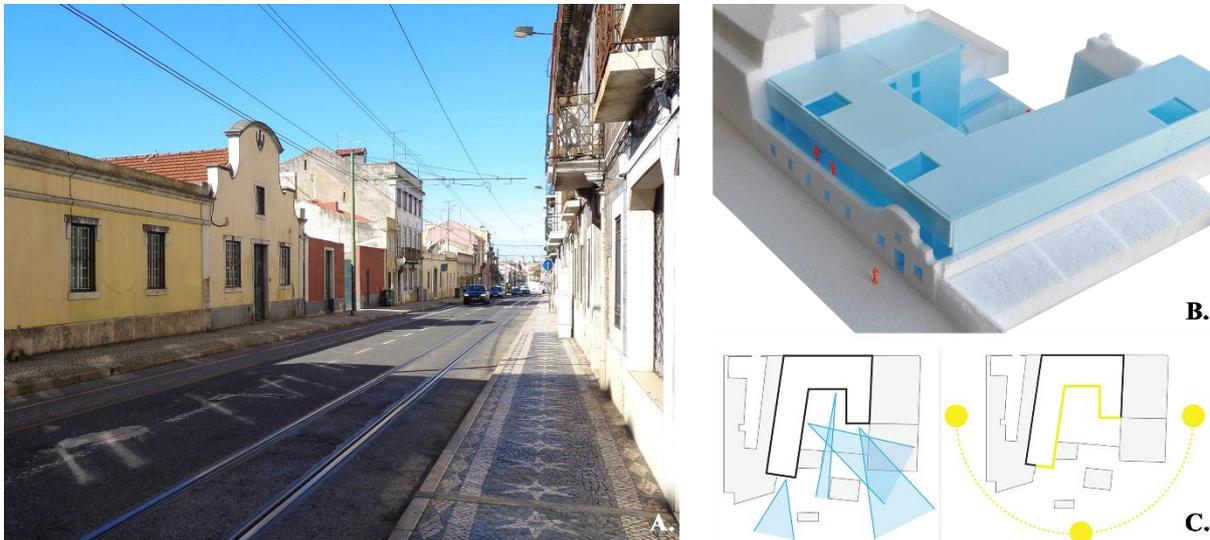


Figura 2: A- Fotografia de rua do lote de intervenção, autoria Atelier dos Remédios; B- Maquete de estudo do projeto. As preexistências estão representadas a branco e a volumetria da proposta a azul. C- Esquema da planta da proposta com os estudos de vistas e a iluminação/exposição solar.

O projeto proposto era composto por cinco pisos, um piso de estacionamento e quatro de habitação com quatro tipologias diferentes. Contudo, ao nível da rua apenas estariam visíveis três dos pisos, sendo que os dois primeiros ficariam a uma cota inferior, i.e. um estaria totalmente enterrado (o estacionamento) e o outro semienterrado.

O edifício em forma de *U* criava um pátio interior central localizado ao nível do primeiro piso de habitação, ou seja, com uma cota inferior à do nível da rua, facto que garantia que todos os apartamentos estivessem virados para esse pátio. Como o lote em causa está localizado entre dois lotes edificados, esta solução conseguia assim fornecer iluminação natural a todos os apartamentos (Figura 2.C).

O desafio apresentado foi desenvolver um conjunto de três fachadas para este edifício de habitação:

- A fachada exterior norte, com frente para a rua da Junqueira;
- A fachada exterior oeste, para o lote vizinho e futura rua a criar;
- Uma fachada interior virada para o pátio central.

Inicialmente, foi feita a descrição da inspiração/conceito para as fachadas a desenvolver (ver Figura 3), o que serviu como ponto de partida para a exploração do desenho da mesma. A ideia dos arquitetos tinha como base a criação de uma “pele arquitetónica” que seria mais ou menos perfurada consoante a função do espaço atrás: mais permeável, quando a área da fachada coincidissem com os pátios interiores; menos permeável ou opaca, quando coincidente com as zonas privadas, como os quartos ou cozinha.

Numa primeira fase, a materialização deste conceito *permeabilidade-opacidade* foi deixado em aberto. Como resultado, houve o desenvolvimento de um conjunto de soluções possíveis com características bastante diversas. Deste modo, os arquitetos puderam assim avaliar as várias soluções e, simultaneamente, sugerir alterações que eram incorporadas nas soluções seguintes. Assim, o desenrolar deste processo foi feito de forma dinâmica com a participação e *feedback* imediato de ambas as partes. Isso permitiu uma escolha final mais pensada e de acordo com a intenção dos arquitetos.



Figura 3: Kolumba Museum em Colónia, pelo arquiteto Peter Zumthor – referência de jogo de tijolos para a fachada do edifício (<http://thetomorrow.net/events/venues/kolumba/>).

4.2 Soluções de Fachadas

Com base nas premissas fornecidas e nos dados do projeto de arquitetura do edifício, gerou-se um conjunto de fachadas com características bastantes diferentes, embora seguindo sempre o conceito-base referido na secção anterior. Como foi referido anteriormente, o desenvolvimento das diversas opções foi feito usando uma abordagem de DG. Para tal, foi desenvolvido primeiramente um programa que codificou as várias premissas e informações relativas ao

projeto. De seguida, foram adicionados a esse programa base conjuntos de novos parâmetros de modo a gerar diferentes padrões para as fachadas. A Figura 4 sumariza alguns dos modelos que foram desenvolvidos.

Como nesta etapa ainda não havia a definição do material a aplicar na fachada, os resultados propostos tiram proveito de diversas técnicas e características de mais do que um material, como por exemplo o tijolo (Figura 4.A), o azulejo (Figura 4.B), o metal (Figura 4.C) ou o betão (Figura 4.D).

4.3 Desenho da Fachada Final

Do leque de soluções apresentadas, escolheu-se conjugar as ideias subjacentes às propostas A e B da Figura 4, optando por combinar a existência de dois tamanhos diferentes de tijolos (Figura 4.B), que seriam colocados de modo a criar saliências aleatórias, com a existência pontual de vazios, i.e. ausência de tijolos (Figura 4.A).

Com vista a um maior controlo na exequibilidade e custo da solução, os arquitetos ainda sugeriram alterar o grau de variação do padrão final. Tomando por exemplo a proposta da Figura 4.A, que continha tijolos colocados de modo a criar saliências com quatro dimensões diferentes, foi sugerido reduzir o número de dimensões possíveis das saliências aleatórias para apenas dois valores.

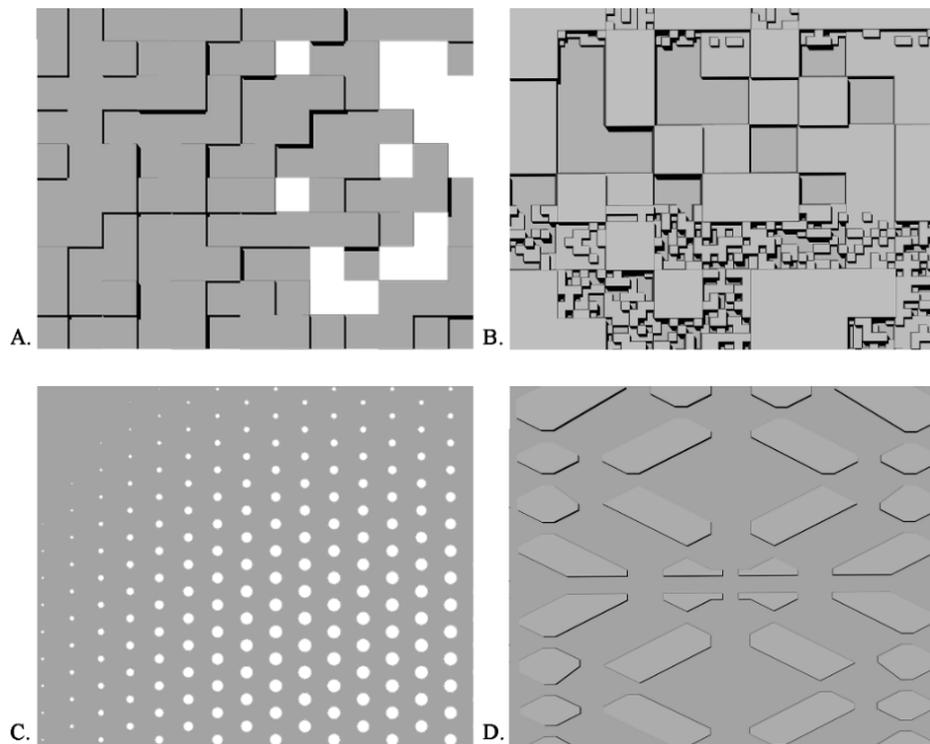


Figura 4: Algumas das ideias desenvolvidas para o padrão da fachada. A- Elementos quadrangulares colocados mais ou menos recuados de forma aleatória; B- Azulejos quadrangulares aleatoriamente subdivididos em quadrados 5 vezes mais pequenos; C- Perfurações circulares para criar diferentes transparências; D- Relevos inspirados num padrão típico dos azulejos portugueses.

Com o mesmo objetivo, foi proposto utilizarem-se apenas tijolos retangulares de dois tamanhos diferentes, em que o maior tivesse o dobro das dimensões do mais pequeno (tijolos 60x20cm ou 30x10cm), sendo a escolha entre colocar um tijolo grande ou quatro pequenos controlada por um parâmetro aleatório.

Por fim, os arquitetos sugeriram apenas existirem vazios quando criados pela ausência de tijolos mais pequenos, controladas de forma aleatória.

Em suma, a ideia dos arquitetos consistia em manter o conceito de aleatoriedade e irregularidade do padrão mas com variáveis de desenho mais restritas.

A Figura 5 representa conceptualmente o padrão final obtido após a implementação das sugestões feitas pelos arquitetos, e também da aplicação das dimensões reais dos elementos que viriam a constituir as fachadas.

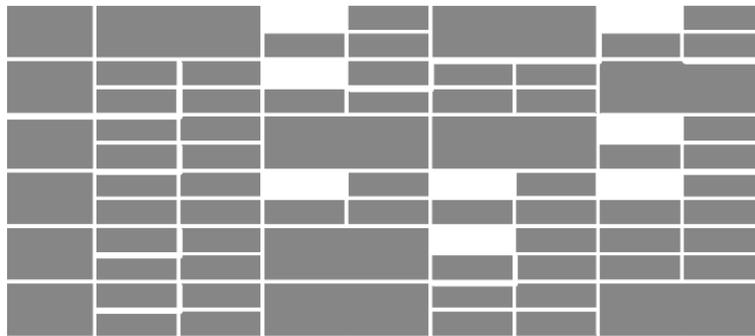


Figura 5: Padrão escolhido para aplicar nas fachadas – utilização de tijolos empilhados com dois tamanhos diferentes, 60x20 cm ou 30x10 cm. Criação de vazios aleatórios através da ausência pontual dos tijolos mais pequenos.

As sugestões referidas foram adicionadas facilmente no programa de GD vindo a ser desenvolvido e, produzindo uma nova proposta para a fachada, permitindo assim aos arquitetos a visualização rápida do resultado obtido já com as restrições implementadas (ver Figura 6). Na fase seguinte, produziram-se os modelos das três fachadas já com base em medidas reais, ou seja, já com as dimensões dos tijolos a utilizar no projeto final e as dimensões das três fachadas a desenvolver (comprimentos e alturas das mesmas e as zonas em que ocorreriam as variações de transparência).

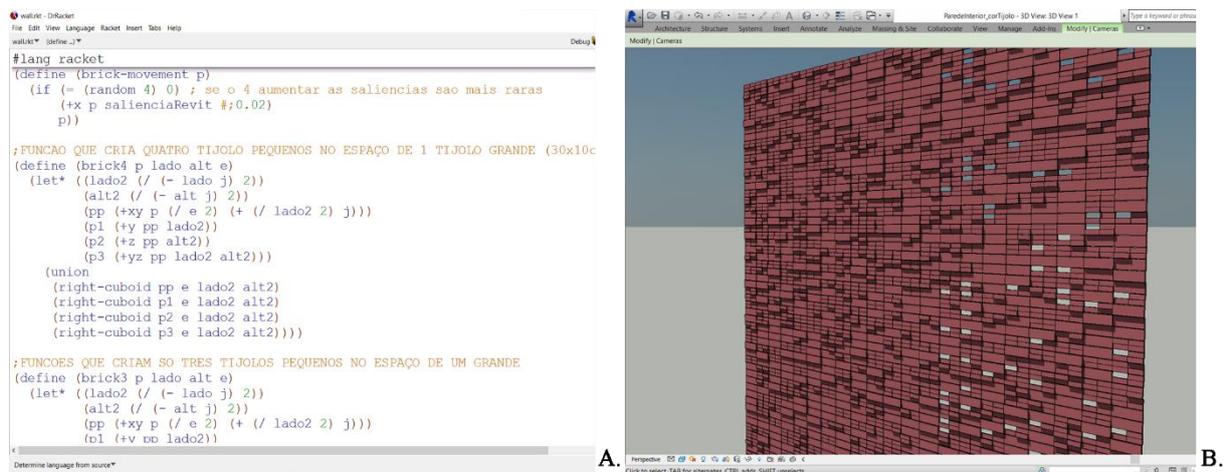


Figura 6: A visualização do programa algorítmico desenvolvido (A) e do modelo correspondente produzido em Revit (B).

Devido ao facto de termos usado uma abordagem algorítmica na exploração destas fachadas, a aplicação de pequenas alterações e variações aos modelos foi feita de forma quase imediata, o que permitiu aperfeiçoar os modelos gradualmente até ficarem totalmente de acordo com o gosto e a intenção inicial dos arquitetos.

Na Figura 7 estão representadas algumas das variações que foram sendo aplicadas ao modelo da fachada interior do edifício, i.e. virada para o pátio interior. As variações que são testadas são (1) a percentagem de tijolos que ficam salientes, e (2) o grau de perfuração/transparência de certas zonas da fachada.

Por fim, conjugaram-se os modelos das fachadas e do modelo final do edifício, por importação e implantação nos locais corretos, dos primeiros no último ficando assim o modelo da proposta completo. A Figura 8 mostra duas imagens finais da proposta já com as fachadas. Na imagem da direita são visíveis duas das fachadas, a norte e a oeste. Na imagem da esquerda é visível a fachada interior que está virada para o pátio central.

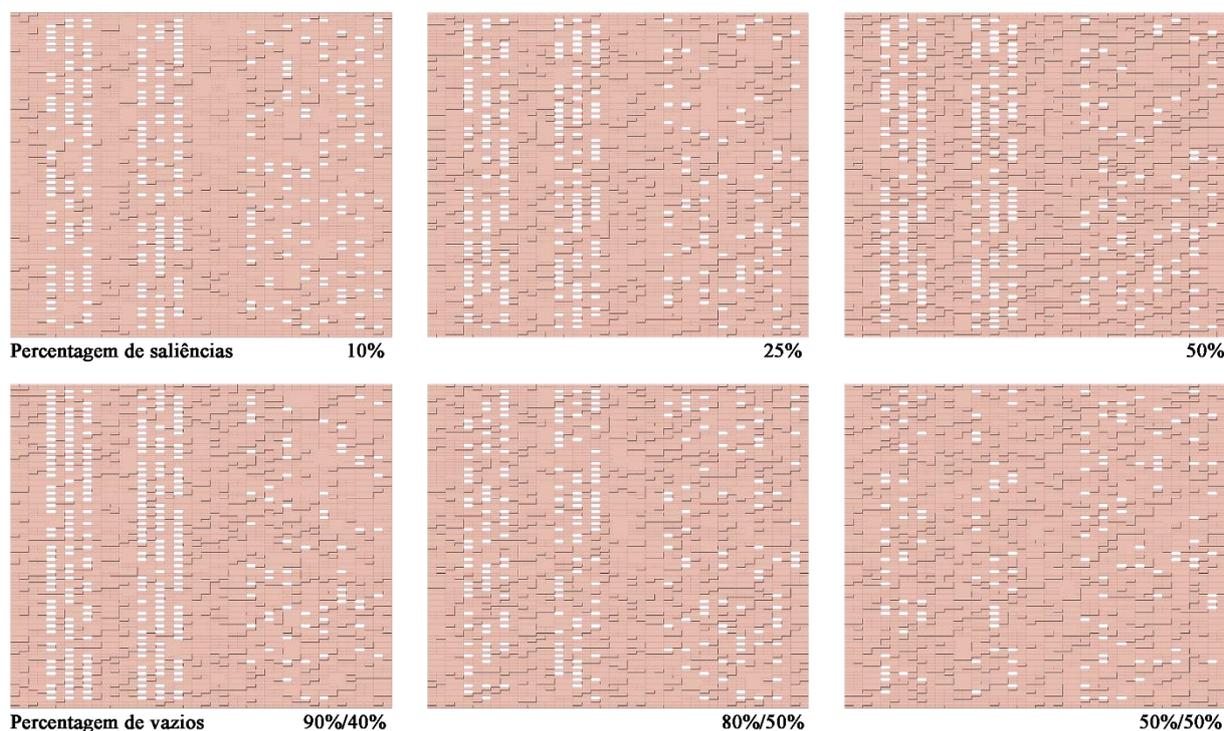


Figura 7: Variações sobre o padrão final da fachada interior – variação do número de tijolos salientes e da percentagem de ausência de tijolos.

5. Conclusões

Recentemente, o paradigma BIM e o Design Generativo começam a ser combinados no desenvolvimento de modelos arquitetónicos, possibilitando assim usufruir das vantagens de ambas as abordagens no processo de desenho do arquiteto. Este artigo apresenta um caso de estudo que se integra neste novo paradigma do BIM algorítmico, pois utiliza processos algorítmicos em BIM no desenvolvimento de elementos arquitetónicos: um conjunto de fachadas para um edifício de habitação na área de Lisboa.

Embora o objetivo inicial fosse desenvolver o conjunto de variações dos diversos modelos diretamente no Revit, por ser a ferramenta utilizada por ambos os ateliers, durante o projeto constatámos que a geração das soluções neste software BIM era demasiado lenta, não permitindo assim o feedback imediato e a dinâmica de design necessários. Em situações como esta, o RosettaBIM é bastante útil pois permite a portabilidade necessária entre ferramentas, tirando assim o melhor proveito de cada uma delas. Assim, numa fase mais inicial, como a gama de variação das propostas era bastante ampla, os modelos produzidos foram visualizados em AutoCAD, pois este permitiu uma performance superior. Numa fase mais avançada do processo, em que a modelação geométrica das fachadas já estava praticamente definida, o programa desenvolvido que estava a gerar os resultados no AutoCAD, passou agora a produzir modelos idênticos no Revit apenas sendo necessário acrescentar a informação das famílias BIM a utilizar.



Figura 8: Imagens finais do projeto proposto. À Direita: Fachada virada para a rua da Junqueira (Norte). À Esquerda: Fachada virada para o pátio interior.

O facto de utilizarmos uma abordagem algorítmica potenciou o poder criativo dos arquitetos envolvidos no projeto, em particular:

1. Permitiu explorar de forma controlada uma vasta gama de soluções num curto espaço de tempo, o que seria difícil e moroso utilizando o processo manual;
2. Facilitou a integração de alterações nas soluções sucessivamente desenvolvidas, permitindo assim uma interatividade quase imediata entre os arquitetos e os modelos.
3. Possibilitou a geração e visualização de soluções para além das idealizadas pelos arquitetos, tornando-se por isso uma ferramenta de apoio à conceção.
4. Abriu a possibilidade de se elaborarem ensaios de desempenho da construção.

Por outro lado, como o programa foi desenvolvido no RosettaBIM, este permitiu tirar proveito da velocidade e flexibilidade do AutoCAD numa fase inicial, cruzando-a com a informação construtiva necessária para o modelo BIM em Revit numa fase de finalização. Deste modo, através da combinação das aplicações CAD e BIM conseguiu-se beneficiar duma abordagem algorítmica e, simultaneamente, aplicar a mesma no paradigma BIM.

Referências

- [1] R. Hudson, “Strategies for parametric design in architecture (PhD Thesis),” University of Bath, Department of Architecture and Civil Engineering, 2010.
- [2] P. Russel e D. Elger, “The Meaning of BIM,” Antwerpen (Belgium) , 2008.
- [3] J. C. Lino, M. Azenha e P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” em Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012 , FEUP, Porto, 2012.
- [4] M. R. Asl, M. Bergin, A. Menter e W. Yan, “BIM-based Parametric Building Energy

- Performance Multi-Objective Optimization,” Newcastle upon Tyne, England, UK, 2014.
- [5] S. Feist, G. Barreto, B. Ferreira e A. Leitao, “Portable Generative Design for Building Information Modelling,” em CAADRIA 2016, Melbourne, Australia, 2016.
- [6] H. Humppi e T. Österlund, “Algorithm-Aided BIM,” University of Oulu, Oulu, Finland, 2016.
- [7] A. F. Bukhari, “A Hierarchical Evolutionary Algorithmic Design (HEAD) System for Generating and Evolving Buildings Design”, Queensland University of Technology, 2011.
- [8] B. Kolarevic, *Architecture in the Digital Age: Designing and Manufacturing*. Spon Press, 2003.
- [9] K. Terzidis, *Expressive Form: A Conceptual Approach to Computational Design*: Spon Press, 2003.
- [10] A. Leitão, “Teaching Computer Science for Architecture,” em Future Traditions: 1st eCAADe Regional International Workshop, FAUP, Porto, Portugal, 2013.
- [11] Autodesk, “The Dynamo Primer,” 2015. [Online]. <http://www.dynamoprimer.com/>.
- [12] L. Architects, “Superb Lyrebird,” 2014. [Online]. <https://lmnarchitects.com/tech-studio/bim/superb-lyrebird/>.
- [13] D. Rutten, “Grasshopper 3D,” Robert McNeel & Associates, 2007. [Online]. <http://www.grasshopper3d.com/>.
- [14] B. Systems, “Bentley,” 2007. [Online]. Available: www.bentley.com/en/products
- [15] B. Systems, “Bentley,” [Online]. Available: www.bentley.com/en/products/brands/microstation
- [16] B. Ferreira e A. Leitão, “Generative Design for Building Information Modeling,” em 33rd eCAADe Conference, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 2015.
- [17] J. Lopes e A. Leitão, “Portable Generative Design for CAD Applications.,” em ACADIA 11: Integration Through Computation, Banff, Alberta, 2011.

DESIGN GENERATIVO PARA BUILDING INFORMATION MODELING

Bruno Ferreira ⁽¹⁾, António Leitão ⁽¹⁾

(1) INESC-ID/IST, Lisboa

Resumo

O Design Generativo (DG) é uma abordagem algorítmica para a criação de modelos arquitetónicos, permitindo mecanizar tarefas, produzir geometrias complexas, e otimizar o modelo criado. Uma vez que as aplicações de *Computer-Aided Design* (CAD) são muito utilizadas em Arquitetura e Engenharia, foram já criadas diversas ferramentas que combinam o DG com as aplicações CAD. Um exemplo a ter em conta é o Rosetta, um ambiente de programação para DG, desenvolvido para arquitetos e engenheiros, que permite aos utilizadores escolher, não só em que linguagem querem programar, mas também em que ferramenta CAD querem produzir os seus modelos. Mais recentemente, o paradigma CAD tem vindo a ser substituído pelo paradigma BIM, o que reduz a utilidade das ferramentas de DG que apenas lidam com o paradigma CAD. Como as vantagens do DG se estendem naturalmente ao paradigma BIM, propomos uma solução que expande o Rosetta, permitindo a criação de programas de DG que tiram proveito das capacidades do paradigma BIM. A nossa solução permite não só elevada portabilidade entre ferramentas BIM, mas ainda alguma portabilidade entre os paradigmas CAD e BIM. De forma a avaliar a nossa solução, apresentamos um conjunto de casos de estudo onde mostramos o uso do Rosetta em combinação com o Revit.

1. Introdução

As aplicações de *Computer-Aided Design* (CAD) aumentaram a eficiência com a qual se realizavam diversas tarefas de design, permitindo aos arquitetos criar modelos cada vez mais precisos e complexos. No entanto, mesmo recorrendo a ferramentas CAD, a modelação e alteração de geometrias complexas continua a ser desafiante pois estas ferramentas ainda não dão ao utilizador o nível de flexibilidade que é, por vezes, necessário.

O Design Generativo (DG) é uma abordagem que resolve estes problemas [1]. DG pode ser descrito como a criação de formas através de algoritmos [2]. Estes algoritmos, implementados

sob a forma de programas, permitem a fácil geração de variações do mesmo modelo [3]. Estes programas podem também gerar geometria que seria difícil de criar por meios manuais.

Reconhecendo as vantagens da abordagem de DG, diversas ferramentas foram criadas com o intuito de permitir a criação de programas de DG. Muitas destas ferramentas foram criadas a pensar em arquitetos com poucos conhecimentos de programação e são, por isso, facilmente utilizáveis.

Uma dessas ferramentas é o Rosetta. Esta ferramenta possui um ambiente de programação para DG que permite aos utilizadores desenvolverem programas numa das diversas linguagens disponíveis. Estes programas são usados para gerar modelos em diversas ferramentas CAD [4]. Atualmente, as ferramentas CAD estão a ser substituídas por ferramentas de *Building Information Modeling* (BIM), inviabilizando as ferramentas de DG como o Rosetta, que foram desenvolvidas com as aplicações CAD em mente. Isto acontece devido ao facto das ferramentas CAD lidarem principalmente com geometria, enquanto que as ferramentas BIM lidam com objetos BIM paramétricos. Estes são definidos por um conjunto de regras paramétricas, assim como um conjunto de propriedades como material, preço, e fabricante, entre outras [5].

Estas propriedades permitem às ferramentas BIM detetar problemas nos modelos, como sejam tubagens que atravessam vigas estruturais. Para além disto, as regras paramétricas adaptam os objetos à sua utilização no projeto, permitindo, por exemplo, que uma porta inserida numa parede assuma as medidas corretas. Finalmente, toda a informação necessária durante o ciclo de vida do edifício é armazenada no modelo, podendo ser utilizada para gerar um vasto conjunto de documentos, desde orçamentos a documentos de fabricação [5].

Estas capacidades implicam, não só, mudar a forma de trabalho dos utilizadores, mas também a forma de trabalho das ferramentas de DG, de modo a possuírem funcionalidades que permitam tirar proveito do paradigma BIM, algo para o qual não estavam preparadas.

Desenvolver programas de DG para ferramentas BIM é um problema atual, sendo que a maioria das soluções existentes envolvem a utilização de *Application Programming Interfaces* (APIs) disponibilizadas pelas ferramentas. No entanto, estas APIs requerem conhecimentos avançados de programação e encontram-se escritas em linguagens de programação complexas como C# e C++. Estas características tornam-nas inadequadas a utilizadores com reduzida experiência de programação. Para resolver este problema, propomos uma solução que permite a estes utilizadores criar programas de DG no paradigma BIM. Na próxima secção descrevemos o trabalho relacionado analisado para o desenvolvimento da solução.

2. Trabalho Relacionado

Diversas ferramentas foram analisadas, de forma a guiar o desenvolvimento da nossa solução. O foco principal foram ferramentas que permitissem explorar DG com ferramentas BIM, assim como plug-ins que atinjam o mesmo objetivo.

2.1 Grasshopper e Lyrebird

Grasshopper é uma linguagem de programação visual desenvolvida para arquitetos e disponibilizada como um plug-in para a aplicação CAD Rhinoceros 3D. Programas escritos com esta linguagem representam um grafo de fluxo de dados que consiste num conjunto de componentes e ligações entre eles. Os componentes podem representar funções, parâmetros ou elementos geométricos [6]. Uma vez que estes componentes podem ser ligados entre si, os utilizadores podem combiná-los de forma a produzir algoritmos complexos.

Para além destes componentes, o Grasshopper disponibiliza componentes de *scripting* que permitem escrever programas em VB.NET, C# e Python [6].

Uma vez que o Grasshopper é uma linguagem visual, esta é fácil de aprender e utilizar, tornando-a popular entre arquitetos. No entanto, o seu aspeto gráfico é também uma desvantagem, pois à medida que os programas crescem, estes tornam-se difíceis de compreender e manipular. A Figura 1 ilustra um programa que torna evidente estes problemas.

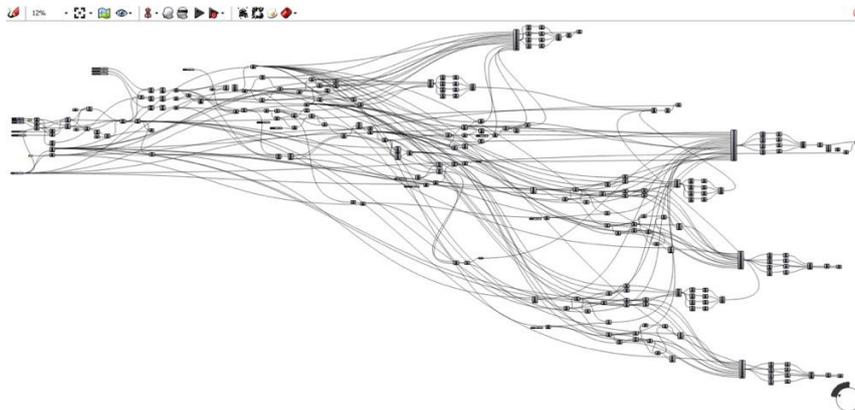


Figura 1: Exemplo de programa em Grasshopper. (source: <http://workshopsfactory.wordpress.com/files/2009/08/parametric-table-grasshopper.jpg>).

O Grasshopper apenas funciona com a ferramenta CAD Rhinoceros, mas a sua funcionalidade tem vindo a ser estendida com *plug-ins*, como o Lyrebird, que tornam possível a utilização da linguagem com outras aplicações, nomeadamente aplicações BIM.

O Lyrebird é um *plug-in*, desenvolvido pelos LMN Architects, para funcionar como ferramenta de interoperabilidade entre o Grasshopper 3D e o Revit. O Lyrebird tem como foco principal transferir informação entre aplicações, em vez de traduzir geometria entre elas [7]. Este *plug-in* permite a utilização do Grasshopper para estruturar a informação necessária para produzir objetos no Revit. Esta informação é utilizada para identificar e criar instâncias das famílias corretas com os parâmetros desejados. Por exemplo, para criar uma viga, é criada uma linha no lado do Grasshopper, que é passada para o Revit de forma a, em conjunto com a família de objetos a utilizar, instanciar a viga. Um exemplo de utilização pode ser visto na figura 2.

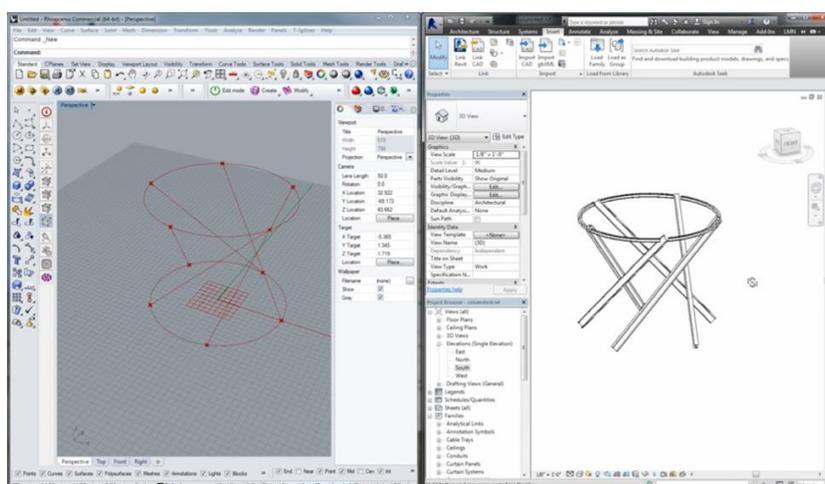


Figura 2: Criação de vigas no Lyrebird com linhas criadas em Rhinoceros (source: <https://lmmarchitects.com/tech-studio/bim/superb-lyrebird/>).

2.2 Dynamo

Dynamo é um *plug-in* para o Revit fortemente influenciado por linguagens de programação visuais como o Grasshopper. Tal como no Grasshopper, os utilizadores criam um grafo de fluxo de dados, utilizando nós que se encontram ligados entre si com cabos, associados a portos que cada nó contém. Os nós podem representar diversos elementos do Revit, como linhas, funções matemáticas e objetos BIM. Os utilizadores podem também definir nós personalizados, de forma a estender a funcionalidade base do Dynamo [8].

O Dynamo também suporta nós de código, que são elementos que podem conter pequenos programas escritos numa linguagem de programação como o Python.

2.3 GenerativeComponents

GenerativeComponents é um sistema paramétrico e associativo para a ferramenta BIM Microstation da Bentley.

Este sistema é baseado em propagação, ou seja, o utilizador tem de determinar as regras, ligações e parâmetros que definem a geometria desejada. Este sistema consiste num grafo dirigido acíclico gerado por dois algoritmos: um que ordena o grafo e outro que propaga os valores por este [9].

O GenerativeComponents oferece diversas formas de interação aos utilizadores, tendo em conta os seus diferentes níveis de conhecimentos. A primeira é através de uma interface gráfica que permite a manipulação direta de geometria. A segunda recorre à linguagem GCScript, permitindo criar ligações entre objetos com pequenos programas. Por fim, é também possível escrever programas na linguagem C#, permitindo a criação de algoritmos complexos.

O GenerativeComponents demonstra que uma linguagem visual pode ser mais fácil de aprender mas que à medida que o utilizador evolui e quer produzir programas mais complexos, este tende a transitar para uma linguagem mais textual.

2.4 RevitPythonShell

O RevitPythonShell é um *plug-in* desenvolvido para o Revit que permite aceder à API do mesmo na linguagem Python, simplificando assim a sua utilização [10].

O *plug-in* utiliza o IronPython como linguagem e um editor de código fornecido pela Python Tools. Com este editor, os utilizadores têm acesso a um *Read-Eval-Print-Loop* (REPL) que lhes permite experimentar mais facilmente as funcionalidades da API. Com a REPL, basta apenas escrever uma expressão, avaliá-la, ver os resultados e passar à próxima expressão [10].

2.5 Comparação

A tabela 1 apresenta uma comparação entre as ferramentas analisadas.

Tabela 1: Comparação entre as ferramentas analisadas. O símbolo ✓- indica suporte limitado, ✓ indica suporte e ✗ indica o não suporte. Na última coluna o número de ✓ traduz a quantidade de funcionalidade suportada.

	Visual	Textual	Suporte BIM	Operações Geométricas	Operações BIM
Grasshopper	✓	✓-	✗	✓	✗
Lyrebird	✓	✗	✓	✗	✓✓
Dynamo	✓	✓-	✓	✓	✓✓✓
GenerativeComponents	✓	✓	✓	✓	✓✓✓
RevitPythonShell	✗	✓	✓	✓	✓✓✓

Como é possível verificar, muitas destas ferramentas: (1) tiram proveito de linguagens de programação visuais, dada a sua simplicidade e facilidade de aprendizagem; (2) oferecem algum suporte a linguagens de programação textual, apesar de se restringirem a pequenos programas; e (3) oferecem suporte a operações BIM, demonstrando a necessidade de explorar as ferramentas BIM com DG.

2.6 Problemas a Resolver

Uma das desvantagens das ferramentas analisadas está relacionada com a utilização de linguagens visuais. Apesar de mais fáceis de aprender, estas não escalam bem com a complexidade dos programas, ou seja, os programas tornam-se mais difíceis de perceber e editar [11].

Em relação às ferramentas que oferecem suporte a linguagens textuais, muitas destas tiram proveito de linguagens profissionais, como C#, que são difíceis de serem utilizadas por principiantes. Para além disto, algumas das ferramentas requerem conceitos avançados de programação, o que dificulta a aprendizagem das mesmas.

Por fim, todas estas ferramentas estão ligadas a apenas uma ferramenta BIM/CAD e utilizam linguagens de programação muito específicas. Caso o utilizador queira mudar de linguagem ou ferramenta de modelação, terá de reescrever o seu programa.

Estes são os problemas que pretendemos resolver com a nossa solução.

3. Design Generativo para BIM

De forma a permitir que os utilizadores desenvolvam programas que escalam bem com a complexidade, desenvolvemos uma solução baseada em linguagens de programação textuais. No entanto, como estas linguagens são mais difíceis de aprender, decidimos utilizar linguagens que têm qualidades pedagógicas, como Python e Racket. Além disto, queremos disponibilizar operações BIM fáceis de compreender e utilizar, assim como oferecer portabilidade entre aplicações BIM.

Por estas razões, a nossa solução é constituída por três elementos: (1) um *Integrated Development Environment* (IDE) onde o utilizador escreve os seus programas; (2) uma Camada de Abstração que fornece as operações necessárias; e (3) um *plug-in* que permite comunicar e produzir os resultados nas ferramentas BIM [12]. A arquitetura da solução pode ser vista na figura 3.

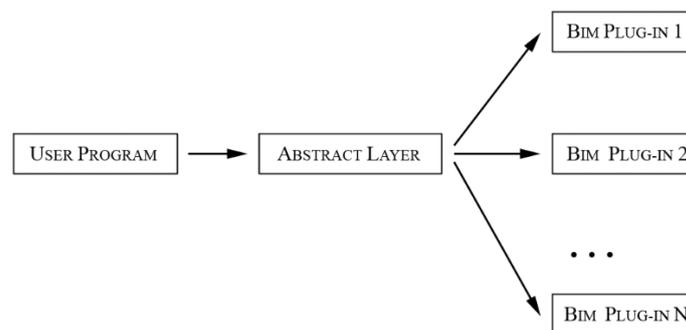


Figura 3: Arquitetura da solução.

Nas próximas secções exploramos cada um destes componentes.

3.1 Integrated Development Environment

A solução utiliza linguagens de programação textuais, dado a sua flexibilidade e escalabilidade, embora estas sejam mais complexas para principiantes. Para além da linguagem, é necessário um IDE com funcionalidades adequadas para principiantes, para escrever e depurar os programas. Estas funcionalidades são de extrema importância, pois ajudam a ultrapassar as barreiras de entrada das linguagens textuais. Por estas razões, decidimos usar o Rosetta e tirar proveito do IDE que este utiliza, o DrRacket, um ambiente de programação pedagógico [13] pensado para principiantes.

Ao utilizar o Rosetta, os utilizadores podem escolher em que linguagem de programação querem escrever os seus programas. Racket, Python, Processing e Javascript são alguns exemplos de linguagens disponíveis. Esta possibilidade ajuda utilizadores que saibam algumas destas linguagens, pois elimina a necessidade de terem de aprender a programar numa nova linguagem. No entanto, mesmo que tenham de aprender, todas as linguagens disponibilizadas são pedagógicas e usadas no ensino, o que facilita o processo.

3.2 Camada de Abstração

Para escreverem programas de DG que produzam os resultados desejados, os utilizadores precisam de funções que lhes permitam ter acesso a funcionalidades da ferramenta BIM. Estas funções devem permitir aos utilizadores criar objetos BIM e definir toda a informação necessária para produzir um projeto completo.

Por exemplo, se um utilizador quiser produzir uma parede com uma porta, este necessita de funções capazes de produzir ambos os elementos. A função capaz de criar paredes deverá receber informação acerca da altura, comprimento, posição e tipo de parede, de forma a criar o objeto BIM correto. Após criar a parede, a função que cria a porta será utilizada, recebendo não só a posição e tipo da porta, mas também a parede onde a porta será colocada, criando uma dependência entre os objetos.

Todas estas funções têm de ser disponibilizadas numa Camada de Abstração, uma biblioteca de funções que simplifica e traduz as necessidades do utilizador para código, de forma a que possam ser utilizadas nas diversas aplicações BIM. De forma a implementar esta camada, decidimos expandir o Rosetta, tirando proveito das funções e abstrações já criadas para as ferramentas CAD, como sistemas de coordenadas e entidades geométricas e criámos novas funcionalidades, agora adaptadas ao paradigma BIM.

3.3 Plug-In

Finalmente, de forma a permitir que os utilizadores executem os seus programas e produzam os modelos na aplicação BIM desejada, foi criado um componente que permite ao Rosetta comunicar com uma aplicação BIM.

Uma vez que as ferramentas BIM disponibilizam uma API que expõe as suas funcionalidades, este componente pode ser implementado como um *plug-in*, escrito com a API mencionada.

Todas as funções implementadas na Camada de Abstração terão uma função correspondente no *plug-in*. Quando uma função é executada no programa, a informação necessária é enviada para o *plug-in* e a função correspondente é executada na ferramenta BIM, produzindo os resultados na mesma.

Cada ferramenta BIM necessita de um *plug-in* para comunicar com o Rosetta, e para testarmos a nossa solução começamos por introduzir um *plug-in* para o Revit. Este foi desenvolvido utilizando a API do Revit, tendo sido escrito na linguagem C#. No entanto, toda a complexidade deste é escondida pela Camada de Abstração mencionada anteriormente, sendo esse um dos seus principais objetivos. Desta forma, os utilizadores podem utilizar funções simples e intuitivas, estando toda a complexidade necessária para trabalhar com as ferramentas escondida no *plug-in*. É neste componente que todos os cálculos para criar os objetos são efetuados, assim como toda a gestão de transações aplicacionais necessárias para visualizar os resultados.

4. Avaliação

De forma a avaliar a nossa solução, desenvolvemos um conjunto de casos de estudo que nos permitiram demonstrar as diversas capacidades que pretendíamos alcançar. Nas próximas

secções iremos descrever alguns modelos desenvolvidos que ilustram as funcionalidades BIM da solução, a portabilidade desta e a sua aplicação.

4.1 Funcionalidades BIM

Dado que o que pretendíamos atingir era a capacidade de utilizar o paradigma BIM com DG, começámos por desenvolver um modelo que tirasse proveito das capacidades das aplicações BIM, nomeadamente os objetos e as ligações e dependências entre estes. Para tal, desenvolvemos para BIM um modelo que tinha sido previamente desenvolvido com DG para CAD: as *Dubai Towers*, criadas por Sama Dubai. Este modelo tinha sido produzido por um programa que gerava apenas geometria e era nosso objetivo produzir o mesmo modelo, mas com conceitos BIM. Utilizando as novas funções que introduzimos na Camada de Abstração do Rosetta, foi possível produzir o modelo em Revit, visível na figura 4.

Ao examinarmos o modelo, pudemos verificar que todos os elementos eram objetos BIM criados corretamente. Verificámos também que os elementos estavam devidamente associados, estando cada laje associada a um nível e cada parede associada a um nível de base e topo, o que condicionava a altura das mesmas. Para além disto, foi também possível criar as paredes com as propriedades esperadas de um elemento deste tipo, apesar da sua forma irregular.

4.2 Portabilidade

Uma das principais funcionalidades oferecidas pelo Rosetta é a portabilidade dos programas de DG entre ferramentas CAD. Desta forma, quisemos manter esta funcionalidade para BIM.

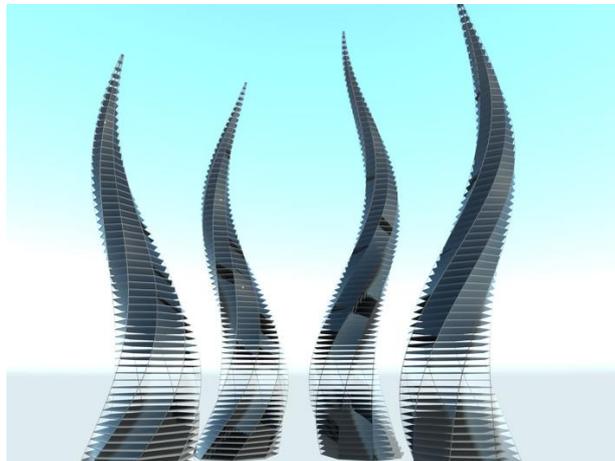


Figura 4: *Dubai Towers*, produzidas através de DG no Revit.

Para demonstrar que seria possível obter resultados semelhantes com o mesmo programa em duas ferramentas BIM, desenvolvemos um programa que produzia um modelo das *Absolute Towers*, criadas pelos MAD Architects. Dado que introduzimos funcionalidades a pensar em conceitos gerais BIM, utilizamos o programa para produzir o modelo em Revit e em ArchiCAD, a segunda ferramenta BIM que está atualmente a ser introduzida no Rosetta. Com algum trabalho de uniformização, facilitado pela Camada de Abstração, foi possível disponibilizar as mesmas funções para ambas as ferramentas, o que permitiu utilizar o mesmo programa para produzir os modelos visíveis na figura 5.

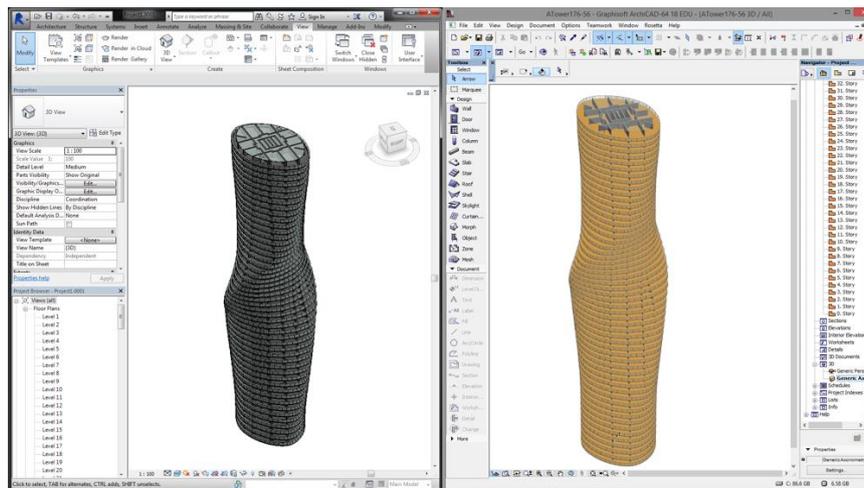


Figura 5: *Absolute Towers*, produzidas no Revit (à esquerda) e no ArchiCAD (à direita).

Como é visível na figura, o modelo obtido em ambas as ferramentas BIM era idêntico, possuindo o mesmo tipo de relações entre os objetos, assim como os mesmos tipos de objetos. Conseguimos assim obter portabilidade entre ferramentas BIM, tal como acontecia com as ferramentas CAD. E uma vez que a portabilidade é obtida através do programa, sendo o modelo gerado nativamente na ferramenta alvo, não existem perdas de informação, um problema que identificámos quando passávamos o modelo de uma ferramenta para a outra usando IFC.

Para além da portabilidade entre ferramentas BIM, em modelos simples conseguimos também alcançar portabilidade entre ferramentas CAD e BIM. Ao introduzir funções simples que representam conceitos BIM para as ferramentas CAD, é possível ter algumas funcionalidades BIM disponíveis em todas as ferramentas. Utilizando estas funções foi possível produzir um modelo simples com lajes e uma fachada sinusoidal composta por vigas. Este modelo foi produzido por um único programa de DG, gerando o mesmo modelo em todas as ferramentas de visualização suportadas pelo Rosetta. O resultado é visível na figura 6.

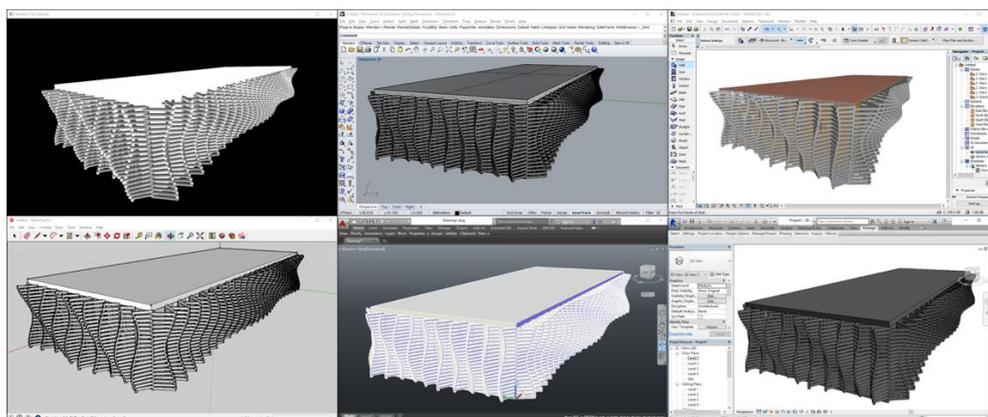


Figura 6: Edifício sinusoidal, produzido em OpenGL, Rhinoceros, ArchiCAD (em cima), Sketchup, AutoCAD e Revit (em baixo).

A portabilidade é uma funcionalidade de extrema utilidade em DG, pois permite tirar proveito dos pontos fortes de cada ferramenta, como seja a performance de ferramentas como o OpenGL, para visualizar variações simples e iniciais com rapidez, passando numa fase mais avançada para ferramentas BIM com mais detalhe e informação.

5. Conclusão

DG foi introduzido em Arquitetura como uma forma de utilizar algoritmos para explorar formas complexas, difíceis de obter por meios tradicionais. DG foi inicialmente combinado com ferramentas CAD mas, com os avanços na área da Arquitetura, passou a existir a necessidade de combinar DG com ferramentas BIM. Assim, diversas ferramentas têm sido desenvolvidas com o intuito de permitir ao utilizador produzir modelos BIM com programação. No entanto, a maioria destas ferramentas condiciona os utilizadores a linguagens de programação inadequadas ou limitam-no a uma só ferramenta BIM ou CAD.

Para resolver estes problemas propomos uma solução que expande o Rosetta, um ambiente de programação para DG adequado para principiantes. Através da nossa solução, o utilizador pode criar programas de DG para ferramentas BIM, tirando proveito das diversas funcionalidades que o paradigma oferece. Para além disto, o utilizador tem a liberdade de escolher em que linguagem de programação quer programar, produzindo programas que podem ser facilmente portados entre ferramentas BIM e, no caso de programas simples, também ferramentas CAD. Através dos casos de estudo, mostramos a capacidade de produzir modelos BIM corretos com programas DG desenvolvidos com a nossa solução. É também possível verificar a utilidade da portabilidade, permitindo alternar entre as ferramentas mais adequadas a cada fase do projeto, utilizando ferramentas com melhor performance para variações, e outras capazes de mais detalhe em fases finais.

Como trabalho futuro pretendemos expandir as funcionalidades disponibilizadas pela ferramenta, assim como adicionar suporte para mais ferramentas BIM. Outro objetivo será explorar formas de otimização de modelos, em combinação com as ferramentas BIM, permitindo gerar e avaliar variações do modelo automaticamente.

Referências

- [1] J. McCormack, A. Dorian, and T. Innocent, "Generative design: a paradigm for design research," in *Proceedings of Futureground (2004)*, Design Research Society, Melbourne, Australia, 2004.
- [2] R. Garber, *BIM Design, Realising the Creative Potential of Building Information Modelling*. Hoboken, N.J.: Wiley 2014.
- [3] R. Fernandes, "Generative Design: a new stage in the design process," Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2013.
- [4] J. Lopes, and A. Leitão, "Portable generative design for CAD applications," in *Proceedings of the 31st annual conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture (2011)*, Calgary/Banff, Canada, 2011, pp. 196-203.

- [5] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.
- [6] A. Payne, and R. Issa, *Grasshopper Primer*, Zen Edition. Robert McNeel & Associates, 2009.
- [7] T. Logan, "Superb Lyrebird", February, 2014. Acedido em Abril de 2015. Disponível em: <http://lmnts.lmnarchitects.com/bim/superb-lyrebird/>
- [8] Dynamo. Acedido em Dezembro de 2014. Disponível em: <http://dynamobim.com/learn/>
- [9] R. Aish, and R. Woodbury, "Multi-level interaction in parametric design," in *Smart Graphics (2005)*, Springer, Berlin, Germany, 2005.
- [10] D. Thomas, "Introducing RevitPythonShell", December, 2009. Acedido em Abril de 2015. Disponível em: <http://darenatwork.blogspot.pt/2009/12/introducing-revitpythonshell.html>
- [11] A. Leitão, and L. Santos, "Programming languages for generative design," in *Respecting fragile places - Proceedings of the 29th Conference on Education in Computed Aided Architectural Design in Europe (2011)*, Ljubljana, Slovenia, 2011, pp. 549-557.
- [12] B. Ferreira, and A. Leitão, "Generative design for building information modeling," in *Real Time - Proceedings of the 33rd International Conference on Education and Research in Computed Aided Architectural Design in Europe (2015)*, Vienna, Austria, 2015, pp. 635- 644.
- [13] R. B. Findler, C. Flanagan, M. Flatt, S. Krishnamurthi, and M. Felleisen, "DrScheme: A pedagogic environment for Scheme," in *Programming Languages: Implementations, Logics, and Programs*, Springer, 1997, pp. 369-388.

UMA ARQUITETURA DE OBJETOS

Rafael Vieira ⁽¹⁾

(1) Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto, rafael_vieira120@hotmail.com

Resumo

Entre as fundações e cobertura, os edifícios compõem-se de elementos definíveis pela forma ou função. Sendo que, por um lado, os Arquitetos fundamentam o seu trabalho na idealização de planos, e, por outro, BIM está numa fase crescente dentro da indústria da construção por melhorar a interdisciplinaridade entre profissionais ao sintetizar processos, verifica-se uma oportunidade, para os primeiros, através do desenho por computador, de melhorarem o seu Arquivo, compondo-o com DIM, e continuarem a apresentar-se como criadores.

A investigação centra-se no desenvolvimento de BEM para funcionar como acervo de Arquitetura a usar em projeto. A metodologia utilizada é de estudo de caso, desenvolvido no último ano, para o qual foram realizados testes de replicação de elementos correspondentes aos vãos de aberturas interiores e exteriores. O objetivo é mostrar como a utilização destes elementos contribui para operacionalizar a realização de uma forma mais organizada e dinâmica.

1. Introdução

As empresas devem ter a capacidade de desenvolver objetos paramétricos definidos pelo utilizador, bibliotecas corporativas de objetos para controlo personalizado da qualidade e estabelecer as suas melhores práticas [1].

Eastman *et al* referem-se, assim, à técnica para metodologias a utilizar em projeto, indicando um caminho para que os escritórios desenvolvam princípios de autonomia, que lhes possibilite acompanhar processos de base digital, partindo de um princípio – *desenvolver objetos paramétricos* – que contribui para a atualização da composição do Arquivo.

Os *objetos*, referidos pelos autores, correspondem aos utilizados nessas metodologias. Estes, têm forma e função específica que variam de forma inteligente, aos quais é associada informação, e que, conjugados, possibilitam que se estude um edifício pelas partes que o compõem. Um possível caso, destes objetos, são os elementos de vãos de abertura – portas e janelas –, analisados, aqui, pela sua indispensabilidade ao projeto de Arquitetura, dada a função que desempenham na relação entre espaços.

Como já existem processos implementados, para este princípio, um caminho possível pode ser a adaptação de metodologias anteriores às novas ferramentas, que incluem possibilidades mais completas de que se pode tirar partido para os processos aplicados à execução arquitetónica, a utilizar dentro de BIM, para a interdisciplinaridade entre profissionais.

Neste sentido, o objetivo é perceber a importância do desenvolvimento de BEM de vãos de abertura, como podem evoluir os processos anteriormente utilizados para novas metodologias, e as questões que se relacionam com o desenvolvimento destes elementos. Assim, será possível perceber a importância da definição dos objetos para a interdisciplinaridade em processo de projeto, bem como, para a Arquitetura.

O método utilizado é o de investigação teórico-prática, com base no projeto de um edifício construído – o Pavilhão de Portugal '98, Álvaro Siza –, realizada durante o último ano para a conclusão dos estudos de grau de Mestre em Arquitetura.

2. De interdisciplinaridade e objetos

Em tempos de interdisciplinaridade compete-lhe [ao Arquiteto], sobretudo, promover e coordenar a convergência das muitas competências que a construção e a realidade envolvem. O objetivo atingível de espontânea adição de saberes, simultaneamente autónomos e ajustáveis [2].

Sensatas palavras do Arquiteto Álvaro Siza referindo-se ao arquiteto contemporâneo, apresentando-o como um *autor*, num apontamento de experiência de centenas de obras espalhadas pelo mundo, e indicando tempos onde se têm verificado mudanças visíveis de comportamento e posicionamento na área da construção, a encarar como uma oportunidade. Nestas palavras, pode-se interpretar que o Arquiteto pode ter um papel importante na atenção à interação de cada disciplina, na procura de construir relações, nos previsíveis desacordos, portando o equilíbrio entre elas, pesando e medindo circunstâncias, num enquadramento comum e harmonioso, na procura de um resultado ajustado, entre as soluções construtivas e as pretensões espaciais.

Para a Arquitetura, os objetos têm a importância de definir espaços, criar atmosferas, revelando sentidos de evolução de pensamento funcional, sendo reflexo das circunstâncias de lugares e de definição da singularidade de cada construção. A produção aliada ao processo criativo aumenta a possibilidade de prováveis soluções a adotar, verificando-se a transição de elementos que se repetem entre projetos para solucionar as formas desejadas, ou colocação de elementos singulares, intransmissíveis ou identitários. Estes, podem colocar-se em dois grandes grupos:

de Empresas – enquadrando-se numa identidade de produtos desenvolvidos para produção; ou de Arquitetos – enquadrando-se na sua marca de identidade desenvolvida ao longo da sua vida profissional. Cada vez mais se verifica o serviço e a qualidade como fatores diferenciadores, adequados à transição do atual paradigma de produto de marca com garantia para produto com garantia da marca, num sentido de identificação de qualidade.

Posto isto, é difícil dizer o que é um objeto porque pode ser visto tanto como uma peça com uma forma num material qualquer, como um conjunto de peças que permitem que se cumpra uma função. Sem haver um limite que enquadre a sua definição, pensa-se que pode ser definido pela fase em que se encontra, porque a ideia do que é varia em função dos objetivos que se pretendem dele. Ou seja, por exemplo, uma porta é um conjunto de objetos – aro, folha, moldura, entre outros – na sua fase de construção e um objeto único no desempenho da sua função, um todo constituído pelas partes.

Mas não só de objetos visíveis se faz um projeto. Um espaço livre entre paredes e pisos desenhado para definir o conforto, tem a característica de ser uma massa fixa com forma e limites definidos quando fechados, e massa móvel com formas variáveis e moldáveis quando aberto. Nesta perspetiva, tal como os elementos visíveis, pode pensar-se no espaço livre como um objeto criado para formalizar a definição do habitável, do conforto.

Por tudo isto, o resultado final beneficiará com a definição dos objetos de composição para a edificação, com relações controladas de forma sequencial em hierarquia, por fases, que cumpram ou façam cumprir funções clássicas ou modernas, de forma a ajudar o atual contexto de maior complexidade construtiva verificado [Figura 1].

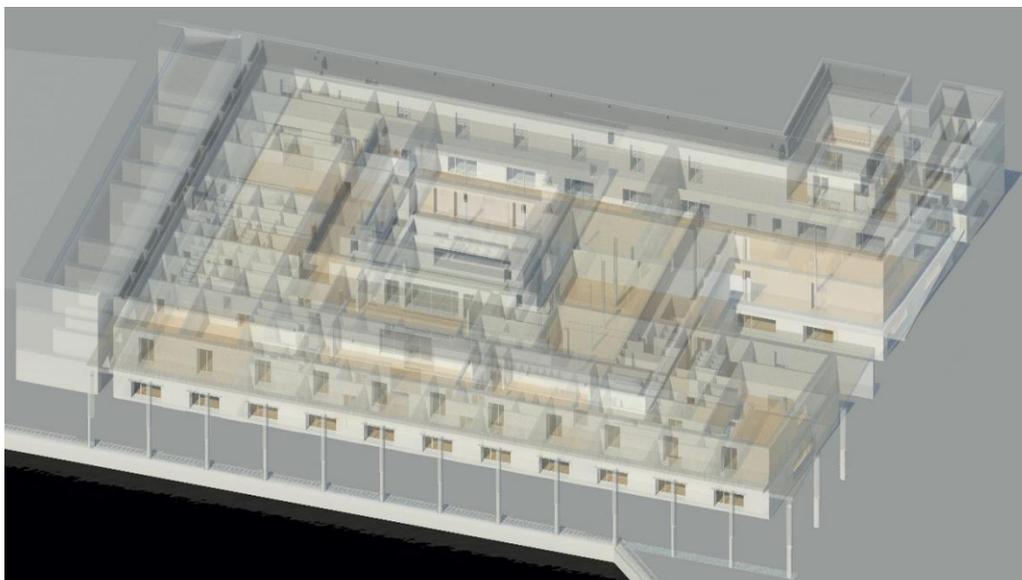


Figura 1: Visualização tridimensional de um Modelo Integrado de Arquitetura.

2.1 No paradigma do digital

Projetar a partir do digital mantém o processo de trabalho de comunicação de ideias do paradigma anterior, utilizando metodologias que recorrem a modelos de informação, para que

o Arquiteto teste o ambiente e o espaço de uma realidade, numa simulação virtual, com *entidades*, que Kennedy define como *elemento gráfico discreto e definível* [3].

Partindo desta definição, *entidade* não abrange todas as pretensões para BIM e, neste sentido, Eastman *et al* identificam BEM – Building Element Model [1] –, o que, nesta sequência, pode levar a que se pense, neste, como uma evolução natural do anterior.

Este, apresenta recursos direcionados para o entendimento do objeto real, por ser paramétrico, autónomo, incluir mais informação geométrica e escrita, referenciar a aplicabilidade – georreferenciação – e apresentar potencialidades na qualificação da representação gráfica para visualização 3D. É da relação entre tipos de objetos de BEM, seja por associação a outro que funcione como um hospedeiro, seja por funcionar autonomamente, seja por contar com luz própria, entre mais particularidades, que resulta a imagem geométrica do modelo integrado onde toda a informação desenvolvida corresponde à escala 1:1 da construção. Estes, incluindo-se dentro de BIM para dar resposta a procedimentos atuais, estabelecem direções processuais complementares, tendo em conta especificações de características, através do levantamento e transferência de informação para extração de dados, de divulgação e partilha entre pessoas. O seu formato aberto permite que possam ser alterados, reformulados ou transformados em qualquer altura, criando, por um lado, mais alternativas para casos excecionais, mas, por outro, fazendo com que seja necessário confirmar os dados da modelação de forma regular.

Para além do desenvolvimento de cada exemplar para um novo BEM, pode ser necessário proceder à replicação de uns, derivados de outros, alterando ou transformando o primeiro, verificando-se uma oportunidade de hereditariedade entre objetos, ou pelas suas características de contacto com outros elementos variarem, ainda, ou por se comporem de elementos que funcionam de maneira diferente, apesar de manterem, na génese, a mesma imagem [Figura 2].



Figura 2: Visualização tridimensional de um BEM.

Tirando partido da potencialidade das interligações do digital, BIM pode funcionar como um ponto de partida para aproximar o trabalho dos intervenientes, fazendo parte de uma nova forma de projetar que evolui a partir do grau zero – o projeto de Arquiteto –, de onde se parte para outros níveis de desenvolvimento, compreendendo as fases de projeto, construção ou gestão, e para onde tudo converge, num processo ritmado e ondulante, até ao projeto de Arquitetura – síntese do trabalho interdisciplinar que inclui todas as especialidades –.

Neste sentido, os Arquivos podem desempenhar um papel de comunicação em projeto, permitindo trabalhar em várias dimensões, mantendo a forma de comunicação anterior, podendo atualizar um elemento particular e permitindo recuos e avanços, sem necessidade de parar o desenvolvimento do projeto.

3. Por uma base de dados

Há um grande interesse internacional no desenvolvimento de bibliotecas de objetos para apoiar o uso do BIM [4].

Estas *bibliotecas de objetos* referidas por Duddy *et al* compõem-se por objetos digitais, definidos pela sua forma e função, para projeto. Estes, aproximam-se do que pode ser um acervo a fazer parte de um Arquivo de Projeto de Arquitetura. Por a definição de biblioteca de objetos ser mais abrangente e não se associar diretamente a BIM, não sendo conhecida outra definição, propõe-se DIM – Database Information Modelling – numa perspetiva de definir o acervo de projeto que se compõe de elementos para uma metodologia dentro da corrente BIM, como BEM, templates e exemplos de espaços desenvolvidos para modelos integrados.

DIM associa a representatividade formal à composição técnica e a sua criação não dispensa uma margem mimética, necessária para prever imponderáveis. Desenvolve-lo, deve envolver o conhecimento da solução tradicional, adaptada às circunstâncias da metodologia utilizada. Este, deve ter as suas correspondências alinhadas com as do template, para que a informação, tanto escrita, como geométrica, se associe da forma pretendida a esses modelos.

A informação selecionada, após o levantamento, pode apresentar indicações de como pode ser pensada a estrutura de composição para DIM, sendo possível pensar-se numa organização que parte das classes de famílias e famílias de objetos onde se organizam os ficheiros de BEM, de maneira a que os grupos fiquem cada vez mais restritivos [Figura 3].

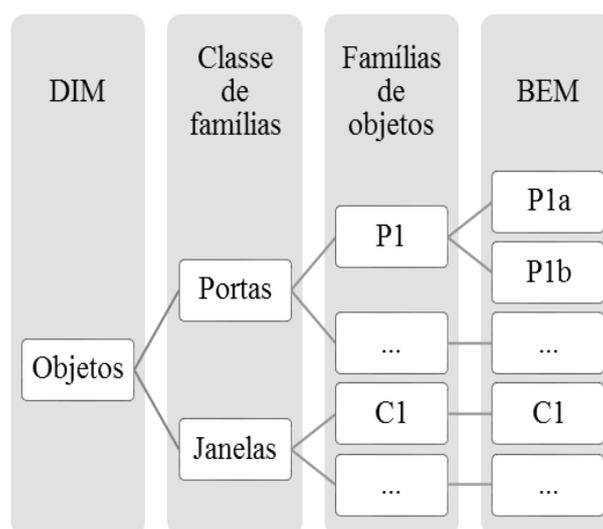


Figura 3: Organização de um DIM.

3.1 Da modelação de BEM

Este princípio de desenvolvimento, baseando-se nas indicações fornecidas pela informação, também se podem transpor para BEM, seguindo o processo hierárquico de posição, a partir das partes em contacto com a parede, até ao interior do objeto estudado.

O seu desenvolvimento deve partir de um ponto de origem que oriente a navegação dentro do espaço digital, de forma a servir como referência para a sua própria rotação ou cópia, que pode ser o seu centro geométrico, um vértice, ou outro.

A partir deste ponto, é necessário ter controlo sobre as massas e, neste sentido, pode-se tomar medidas que funcionem de forma auxiliar para regularização da composição. Para isso, podem ser utilizados eixos orientadores das geometrias, funcionando como o elemento que aproxima o funcionamento entre as instâncias que compõem os tipos de objetos. Estes, são elementos de visibilidade opcional, a utilizar para auxiliar o processo de modelação, ao qual são associadas as faces das massas que estão em contacto entre si ou no mesmo plano.

Com estes eixos, torna-se mais fácil utilizar parâmetros que funcionam como o veículo para controlar as várias formas de cada tipo de objeto. Nestes, é indicada uma pretensão, que despoletará uma ação, através de cotas parametrizadas que, segundo estes casos de estudos, se organizam em três tipos: ora por paralelismo – distância entre si, refletindo-se na altura, largura, profundidade; ora por ângulo – a partir de um ponto de convergência – ou repetição – número de instâncias pretendidas em linha –. Em situações mais avançadas, pode-se verificar uma indicação de um parâmetro que controla a definição de outros parâmetros que recebem a informação indicada neste. A conjugação de parâmetros dentro de um BEM deve ser controlada de forma a manter a lógica coletiva, tendo cuidado com desacordos.

Os elementos de modelação são representados por ferramentas com várias funções a partir de formas 2D, que são tratadas por extrusão com medida ou percurso, por rotação para um objeto circular simétrico e por união de percurso ou de arestas entre perfis.

Entre as variações de medidas, que correspondem à criação de novos tipos de objetos e a necessidade de criar uma nova família de objetos, a criação de parâmetros de visibilidade de ocultação de informação gráfica ou escrita permite mais alternativas para a sua utilização.

No final da modelação, é acrescentada a informação escrita reconhecida, como descrição que acompanha os desenhos, indicações do seu autor, o título da obra, entre outras [Figura 4].

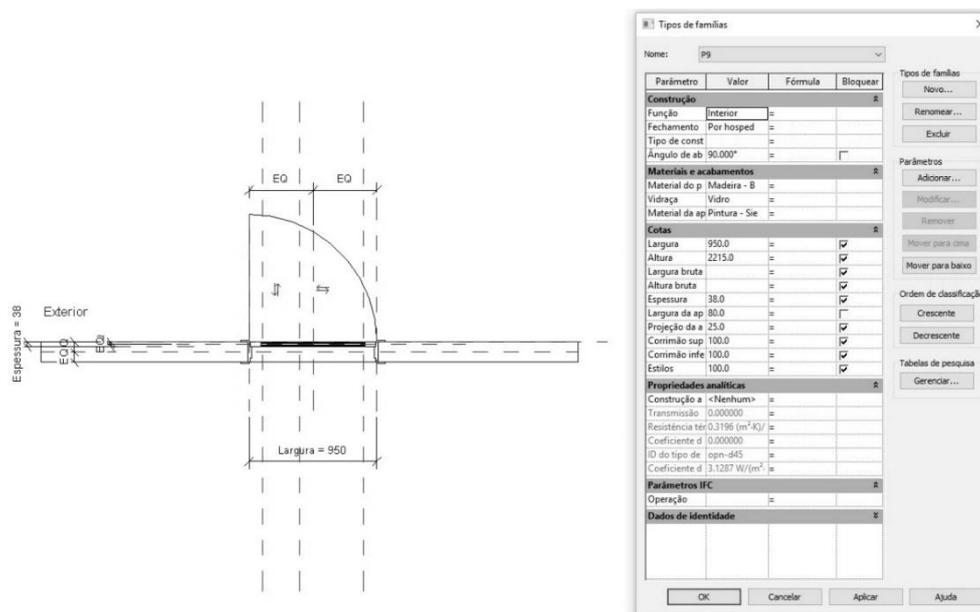


Figura 4: Exemplo de tratamento da informação dentro da classe correspondente [5].

3.2 Especificações de aberturas em paredes exteriores e interiores

Para um DIM associado a projeto de Arquitetura, poderiam ser estudados vários casos de elementos. Aqui, opta-se por estudar as aberturas em paredes interiores e exteriores de um edifício, dada a sua importância na definição da forma, função e relação entre os espaços de que fazem parte, abordando especificidades no tema do desenvolvimento de BEM.

Para o processo de modelação, deve-se ter em conta o desenho da abertura do vão para a forma como podem ser trabalhadas as posições de acordo com o funcionamento, pelo que se deve criar um sistema que possibilite a colocação em qualquer uma das posições desejadas. No caso de aberturas do interior, é espectável esperar tanto as duas posições – à esquerda ou direita – como as duas direções de abertura – de entrada ou saída de espaços –. No caso de aberturas do exterior, verifica-se, como no anterior, as duas posições de abertura – à esquerda ou direita –, sendo que, para a direção, apenas para um dos lados – ou interior ou exterior –.

Tanto para paredes exteriores como interiores, deve-se considerar a colocação da porta de acordo com a face da parede, criando um sistema que possibilite alinhamentos ou afastamentos de forma a que a sua colocação seja mais rápida e precisa.

Com as ferramentas apresentadas anteriormente, são desenhadas as peças que compõem o objeto, como a folha da porta, moldura, vidro, aro, entre outros. Para isso, deve-se ter em conta

que a dimensão de BEM pode sobrecarregar o modelo integrado, tornando o modelo pouco operativo. Assim, de forma a não sobrecarregar o BEM, pode-se evitar modelar elementos de menor dimensão – parafusos, entre outros – que possam não ter expressão para as escalas usadas na representação gráfica dentro do modelo integrado.

Para além da composição visível, pode verificar-se a necessidade de modelar os elementos com função técnica invisível – ex.: pré-aro – para utilizar na fase de pormenorização, a acrescentar a BEM, que deixam essa alternativa em aberto. Para os exemplos que não têm que ter representação tridimensional, como informações de função ou a direção da abertura, por exemplo, podem ter representação gráfica bidimensional, para que sirva a compreensão da utilização do objeto em causa sem sobrecarregar o ficheiro.

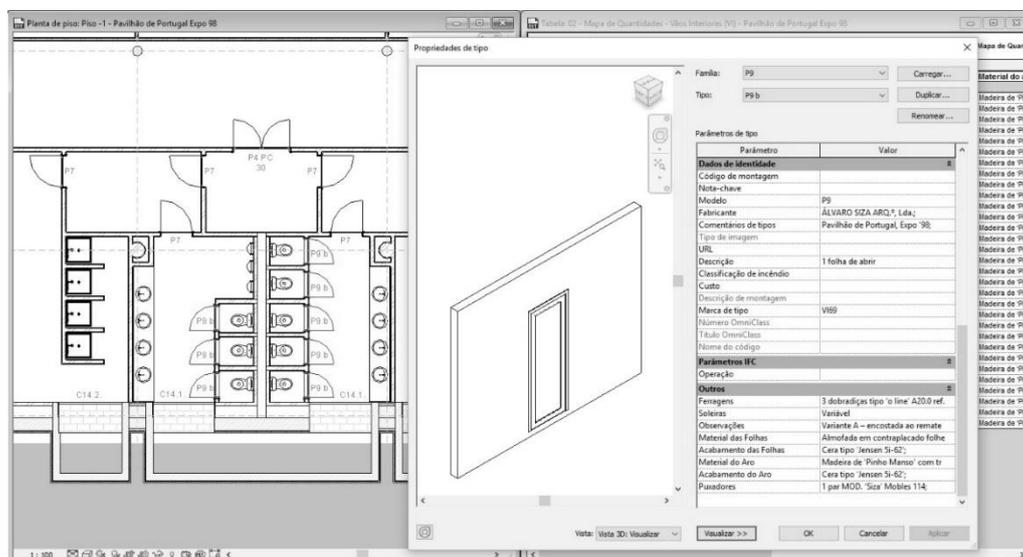


Figura 5: Exemplo de tratamento de informação de BEM no Modelo Integrado [5].

Durante o processo de modelação devem ser realizados testes de funcionamento dentro do modelo integrado, para testar a representação com o conjunto [Figura 5].

Estes testes, como se colocam numa fase intermédia entre o início da modelação e a sua conclusão, são importantes para revelar as fragilidades próprias de cada BEM, a serem tidas em conta nas fases seguintes, e para que sejam criadas soluções que, quando este for usado de forma definitiva, não se verifiquem.

Da realização para estes casos de estudo, são apresentados alguns dos desacordos mais verificadas ao longo deste processo. Assim:

- nas peças de contacto com a parede é necessário ter atenção se mantêm a sua própria espessura, se a profundidade pretendida acompanha a espessura da parede e se os seus recortes para encaixe e faces de contacto com a parede mantêm a posição pretendida;
- nas peças internas é necessário verificar se mantêm a sua própria espessura e se as suas faces mantêm a posição de relação pretendida com outras peças.

- no caso de ter mais que uma folha, seja a manter o número de folhas com ou sem variação do tamanho, seja a aumentar ou diminuir o seu número com ou sem variação do mesmo, independentemente da forma de funcionamento, deve-se ter atenção se mantêm a proporcionalidade entre medidas individuais e de conjunto, os contactos entre folhas, bem como se a definição de contacto com a parede é a pretendida.
- nos parâmetros que controlam os eixos é necessário ter atenção se há mais que um com a mesma função ou se o controlo que executam entra em conflito com outros.

Para todos os objetos é necessário ter atenção se o desenho da abertura corresponde à pretensão exigida e se o puxador mantém a sua altura a partir do piso e a sua proximidade a partir do lado de abertura [Figura 6].

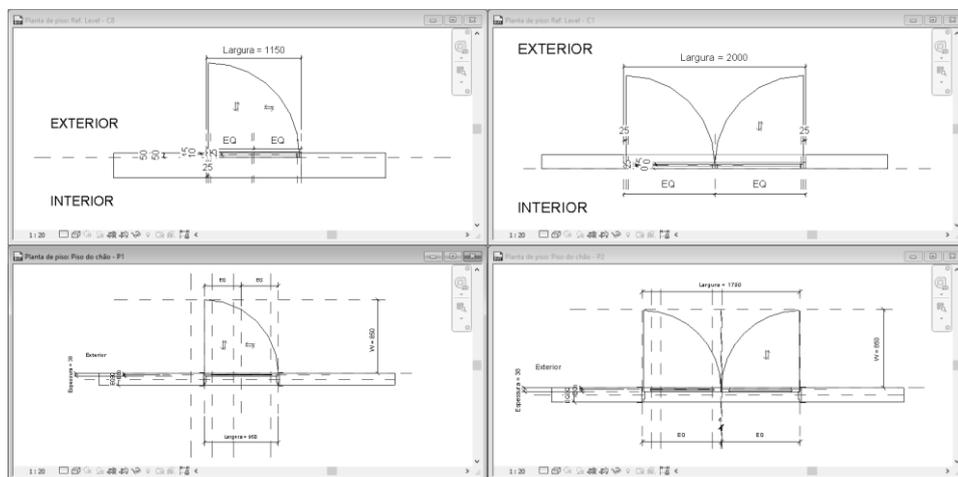


Figura 6: Tratamento da informação: cima – paredes exteriores; baixo – paredes interiores.

Assim, este DIM de vãos de abertura está pronto a ser utilizado e atualizado em ambiente prático de processo de modelação de projeto e, ainda, de ser reutilizado ou transformado, para outros projetos.

4. Considerações e trabalhos futuros

Iniciativas de bibliotecas de produtos são conduzidas por organismos nacionais, fabricantes e empresas privadas que veem o seu potencial [4].

Estas *iniciativas* revelam a importância de se investigar este tema que contribui para operacionalizar a realização, de uma forma mais organizada e dinâmica, para novos procedimentos ao serviço do utilizador, de forma a serem implementadas e difundidas.

A criação de um DIM valida a metodologia de conceção assente em objetos de construção arquitetónica se cada objeto integrar uma listagem da informação técnica e administrativa correspondente, desde a fase de conceção à aplicação. Este, na organização proposta, segundo a investigação realizada, revela menos conflitos e serve como princípio para estruturar a informação dos dados.

Do desenvolvimento de vão de abertura em paredes interiores e exteriores, verifica-se que não têm que substituir processos anteriores, mas, sim, completa-los, integrando-se de uma forma progressiva, capaz de incluir mais valências e fazer com que o arquivo se torne mais operativo. Trabalhar com estes permite que as pessoas envolvidas em projeto sejam colocadas no centro do tema por perderem menos tempo com trabalhos repetitivos que, de outra forma, teriam que ser elas a fazer.

Neste sentido, para os casos, pode-se verificar a necessidade de ser desenvolvido mais que um BEM para alguns casos, devido a variações de elementos de composição, bem como mudanças no contacto com a parede e na associação à camada respetiva, sendo necessário tomar iniciativas para que a informação integrada seja compreendida nas tabelas de quantidades, ora com novas interligações, ora com desunião, das informações automaticamente validadas. Também, nestes, deve-se realizar testes do seu desempenho dentro de um modelo integrado, dadas as particularidades de cada objeto, e, ainda, a quantidade e tipo de informação, que pode incluir, devem ser trabalhados de acordo com as necessidades pretendidas, pois, esta, quando for transferida para o modelo integrado, será repetida quantas vezes forem necessárias, o que pode aumentar a tamanho do ficheiro e, por consequência, reduzir a sua operabilidade e diminuir as suas potencialidades.

Assim, destes casos, verificou-se que há uma síntese de processos por intermédio de modelos integrados de Arquitetura recorrendo a BEM de vãos de abertura.

Depois desta investigação, para futuro, a linha manter-se-á em processos de projeto associados a metodologias de interdisciplinaridade, seguindo para análise de procedimentos associados a outros objetos reconhecíveis em projeto de Arquitetura. Será analisada a relação entre o template utilizado para o desenvolvimento de projeto e os BEM, de maneira a perceber a importância da sua definição na sua utilização para o projeto. E, ainda, serão iniciadas análises de implementação em empresas, bem como outras dinâmicas, para relacionar a investigação individual com a aplicabilidade e utilização em prática coletiva.



Figura 7: Visualização tridimensional de portas e janelas num Modelo Integrado [5].

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, e K. Liston, *Manual de BIM*. São Paulo: Bookman Editora Ltd., 2014.
- [2] SPAutores 1925, «Álvaro Siza Vieira | Prémio Vida e Obra de Autor Nacional», RTP, Portugal, 2015.
- [3] E. L. Kennedy, *CAD: Dibujo-Deseño-Gestion de Datos*. Barcelona: Editorial Gilli, S. A., 1998.
- [4] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, e J. Kiegeland, «A platform-independent product library for BIM», em 30th CIB W78 International Conference, 2013.
- [5] R. S. Vieira, «Progresso no Arquivo de Projeto: Acesso pelo BIM», Faculdade de Arquitetura da Universidade do Porto, Porto, 2016.

OTIMIZAÇÃO EVOLUTIVA DE FORMA PARA SUSTENTABILIDADE, CRUZANDO O BIM E A MODELAÇÃO ALGORÍTMICA

Pedro Santiago ⁽¹⁾

(1) Universidade Fernando Pessoa, Porto

Resumo

As áreas urbanas consolidadas apresentam geralmente um desafio para o arquiteto relativamente às decisões de desenho sustentável a implementar. O local, a orientação e a envolvente construída constituem um compromisso para os sistemas passivos e ativos, reduzindo as possíveis medidas de otimização, deixando o arquiteto com incertezas quanto à eficiência do edifício. O uso de tecnologias de BIM permite a medição e monitorização dessas decisões de desenho, no entanto, a sua otimização consiste num processo de tentativa e erro, tornando-o lento e conduzindo a uma limitação significativa. Este artigo discute as potencialidades do uso de algoritmos evolutivos para gerar soluções otimizadas para a orientação solar da fachada. A inter-conectividade em tempo real do sistema BIM e de programas de modelação algorítmica representa uma vantagem para a diversidade e rapidez nas decisões de desenho e projeto sustentáveis.

1. Introdução

Entre as várias estratégias para melhorar a eficiência energética na Europa, os edifícios devem ser considerados como um dos principais objetivos, uma vez que são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia na Europa. As atuais diretivas de eficiência energética nos edifícios da UE (Diretivas 2002/91 / CE, 2010/31 / UE, Nearly Zero Energy Building) impõem novas exigências na construção e renovação de edifícios com o objetivo de criar um parque edificado NZEB. Nessa premissa a abordagem ao ato de projetar terá que recorrer a estratégias informadas e fundamentadas em dados concretos e realistas. A adoção de estratégias inteligentes será essencial para otimizar envolventes edificadas podendo começar desde o fator forma com a finalidade de minimizar o consumo de energia garantindo em simultâneo o conforto dos seus ocupantes. No contexto da geração própria de energia a partir de fontes renováveis, no sentido de atingir o ponto mais próximo do balanço energético nulo ou 0, gera-se um problema antagónico de maximização de ganhos solares (a fonte de energia mais abundante) nos locais de implementação dos sistemas geradores, em paralelo com a minimização de ganhos nos períodos mais quentes do ano.

Os ganhos solares podem contribuir positivamente para o desempenho de energia térmica do edifício, na forma de ganhos passivos, ou negativamente, no caso de necessidade por falta de exposição ou descontrolo formal e material. A radiação solar direta recebida pode aumentar o conforto solar no interior do edifício durante os meses frios e em simultâneo diminuir a necessidade de aquecimento. No entanto, durante o verão ocorre o efeito oposto, uma vez que a radiação solar pode causar sobreaquecimento e, assim, aumentar a necessidade de arrefecimento.

Se esta situação é complexa num contexto isolado do edifício, o contexto urbano, a partir do ambiente construído envolvente representa um desafio maior. Se considerarmos que metade da população mundial vive em cidades que consomem coletivamente três quartos dos recursos globais, com previsões do seu aumento para três quartos até 2050 [1], é imperativo a compreensão e criação de estratégias para minimizar o consumo de energia neste ambiente concreto. A abordagem de maximizar a utilização de energia solar ambiente - seja para a conversão ativa usando coletores térmicos e / ou fotovoltaicos solares ou por estratégias passivas bioclimáticas, permitem reduzir a necessidade de energia para aquecimento e iluminação. Para trabalhar com este objetivo, a modelação computacional direcionada à disponibilidade de radiação solar pode ser uma ferramenta de apoio às decisões de desenho para arquitetura e urbanismo. No entanto a probabilidade de encontrar uma solução ideal para a forma geométrica do edifício pelo método manual de tentativa e erro é extremamente pequena.

É possível fazer cálculos para a determinação da envolvente solar em papel utilizando os dados do azimute solar e de elevação a par das alturas chave do ano. No entanto, o cálculo no papel é um processo longo e pouco preciso para ambientes urbanos. No entanto, hoje em dia muitos programas de desenho assistido por computador e paramétricos integram ferramentas de simulação ambiental que incluem a possibilidade de avaliar envolventes solares de forma automática. É um procedimento simples que requer pouca informação externa, onde se encontram por exemplo a localização, volumes envolventes, planos que definam a área a avaliar e períodos de análise. No entanto este sistema permite apenas avaliar o potencial da envolvente

solar, sendo o processo de otimização manual, muitas vezes baseado na experiência e conhecimento adquirido do projetista, limitando o leque de soluções a estes fatores e ao tempo disponível para o desenho. Dada a complexidade geométrica e volumétrica do ambiente urbano a par dos objetivos do estudo propõe-se um método alternativo e mais eficiente.

Propõe-se um método para gerar envolventes solares que consideram requisitos multidirecionais de acesso a ganhos solares diretos em ambientes urbanos complexos. Este método foi desenvolvido para a avaliação das potencialidades de construção em áreas consolidadas existentes na cidade do Porto, integrando cálculos de acesso direto solar a partir de simulações computacionais ambientais, geração de envolventes solares usando desenho paramétrico e plugin de otimização. O modelo urbano a integrar a proposta foi construído num programa BIM, o Archicad que permite a conexão em tempo real com a ferramenta de programação visual Grasshopper onde foi desenvolvido o algoritmo. A ferramenta de simulação ambiental utilizada para o cálculo das horas de exposição solar direta no Grasshopper é o Ladybug [2], com base no seu componente sun-path Radiance, uma ferramenta validada para simulação de radiação solar [2]. O plugin de otimização utilizado é o Galapagos [3] que permite aplicar os princípios de otimização evolutiva no Grasshopper.

2. Metodologia

O método descrito é aplicado a um edifício situado num contexto urbano consolidado da cidade do Porto. A envolvente direta representa dois edifícios residenciais com 4 pisos voltados para a rua de acesso e 6 pisos voltados para o logradouro. Ambos apresentam coberturas inclinadas de duas águas. A orientação das parcelas é sobre o eixo nordeste sudoeste, representado uma orientação pouco favorável do ponto de vista dos ganhos e controlo solar, dada a predominância de sol com um angulo baixo correspondente a nascente e poente. O número de horas de exposição na fachada voltada para a rua é escasso por dois fatores: orientação e envolvente direta. A fachada posterior é a que apresenta maior potencial a par da cobertura inclinada. A área da implantação é de aproximadamente 175 m² sendo que o alinhamento com as empenas respetivas permite alguma liberdade formal dado o desfasamento de limites no logradouro e nas coberturas.

Numa primeira fase foi realizado um estudo do potencial solar do local no período de um ano. O desenho evidente ou tradicional de concordâncias de alinhamentos e geometria gerou um volume que foi também submetido a análise para referencia, base e comparação de resultados.

As superfícies e volumes gerados em ambiente BIM são exportados para o Grasshopper onde são efetuadas as análises a partir da construção de um algoritmo. Qualquer alteração pode ser reintroduzida no Archicad, o que permite o acrescentar de informação e não a sua perda ao longo do processo.

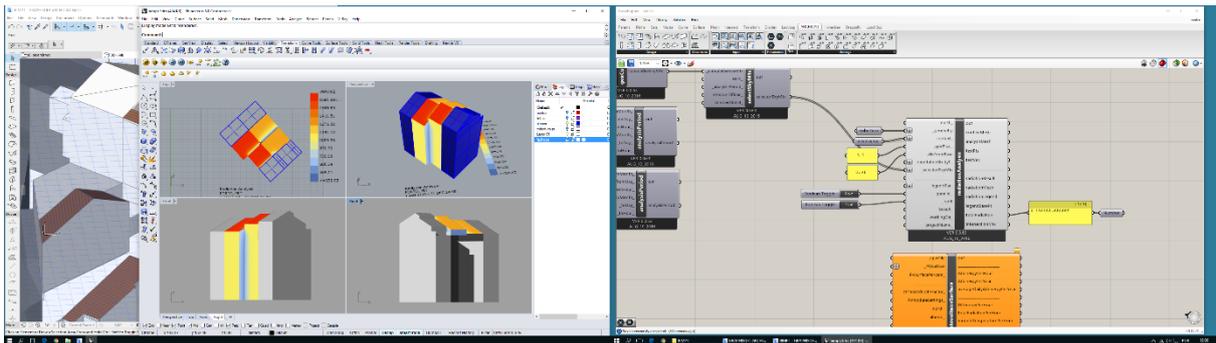


Figura 1: Análise do volume base.

Assim consideraram-se dois períodos do ano correspondentes à estação de verão e às restantes estações com o objetivo de obter o máximo de exposição solar nos meses temperados e frios e ter a situação oposta nos meses quentes do ano. A solução incidirá única e exclusivamente no fator forma do edifício proposto.

O algoritmo permite controlar pontos manipuláveis a partir de valores variáveis dentro de um limite e direção. A união destes últimos gera linhas cuja união gera por sua vez superfícies. Uma vez que o sistema não é estático permite um grande grau de liberdade e combinações dentro dos alinhamentos impostos pelas normas urbanísticas. Este sistema é repetido na cobertura, permitindo a geração de toda a pele do edifício de acordo com as necessidades e quadrantes solares respetivos. No final essas mesmas superfícies serão conectadas com os elementos nativos do Archicad ainda como elementos do algoritmo permitindo a simbiose dos sistemas de trabalho.

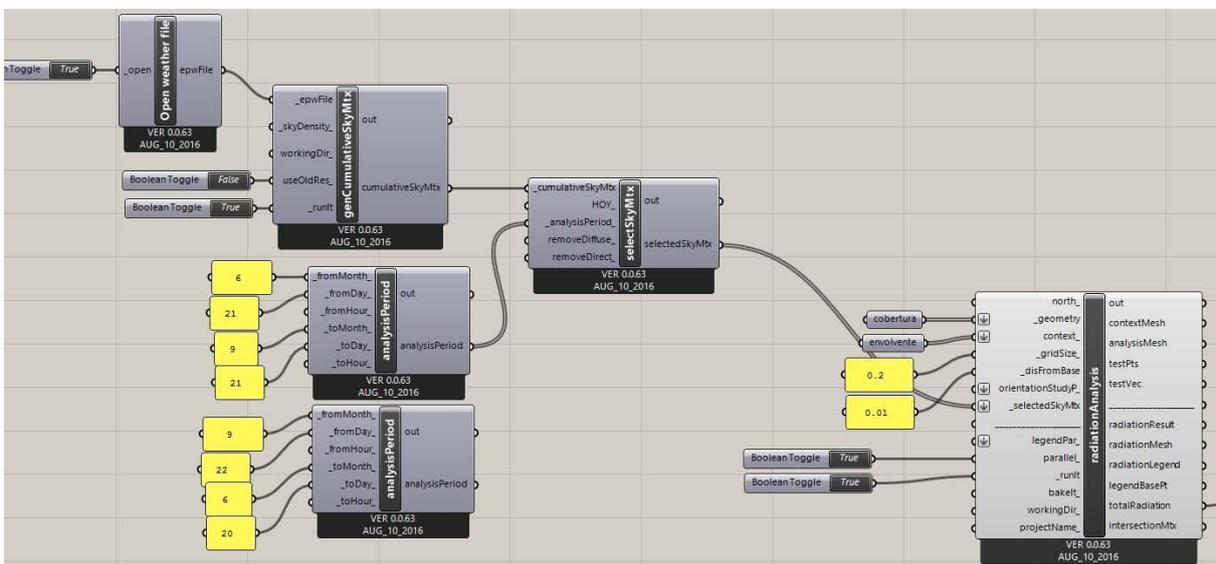


Figura 2: Períodos de análise.

3. Eficiência versus inspiração

Os problemas técnicos ou de eficiência podem ser encarados ou mesmo interpretados como oportunidades para melhorar a qualidade arquitetónica de um projeto. A eficiência é cada vez mais uma exigência, principalmente quando se relaciona com questões de consumo de energia e conforto. Um edifício dependente de sistemas mecânicos tem gastos energéticos e manutenção constante. A eficiência depende da abordagem ao desenho desde os primeiros passos do processo de projetar. Nem sempre esta abordagem é compatível com os elementos formais resultantes de análises culturais e vontades de materialização a partir de ideias. No entanto, quando esse processo evolui ou é desenvolvido em paralelo tem menos probabilidade de entrar em conflito.

Muitas vezes a busca pela forma passa por tentativas de representação onde se afina a partir do desenho e da maquete a busca pelo resultado fruto da inspiração. Com isto pretende-se apontar a eficiência como elemento gerador de soluções formais interessantes e funcionais.

Os algoritmos genéticos ou evolutivos são inspirados na teoria de Darwin relatada no seu “A origem das espécies”. Em síntese extrema, Darwin mostra que na natureza os indivíduos competem pela sua própria sobrevivência, e dentro das populações, há uma enorme variação de indivíduos: as diferentes características dos indivíduos são herdadas através de gerações. O importante é que nem todos têm as mesmas oportunidades para transferir os seus genes ou características para as gerações seguintes: os seres mais adaptados ao seu ambiente local têm mais oportunidades de sobreviver e, portanto, de se reproduzir. Desta forma, eles transmitem os seus genes sucessivamente às gerações seguintes, e, portanto, as populações evoluem adaptam-se cada vez melhor ao ambiente.

Os algoritmos evolutivos baseiam-se nesta seleção natural criando grupos de genes que são testados e posteriormente cruzados entre os mais adaptados gerando soluções otimizadas. Um processo típico do algoritmo evolutivo inclui a seleção, cruzamento e mutação. Em primeiro lugar, são gerados aleatoriamente uma série de pontos como população inicial. Uma avaliação é então conduzida para avaliar a aptidão de cada indivíduo. Os indivíduos mais adequados à solução ideal são escolhidos como pais da próxima série ou geração por cruzamento e mutação. As gerações seguintes passam pelo mesmo processo repetidamente até ao término do processo ou algoritmo. Em comparação com a metodologia de pesquisa direta, o algoritmo evolutivo tem uma velocidade de cálculo mais elevada, maior precisão e uma adaptabilidade mais forte. Com base nos seus diferentes detalhes de implementação, os algoritmos evolutivos foram classificados como genéticos, neuro-evolutivos, de otimização por enxame de partículas e outros tipos.

Do ponto de vista arquitetónico as soluções são extremamente variadas dentro de valores muito semelhantes, no entanto formalmente podem apresentar características muito interessantes pois não conhecem barreiras nem discriminam hipóteses.

A utilização de algoritmos evolutivos para melhorar aspetos energéticos e de conforto interior em edifícios apresenta várias vantagens já testadas e implementadas em vários casos. No campo da redução de necessidades de climatização Caruso *et al.* recorreram ao algoritmo híbrido

CMA-ES/HDE em conjunto com o programa Radiance para explorar a forma edificada ótima e a minimização do consumo anual de ar condicionado. A partir de um método de exploração de várias formas e sistemas concluíram a eficácia desta abordagem e da incorporação destes algoritmos e princípios. As soluções formais foram obtidas depois de 10.000 a 20.000 avaliações com um número de variáveis entre 18 e 26, tendo concluído que a parametrização Taylor conduz às melhores soluções. [5] No que respeita a otimização da radiação solar em edifícios e formas geométricas urbanas, quer para soluções ativas como passivas Kampf *et al.* atingiu um incremento de 20% a partir de simulações com recurso ao programa Radiance em conjunto com o algoritmo evolutivo híbrido CMA-ES/HDE, concluindo que o algoritmo conduziu a boas soluções de forma consistente e que os resultados formais são muitas vezes pouco intuitivos revelando inovação formal. [6] Huang *et al.* concluíram que os algoritmos generativos são os mais populares pela sua versatilidade, velocidade e precisão, principalmente quando envolvem problemas complexos. Os algoritmos de objetivo único são os dominantes [7].

O AE e suas modificações são consideradas as melhores escolhas para resolver problemas de otimização de desenho de edifícios. Já em 2002, Coley e Schukat tentaram introduzir AE no processo de desenho. Construíram um modelo térmico muito simples em que foram consideradas apenas cinco variáveis, onde aplicaram o AE para procurar as soluções com o mínimo consumo anual de energia. Os resultados foram satisfatórios, e foram geradas e identificadas um grande número de soluções ótimas [8]. Em 2003, Wang *et al.* apresentou um estudo de caso em que o AE foi aplicado para minimizar a exergia do ciclo de vida. Em 2005, Wang *et al.* aplicou um AE para a otimização de um edifício de forma retangular com uma área fixa. Considerou novamente a exergia do ciclo de vida como objetivo, e tentou encontrar a solução ideal para a orientação do edifício e para os materiais de construção [9, 10]. Mais tarde, Wang *et al.* resumiu os estudos de otimização anteriores, e afirmou que, apesar de todos estes estudos aplicados a AE, as metodologias que utilizadas não tinham versatilidade. A abordagem de otimização iria falhar quando aplicada a outro caso. Wang *et al.* sugeriu o desenvolvimento de uma estrutura orientada ao objeto, para que o método de AE pudesse ser facilmente adotado com simulação numérica dentro de uma interface muito mais amigável. Esta abordagem poderia melhorar significativamente a eficiência do processo de otimização [11]. Com a abordagem desenvolvida, Wang *et al.* realizou um estudo sistemático de considerar variáveis de projeto de fachada, incluindo forma, estrutura, tipo de material e dispositivo de sombreamento [12].

Wright e Mourshed conceberam um estudo interessante para testar o comportamento estocástico e a fiabilidade do AE na otimização da relação janela/parede na envolvente de um edifício. Dividiram a fachada em células retangulares pequenas em que cada uma poderia ser dotada de material opaco ou de vidro. Correram a otimização baseada em AE várias vezes, e descobriram que, embora a distribuição de células de envidraçadas fosse diferente para cada solução otimizada, o número de células de vidro permaneceu constante [13]. Tuhus-Dubrow e Krarti conduziram uma otimização na forma da envolvente de um edifício residencial nos EUA. Escolheram a minimização do consumo de energia como objetivo. Os resultados mostraram que, embora existissem algumas diferenças no consumo de energia entre as diferentes formas de envolvente, estes desvios estavam dentro de 0,5%. Estes autores afirmaram que outras variáveis, como orientação ou materiais de construção podem afetar o desempenho energético do edifício de forma mais significativa, e, portanto, devem receber mais atenção [14]. Sahu *et*

al. realizou uma otimização de projeto baseado em AE com incidência na forma, orientação e materiais da envolvente do edifício. Selecionou a minimização do consumo de energia como objetivo e fez uma validação detalhada com a ferramenta de simulação TRSYS. Descobriu que o clima teve um efeito na precisão da otimização. Se a situação de carga isolada para o espaço era complexa, com uma combinação amplamente variável de condições de aquecimento, de arrefecimento e de humidade, o grau de erro seria maior [15]. De Luca recorreu a um algoritmo evolutivo dentro do sistema do Grasshopper com recurso ao plugin de análise Ladybug e aos algoritmos evolutivos do plugin Octopus para otimizar a envolvente edificada possível dentro dos constrangimentos legais locais de ensombramento entre volumes edificados. O processo atingiu valores de otimização de 60% com volumes possíveis de construção superiores [16]. Jonathan A. Wright *et al.* recorreu ao algoritmo evolutivo multi-objectivo NSGA-II para otimizar a percentagem de área envidraçada na fachada de um edifício para minimizar os gastos energéticos necessários a iluminação e climatização. O sucesso da investigação foi uma redução significativa no consumo de energia com soluções pouco convencionais do ponto de vista do desenho [17]. Mais recentemente, Figueiredo *et al.* conduziu uma investigação de otimização energética com aplicação de algoritmos evolutivos em Portugal onde geraram um grande leque de soluções otimizadas dentro do contexto construtivo local para várias regiões do país [18].

4. Resultados

A solução base apresenta uma radiação total anual de 498482 kw/h distribuídos por 164472 kw/h nos três meses de verão e os restantes 334010 kw/h pelos restantes meses do ano. Apesar destes resultados absolutos pode-se verificar pela geometria do volume a presença de algumas áreas em sombra, o que cria pouca uniformidade na distribuição da energia solar.

A solução proposta pelo resultado dos cálculos do algoritmo apresenta uma radiação total anual superior, o que poderá à partida conduzir a uma conclusão negativa do processo. No entanto dos 508609 kw/h anuais, a sua distribuição é de 153190 kw/h nos meses quentes e os restantes 355419 kw/h nos meses frios. Assim temos menos incidência solar no verão e maior ao longo do ano. O potencial energético é mais elevado e distribuído de acordo com as necessidades do edifício.

Tabela 1: Comparação de resultados.

	Radiação solar meses quentes	Radiação solar meses frios	Radiação anual total
Caso base	164472	334010	498482
Caso proposto	153190	355419	508609
Caso 3	- 11 282	+ 21 409	+ 10 127

O fator forma do edifício foi alterado provocando uma distorção na cobertura e na fachada permitindo o aumento de insolação nos planos inclinados do telhado a par de um ensombramento natural na fachada dada a inclinação subtil gerada pela manipulação dos pontos geradores.

A nova envolvente edificada apresentou uma configuração mais favorável sem comprometer a área de implantação ou o volume total de construção.

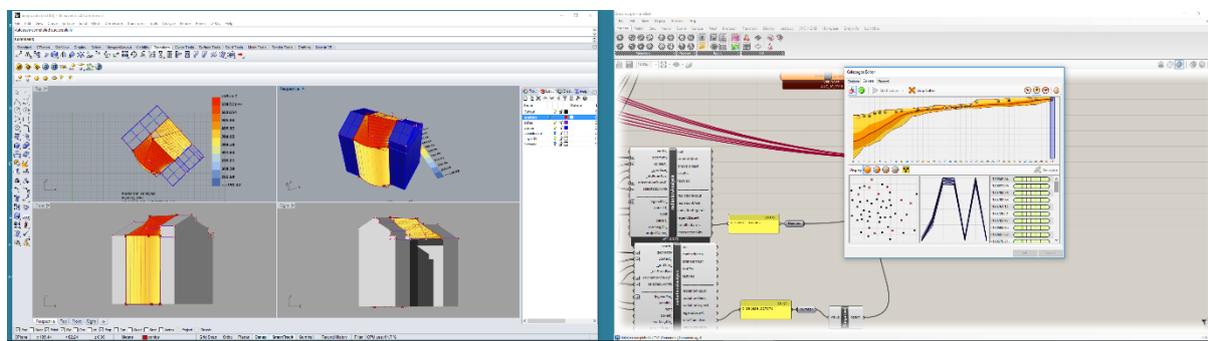


Figura 3: Primeiras fases do processo de otimização evolutiva.

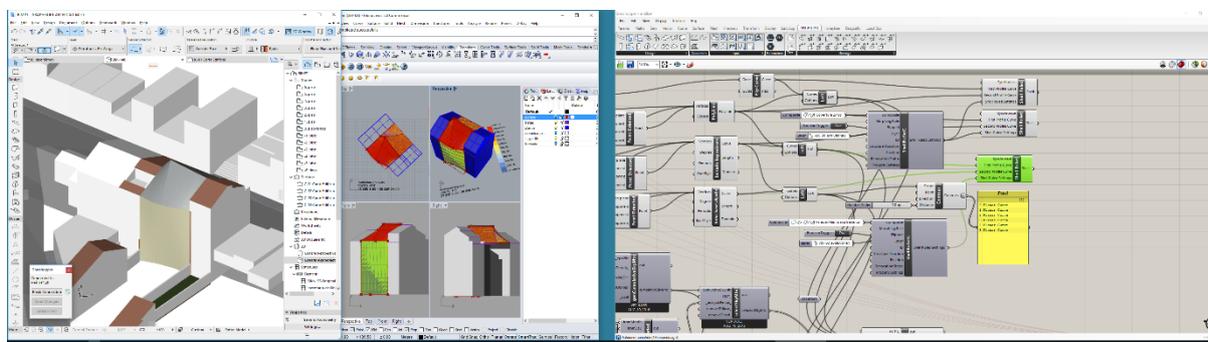


Figura 4: Fluxo de trabalho entre todos os programas envolvidos.

5. Conclusões

As técnicas e sistemas de otimização utilizados atualmente apresentam várias limitações. O desenho e o projeto informado por dados implica muitas vezes o recurso a vários programas com metodologias muito distantes que criam alienação dos conceitos iniciais. A migração de informação entre programas provoca perdas e distorções de resultados. O método proposto tira partido das capacidades de vários programas sem sair do programa base, neste caso o ArchiCAD. A metodologia BIM não permitia de forma isolada incorporar as vantagens e capacidades de geração de soluções possibilitadas pelos programas de construção de algoritmos paramétricos e generativos, a par de todos os subprogramas acoplados.

A vantagem do método proposto é a permissão em tempo real, fator muito importante no desenvolvimento do processo de trabalho na fase inicial do projeto, de constituir um sistema de trabalho que passa pelo processo de implementação do conceito, respetiva análise e processos de otimização de forma, neste caso com recurso a processos evolutivos. Os exemplos apresentados recorrem sempre a ambientes digitais externos ao programa de conceção base, o que compromete sempre a agilização de processos de pensamento e análise, a par de erros de importação exportação e por vezes perda de dados. Esta proposta é integral, dinâmica e consegue potenciar as vantagens de ambos sistemas. O resultado é de base mais vantajoso,

permitindo também o trabalho com formas mais adaptadas sem comprometer outros fatores e condicionantes.

Referências

- [1] United Nations, *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*, 2004.
- [2] Sadeghipour, M. and Smith, A., Ladybug: a parametric environmental plugin for Grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design, *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 2013, p. 3128-3135.
- [3] Yi, Y. K. and Hyounsub, K., Agent-based geometry optimization with Genetic Algorithm (GA) for tall apartment's solar right, *Solar Energy*, vol.113, 2015, p. 236-250.
- [4] G. Zemella, A. Faraguna, *Evolutionary optimization of façade design, a new approach for the design of building envelopes*. Springer, 2014.
- [5] Caruso G., Kampf J.H., *Building shape optimisation to reduce air-conditioning needs using constrained evolutionary algorithms*, *Solar Energy* vol. 118, 2015, p. 186–196
- [6] Kampf J.H, Robinson D., *Optimisation of building form for solar energy utilisation using constrained evolutionary algorithms*, *Energy and Buildings* vol. 42, 2010, p. 807–814
- [7] Huang Y., Niu J., *Optimal building envelope design based on simulated performance: History, current status and new potentials*, *Energy and Buildings* vol. 117, 2016, p. 387–398
- [8] D.A. Coley, S. Schukat, *Low-energy design: combining computer-based optimisation and human judgement*, *Build. Environ.* Vol. 37, 2002, p. 1241–1247.
- [9] W. Wang, H. Rivard, R.G. Zmeureanu, *Optimizing building design with respect to life-cycle environmental impacts*, in: *Proceedings of the building simulation*, Eindhoven, Netherlands, 2003.
- [10] W. Wang, R. Zmeureanu, H. Rivard, *Applying multi-objective genetic algorithms in green building design optimization*, *Build. Environ.* vol. 40, 2005, p.1512–1525.
- [11] W. Wang, H. Rivard, R. Zmeureanu, *An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms*, *Adv. Eng. Inform.* Vol. 19, 2005, p. 5–23.
- [12] W. Wang, H. Rivard, R. Zmeureanu, *Floor shape optimization for green building design*, *Adv. Eng. Inform.* Vol. 20, 2006, p. 367–378.
- [13] J. Wright, M. Mourshed, *Geometric optimization of fenestration*, in: *Proceedings of the building simulation*, Glasgow, Scotland, 2009.
- [14] D. Tuhus-Dubrow, M. Krarti, *Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings*, *Build. Environ.* vol. 45, 2010, p.1574–1581.
- [15] M. Sahu, B. Bhattacharjee, S.C. Kaushik, *Thermal design of air-conditioned building for tropical climate using admittance method and genetic algorithm*, *Energy Build.* Vol. 53, 2012, p. 1–6.
- [16] De Luca F., *Solar Envelope Optimization Method for Complex Urban Environments*”, DOI: 10.3311/CAADence.1657
- [17] Wright J. A., Brownlee A., Mourshed M., Wang M., *Multi-objective optimization of cellular fenestration by an evolutionary algorithm*, 2014, *Journal of Building Performance Simulation*, 7:1, 33-51, DOI: 10.1080/19401493.2012.762808

- [18] Figueiredo A., Kämpf J., Vicente R., Passive house optimization for Portugal: Overheating evaluation and energy performance, *Energy and Buildings* vol. 118, 2016, p. 181–196

A-BIM: ALGORITHMIC-BASED BUILDING INFORMATION MODELLING

Sofia Feist ⁽¹⁾, **António Leitão** ⁽¹⁾

(1) Instituto Superior Técnico, Lisboa

Resumo

O Projeto Algorítmico (PA) é uma abordagem de design baseada em programação em que, ao invés de ser criado o modelo 3D do design pretendido, é criado um programa que gera o modelo 3D do design pretendido. Esta abordagem permite trazer grandes vantagens a todo o processo de design e de construção, incluindo, por exemplo, a produção de geometrias complexas e a automatização de tarefas e processos repetitivos que seriam muito morosos na modelação manual. Graças à sua natureza parametrizável, esta abordagem permite também a fácil e rápida exploração de alternativas ao modelo inicial.

Apesar destas vantagens, o PA tem sido pouco explorado em combinação com a metodologia *Building Information Modelling* (BIM). Ao combinar processos algorítmicos com a metodologia BIM surge uma nova abordagem de design baseada no desenvolvimento de programas que geram modelos BIM do design pretendido. A esta abordagem designamos *Algorithmic-based Building Information Modelling* (A-BIM).

Neste paper, definimos, exploramos e avaliamos o A-BIM num contexto arquitetónico. A partir de um caso de estudo, comparamos o A-BIM a uma abordagem BIM manual, e demonstramos que o A-BIM pode oferecer grandes vantagens à prática arquitetónica.

1. Introdução

Apesar das ferramentas de *Computer-Aided Design* (CAD), i.e., Desenho Assistido por Computadores, trazerem várias melhorias ao processo de design e de construção de edifícios, estas têm algumas limitações na mecanização de tarefas e na criação e manipulação de geometrias complexas. Estas limitações podem ser ultrapassadas através da introdução, na arquitectura, da programação e de processos algorítmicos.

O Projeto Algorítmico (PA) é uma abordagem de design baseada em programação que permite a geração de modelos 3D através de algoritmos. Usando esta abordagem, ao invés de ser criado o modelo 3D do design pretendido, é criado um programa que gera o modelo 3D do design pretendido. O PA promove a exploração em arquitetura, permitindo aos arquitetos abordar formas geométricas complexas difíceis de produzir usando meios manuais [1]. Para além disso, sendo o modelo gerado com PA tipicamente paramétrico, ao variar os parâmetros que controlam o modelo torna-se possível produzir rapidamente várias alternativas ao design. Finalmente, o PA permite a automatização de tarefas e processos repetitivos que consumiriam demasiado tempo e esforço se tivessem de ser executados manualmente.

Para tirar partido do PA, vários ambientes de programação têm vindo a ser introduzidos em ferramentas de design geralmente usadas por arquitetos, e.g., AutoCAD e Rhinoceros 3D, permitindo-lhes desenvolver programas que geram modelos nessas ferramentas. O Grasshopper [2] é um dos exemplos mais populares.

Apesar das vantagens do PA, esta abordagem tem sido pouco utilizada em combinação com o *Building Information Modelling* (BIM), uma metodologia de trabalho que traz várias vantagens ao processo de design e de construção de edifícios [3]. Esta combinação de processos algorítmicos com a metodologia BIM cria uma nova abordagem de design baseada no desenvolvimento de programas que geram modelos BIM, uma abordagem que denominamos *Algorithmic-based Building Information Modelling* (A-BIM).

Neste paper, definimos, exploramos e avaliamos o A-BIM no contexto arquitetónico. Através de um caso de estudo, comparamos o A-BIM com a abordagem BIM manual, e analisamos as diferenças. No final, avaliamos o A-BIM, explicando as vantagens e desvantagens de trabalhar com esta abordagem.

2. Algorithmic-based Building Information Modelling

O A-BIM é uma abordagem algorítmica para BIM que permite gerar modelos BIM através de algoritmos. Tal como no PA, o A-BIM oferece uma nova abordagem de projecto: ao invés de ser desenvolvido o modelo do design pretendido diretamente na ferramenta BIM, é desenvolvido o programa que vai gerar esse modelo na ferramenta BIM.

Semelhante a uma abordagem BIM manual, o modelo gerado através da abordagem A-BIM contém informação relevante para o projeto, sendo a intenção final simular digitalmente todo o processo de design e de construção do edifício. No entanto, ao contrário da abordagem manual, a origem desta informação é o programa que gera o modelo. Este programa, tal como um modelo BIM, pode ser partilhado e desenvolvido em paralelo entre os diversos intervenientes do projeto assegurando assim a colaboração e coordenação destes durante todo o desenvolvimento do projeto. Naturalmente, este processo pressupõe que todos estes intervenientes saibam programar, um requisito que, no século XXI, começa a ser tão importante como saber ler e escrever.

Para utilizar uma abordagem algorítmica como o A-BIM é necessário a formalização das intenções e ideias do projecto de forma a construir um algoritmo que produza a solução de design pretendida. Este algoritmo é depois transformado num programa, i.e., numa série de instruções específicas e rigorosas escritas numa linguagem de programação que o computador consiga compreender e executar.

Antes de percebermos como é que o A-BIM se aplica em arquitetura e quais as vantagens que podemos obter desta abordagem, é necessário primeiro perceber exactamente o que é que significa programar para BIM. Para isso, é relevante perceber como é que as ferramentas BIM funcionam e quais as diferenças entre estas e as suas precedentes: as ferramentas CAD. Dadas as diferenças entre estas ferramentas, as suas metodologias de programação vão também diferir. Na secção seguinte, definimos uma metodologia de programação para BIM baseada nestas diferenças.

2.1 Do CAD para o BIM

A principal diferença entre trabalhar com ferramentas CAD e ferramentas BIM está ligada ao facto de que, enquanto que a ferramenta CAD lida essencialmente com entidades geométricas, e.g., cilindros e paralelepípedos, uma ferramenta BIM não lida só com geometria; lida com representações digitais de objetos arquitetónicos, semanticamente identificados e contendo toda a informação relevante sobre esse objeto [3]. Como exemplo, podemos considerar uma laje e uma laje de cobertura genéricas: geometricamente, são muito semelhantes mas semanticamente são objetos distintos com funções, propriedades e requisitos diferentes. Ao programar para CAD, que se baseia apenas nas propriedades geométricas dos objectos, tanto a laje como a laje da cobertura podem ser criadas usando uma mesma operação geométrica genérica, (e.g., 'box'). Por outro lado, ao programar para BIM, estes objetos requerem operações distintas, específicas do tipo de objeto que se pretende criar.

Outra diferença entre CAD e BIM resulta do facto dos objetos BIM terem regras paramétricas e associativas que controlam o seu comportamento no modelo e conferem aos objetos um sentido arquitetónico. Por exemplo, em BIM, uma porta só pode existir numa parede. Isto quer dizer que, para criar uma porta, é necessário primeiro criar uma parede. Estas regras refletem-se na programação onde, de facto, uma parede é um dos parâmetros necessários para criar uma porta. Diferentemente, em CAD, os objetos podem ser criados separadamente e a ordem de criação dos elementos é irrelevante para o resultado final.

Finalmente, uma outra diferença entre as ferramentas CAD e BIM está nas bibliotecas de objetos paramétricos pré-modelados. Por exemplo, enquanto que numa ferramenta BIM uma porta pode ser selecionada de uma biblioteca, numa ferramenta CAD todos os subcomponentes da mesma porta poderão ter de ser criados de raiz. Quando esta modelação é feita através da programação, isto traduz-se num programa longo e complexo, que pode demorar demasiado tempo a desenvolver. Embora as ferramentas CAD também permitam a importação de blocos externos de geometria pré-modelada, tipicamente estes objetos não são paramétricos, o que dificulta a manipulação da sua geometria. Em muitos casos, esta geometria tem de ser manualmente alterada para se adequar às especificações do projeto, sendo muitas vezes mais simples reconstruí-la de raiz.

3. Caso de Estudo: As Torres Absolute World

Para testar e avaliar as capacidades da abordagem A-BIM, seleccionámos um caso de estudo arquitetónico - as Torres *Absolute World* (TAWs), projetadas pelos MAD Architects e localizada em Mississauga, no Canadá (ver Figura 1) - que modelámos com (1) uma abordagem BIM manual, e (2) a abordagem A-BIM proposta. Este processo de modelação permitiu analisar e comparar diretamente estas duas abordagens de modo a perceber quais as vantagens e desvantagens de cada uma.

Enquanto que a abordagem BIM manual foi modelada diretamente em Revit, a abordagem A-BIM foi implementada usando o Rosetta. Esta ferramenta de programação foi escolhida devido à sua característica portátil [4] que, ao contrário de outras ferramentas recentemente desenvolvidas tal como o Dynamo e o Rhino-Grasshopper-ArchiCAD, permite a geração do mesmo modelo em mais do que apenas uma ferramenta BIM. Usando o Rosetta, o modelo das TAWs podem ser igualmente geradas tanto no Revit como no ArchiCAD.



Figura 1: As Torres *Absolute World*, localizadas em Mississauga, no Canadá (Fonte da imagem: www.domusweb.it/).

O processo de modelação foi dividido nos vários objetos arquitetónicos que compõem o edifício uma vez que o mesmo objeto pode ser modelado de duas maneiras completamente distintas dependendo da abordagem usada. Os objetos considerados foram: os níveis (embora não exatamente um objeto arquitetónico, são um elemento BIM importante), as lajes, as aberturas nas lajes, as paredes, a laje da cobertura, as escadas, as portas e as guardas.

Como exemplo, vamos considerar a modelação das paredes das TAWs. Ambas as torres possuem uma grelha de paredes estruturais que se repete em todos os pisos, garantindo assim a continuidade estrutural da torre. No entanto, devido à rotação da torre, o comprimento destas paredes aumenta e encolhe de piso para piso de forma a adaptar as paredes à forma do edifício, tal como ilustrado na Figura 2.

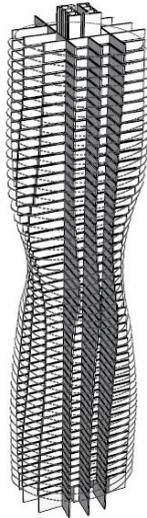


Figura 2: Diagrama estrutural das TAWs [5].

Nas secções seguintes, o processo de modelação das paredes é explicado para as duas abordagens consideradas, sendo estas de seguida comparadas para descobrir as vantagens e desvantagens entre elas.

3.1 BIM Manual

Antes de criar as paredes, foram definidas as propriedades desejadas para as mesmas, e.g., as camadas de materiais e as respetivas espessuras. De seguida, foi usada a funcionalidade disponível no Revit para criar paredes. Para isso, escolhemos um nível inferior para a base das paredes, um nível superior onde estas acabam e colocámos as paredes de acordo com a configuração em planta desejada.

Ao colocar as paredes entre níveis, torna-se mais fácil controlar a sua altura já que esta passa a ser calculada como a distância entre o nível inferior e superior. Neste caso, cada nível corresponde a um piso das TAWs. Deste modo, se for aplicada alguma mudança às alturas dos pisos da torre, as paredes e as suas respetivas alturas irão ajustar-se automaticamente.

Devido à rotação da torre, o comprimento das paredes varia consoante o piso, pelo que as restantes paredes tiveram de ser criadas individualmente (ou copiadas do piso anterior) e os seus comprimentos ajustados manualmente a cada piso, para todos os pisos das TAWs, um processo moroso e entediante.

3.2 A-BIM

Usando o Rosetta, podemos tirar partido dos objetos paramétricos pré-modelados fornecidos pelas ferramentas BIM e manipulá-los consoante os requisitos do projeto. Estes objetos são disponibilizados pelo Rosetta sob a forma de operações pré-definidas que permitem a criação dos respetivos objetos nas ferramentas BIM.

Para criar paredes, a correspondente operação requer como parâmetros uma lista de pontos que representa os eixos das paredes e o nível inferior e superior dessas paredes que determinam o

seu posicionamento e altura. Esta operação pode também receber como parâmetros adicionais as propriedades desejadas das paredes, sendo utilizados valores genéricos pré-definidos caso estes parâmetros não sejam fornecidos.

Usando esta operação, criámos uma grelha de paredes de acordo com a configuração em planta das TAWs, a qual distribuímos para todos os pisos. Para representar os pisos, foi criada uma lista de níveis correspondente ao conjunto das alturas de todos os pisos das TAWs. Usando esta lista, podemos facilmente controlar o número de pisos e, conseqüentemente, o número de grelhas de paredes distribuídas pela torre.

Para simplificar o processo de modelação, considerámos uma grelha de paredes com comprimentos idênticos para todos os pisos que depois adaptamos à rotação da torre. Isto foi conseguido através da implementação de um procedimento que simula uma intersecção entre paredes e lajes, não deixando as paredes ultrapassar os limites da laje. No caso das TAWs, o comprimento das paredes é calculado em relação a uma laje auxiliar que corresponde ao espaço interior do edifício num dado piso, tal como ilustrado na Figura 3. Devido à rotação da torre, isto implica que as paredes terão comprimentos diferentes em cada piso. No final deste processo, as lajes auxiliares são eliminadas.

Finalmente, para generalizar a forma do edifício e oferecer uma maior flexibilidade de soluções, a grelha de paredes que é distribuída pelos pisos e a forma da laje auxiliar correspondente ao espaço interior do edifício são dados com parâmetros independentes que podem ser facilmente modificados pelo utilizador.

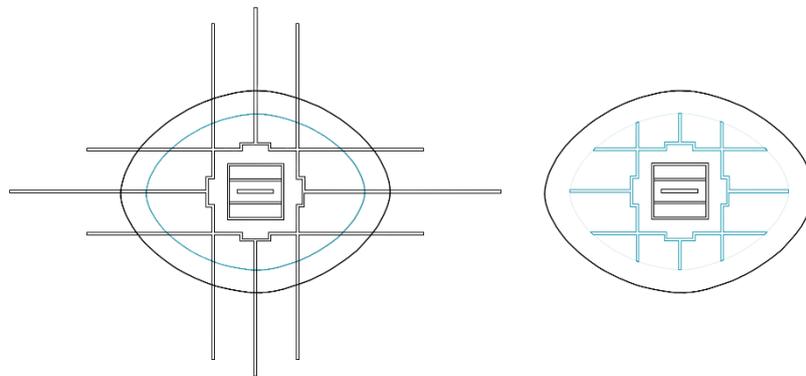


Figura 3: Para cada piso, o comprimento das paredes é ajustado em relação ao perímetro de uma laje auxiliar correspondente ao espaço interior do edifício nesse piso.

3.3 Comparação

Enquanto que para a abordagem manual as paredes tiveram de ser criadas e adaptadas manualmente a cada piso devido à rotação da torre, ao usarmos uma abordagem algorítmica podemos tirar partido da lógica construtiva das paredes ser a mesma para todos os pisos, permitindo assim que a criação e a adaptação destas à rotação da torre seja automatizada.

Para ambas as abordagens, as paredes foram criadas de forma a estarem parametricamente contidas entre níveis consecutivos garantindo assim que, se houver alguma alteração às alturas dos pisos, essas alterações serão automaticamente propagadas para as paredes.

Embora útil, esta capacidade de propagação de alterações proporcionada pelas ferramentas BIM não é tão abrangente nem flexível como a de uma abordagem algorítmica. Por exemplo, esta propagação não tem em consideração o ajuste necessário no comprimento das paredes das TAWs, que terá de ser executado manualmente em todos os pisos para as adaptar à forma e rotação de cada piso. Este processo repetitivo e moroso pode efetivamente desencorajar alterações futuras, sendo portanto um obstáculo à exploração.

Em contraponto, numa abordagem algorítmica, os objetos criados são parametricamente dependentes entre si, o que quer dizer que as alterações são propagadas a todo o modelo.

Para além disto, uma vez que no modelo das TAWs, tanto a grelha de paredes como a forma interior do edifício são parâmetros independentes, podemos variá-los de forma ortogonal: podemos experimentar diferentes grelhas de paredes que serão automaticamente adaptadas à forma do edifício, tal como podemos experimentar diferentes formas para o interior do edifício, que ajustará automaticamente o comprimento das paredes.

4. Avaliação

O A-BIM tem uma vasta aplicabilidade em arquitetura: pode ser usado para desenvolver modelos paramétricos de partes de edifícios (e.g., uma fachada), de edifícios inteiros, ou até de cidades inteiras. No entanto, esta abordagem poderá nem sempre ser a mais apropriada para um dado projeto, pois necessita de um investimento inicial de esforço e tempo que poderá não ser inteiramente recuperado no final. Como tal, antes de escolher a abordagem que se pretende usar num projeto, é essencial que os arquitetos primeiro estabeleçam as prioridades do projeto em questão e avaliem se o desenvolvimento deste poderá beneficiar da abordagem A-BIM. Nas secções seguintes, discutimos alguns aspetos importantes a ter em consideração nesta avaliação.

4.1 Automatização de Tarefas Repetitivas

Devido à sua natureza algorítmica, o A-BIM permite a automatização de procedimentos repetitivos e morosos, permitindo assim poupar bastante tempo e trabalho que poderá ser melhor aproveitado em tarefas mais importantes. Tal como demonstrado no ajustamento do comprimento das paredes à forma e rotação das TAWs, isto pode ser muito útil em edifícios com carácter repetitivo, sendo portanto uma importante vantagem.

4.2 Propagação de Alterações

Tal como explicado na secção 3.3, os objetos gerados a partir de uma abordagem A-BIM são parametricamente dependentes entre si, sendo as alterações propagadas em todo o modelo de forma muito mais abrangente e flexível do que a tipicamente disponível nas ferramentas BIM. Isto não só permite poupar bastante tempo e trabalho em processos de atualização do modelo, como também evita erros e inconsistências. Para uma metodologia BIM, isto é especialmente

importante para que se possa extrair informação (e.g., quantidades de materiais) correcta para a construção do edifício.

4.3 Exploração de Alternativas

Sendo o programa desenvolvido intrinsecamente paramétrico, é possível explorar e visualizar mais facilmente e rapidamente uma maior variedade de alternativas ao design inicial das torres sem ser necessário modificar ou refazer o algoritmo que as gera. Na verdade, ao usarmos A-BIM não estamos a desenvolver uma solução fixa mas sim uma infinidade de potenciais variações da mesma solução. A Figura 4 ilustra apenas alguns exemplos de variações que se conseguem explorar com o algoritmo desenvolvido, fazendo variar os parâmetros que controlam o modelo:

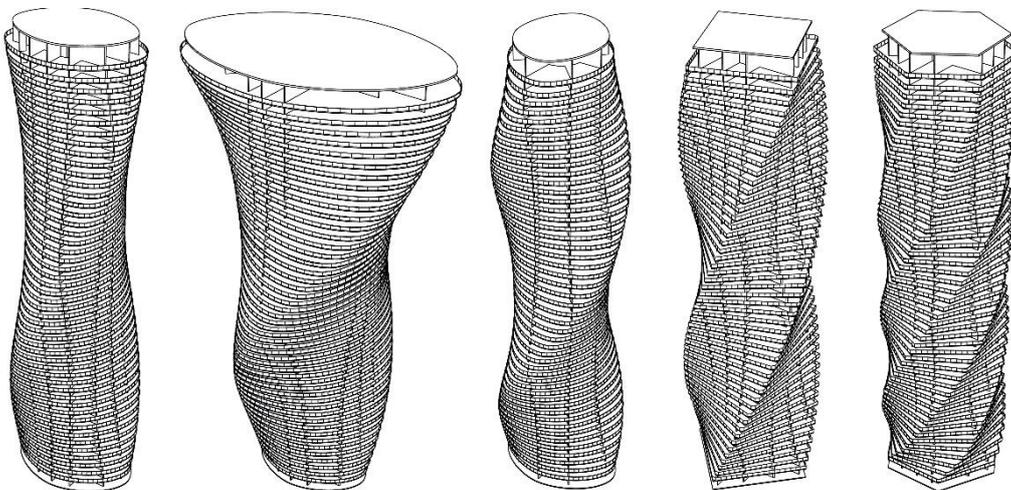


Figura 4: Possíveis variações das TAWs.

Neste aspeto, o A-BIM promove significativamente a exploração durante todo o desenvolvimento do projeto e, como tal, pode beneficiar bastante a atividade de design que prospera com exploração.

4.4 Otimização

As variações ao design inicial discutidas na secção anterior podem também ser analisadas e comparadas em relação, por exemplo, à sua performance térmica ou às suas características aerodinâmicas. No caso das TAWs, poderíamos rapidamente testar diferentes formas para a laje e diferentes ângulos de rotação de modo a perceber qual a forma e ângulo que oferecem melhores condições aerodinâmicas para as torres.

O próximo passo neste cenário seria automatizar esse processo de análise e comparação de alternativas de forma a deixar o computador encontrar as que melhor satisfazem certos critérios, o que conduzirá a um processo de otimização do design. Isto permite priorizar aspectos da performance de um edifício sobre a sua forma, o que constitui uma diferença significativa em relação aos métodos tradicionais onde as análises de performance (e.g., estruturais, térmicas e aerodinâmicas) são tipicamente feitas no final do processo de design, já depois da forma estar estabelecida, sendo raramente uma prioridade [6].

4.5 Investimento inicial

Devido aos desafios impostos pela abordagem algorítmica, o A-BIM requer um maior investimento inicial em termos de tempo e trabalho, não só para produzir o programa que gera o modelo, como também para o tornar flexível e facilitar a exploração de alternativas.

Para avaliar este investimento inicial, foi simulado um processo de design onde são exploradas uma série de alternativas ao design inicial das TAWs de forma a medir o impacto que esta exploração tem no projeto, i.e., o tempo e esforço necessários, tanto na abordagem A-BIM como na abordagem BIM manual. A simulação para a abordagem A-BIM foi implementada por nós usando o Rosetta, enquanto que a abordagem manual foi implementada em Revit por um utilizador experiente.

Como exemplo, vamos considerar o modelo da segunda TAW tal como ela é na realidade, i.e., com 50 pisos e rotação constante de 4° por piso (ver primeiro modelo na Figura 4). Os tempos de modelação desta torre em ambas as abordagens podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1: Tempo necessário para produzir o modelo da segunda TAW na abordagem A-BIM e na abordagem BIM Manual.

	Tempo de Modelação (aprox.)
A-BIM	14h
BIM Manual	2h

Ao comparar os tempos, podemos observar que a abordagem A-BIM requer mais tempo para a produção do modelo inicial, consequência do maior esforço intelectual necessário para formular o algoritmo e tornar o programa parametrizável. Neste caso, se o modelo inicial não sofresse mais alterações, a abordagem A-BIM seria muito menos eficiente do que a modelação manual. No entanto, se tivermos em consideração alterações futuras e a possibilidade de explorar alternativas ao modelo inicial, esta situação pode mudar consideravelmente.

Considerando um outro exemplo, vamos supor que se pretende mudar o ângulo de rotação da torre de 4° para 6°. Esta alteração implica actualizar todas as lajes (incluindo a da cobertura) e guardas para o novo ângulo de rotação, bem como ajustar todas as paredes à nova forma do edifício.

Para aplicar esta alteração na abordagem A-BIM, temos simplesmente de mudar o parâmetro correspondente ao ângulo de rotação da torre e as dependências no modelo tratam de propagar esta alteração para o modelo inteiro. Por outro lado, numa abordagem manual, a maioria destas alterações têm de ser aplicadas manualmente, o que resulta em tempos significativamente diferentes para executar estas alterações em ambas as abordagens, tal como ilustrado na Tabela 2:

Tabela 2: Tempo necessário para alterar o ângulo de rotação da torre na abordagem A-BIM e na abordagem BIM Manual.

	Tempo de Modelação (aprox.)
A-BIM	1min
BIM Manual	1h 40min

Numa situação inversa da verificada para a produção do modelo inicial, a abordagem manual requer bastante mais tempo para aplicar alterações ao modelo. Isto acontece pois, apesar das capacidades paramétricas das ferramentas BIM, muitas das mudanças continuam a ter de ser executadas manualmente.

Finalmente, vamos supor que se pretende explorar uma variação ao design inicial da torre, fazendo diminuir consistentemente as dimensões das lajes ao longo do edifício. Mais uma vez, esta alteração implica atualizar todas as lajes, paredes e guardas.

Para a abordagem A-BIM, podemos simplesmente aplicar um factor decrescente tanto à forma da laje como à forma que define o interior do edifício e esta alteração ir-se-á propagar para os restantes elementos. Por outro lado, para a abordagem manual, temos de refazer manualmente todas as lajes e adaptar todas as paredes às novas dimensões do edifício. Temos também de redesenhar todas as guardas em todos os pisos. Os tempos resultantes desta alteração são os seguintes:

Tabela 3: Tempo necessário para aplicar um factor decrescente às dimensões da torre na abordagem A-BIM e na abordagem BIM Manual.

	Tempo de Modelação (aprox.)
A-BIM	1min
BIM Manual	1h 50min

Mais uma vez, a abordagem manual requer mais tempo para a execução das alterações ao modelo, sendo mesmo necessário quase tanto tempo para aplicar as alterações como para refazer o modelo de raiz. Este tempo torna-se um obstáculo quando se pretende explorar rapidamente alternativas ao design inicial.

A tendência observada com estes exemplos é para que, à medida que o projeto evolui e as alterações são cada vez mais frequentes, o processo de actualização manual do modelo torna-se moroso e dispendioso. Ao mesmo tempo, a exploração de alternativas só é viável e produtiva se esta puder ser executada facilmente e rapidamente. Nestes casos, o investimento inicial pode ser recuperado à medida que o projecto evolui.

5. Conclusão

O A-BIM combina o Projeto Algorítmico com a metodologia de *Building Information Modelling*, oferecendo uma nova abordagem de projecto que permite a automatização de processos repetitivos e facilita a exploração rápida e sem esforço de alternativas. Esta abordagem oferece também a capacidade de propagar alterações ao design de forma mais vasta e flexível do que aquela usualmente permitida pelas ferramentas BIM.

Apesar destas características, o modelo gerado com a abordagem A-BIM continua a ser um modelo BIM idêntico a um modelo criado manualmente, i.e., carregado de informação de construção, permitindo assim a integração desta abordagem nos processos tradicionais baseados em BIM. A partir desta informação, o modelo pode ser trabalhado para além da sua forma, usando por exemplo processos de otimização para combinar e gerir os requisitos do projeto e priorizar aspetos da performance durante o desenvolvimento do mesmo.

Embora a abordagem A-BIM tenha uma grande aplicabilidade em arquitetura, nem sempre é a abordagem mais vantajosa para um determinado projeto, pois é necessário um investimento inicial para formular o algoritmo que gera o modelo. Neste artigo, demonstramos que esse investimento pode ser rapidamente recuperado em projectos em que ocorrem mudanças frequentes.

No futuro, pretendemos continuar a explorar as capacidades do A-BIM, nomeadamente perceber melhor qual o impacto desta abordagem na colaboração entre os vários intervenientes de um projeto e combinar processos de otimização com A-BIM.

Referências

- [1] K. Terzidis, *Expressive Form: a conceptual approach to computational design*. London, U.K.: Spon Press, 2003.
- [2] A. Tedeschi, *AAD Algorithms-aided design: Parametric strategies using Grasshopper*. Brienza, Italy: Edizioni Le Pensur, 2014.
- [3] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2008.
- [4] S. Feist, G. Barreto, B. Ferreira, A. Leitão, “Portable Generative Design for Building Information Modelling,” in *Proceedings of the 21st International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2016)*, Melbourne, Australia, 2016, pp. 147-156.
- [5] B. Legendijk, S. Vadlotto, and A. Pignetti “Case Study: Absolute World Towers, Mississauga,” *CTBUH Journal*, Issue IV, pp. 12-17, 2012.
- [6] Y. Kalay, *Architecture’s new media : principles, theories and methods of computer-aided design*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2004.

DA LINHA AO VARÃO: CASO DE ESTUDO DO PROJETO DE ESTABILIDADE, TENDO O CONCEITO BIM COMO BASE

Gabriel Lopes ⁽¹⁾

(1) LAIII – Lopes Associados, Engenheiros Consultores, Porto

Resumo

Até muito recentemente, na área de projeto de engenharia civil, nomeadamente de estruturas, a tecnologia pouco inovou, tendo vindo apenas a automatizar os processos tradicionais já existentes. A grande viragem deu-se quando surgiu a possibilidade do utilizador interagir com os objetos de forma inteligente e paramétrica.

O presente caso de estudo pretende dar a conhecer um exemplo de um projeto de estabilidade feito numa plataforma que utiliza o conceito BIM, desde a sua conceção até ao detalhe e medição de todos os elementos da estrutura. A intenção passa por explorar o processo de trabalho e otimizá-lo em relação aos métodos clássicos, dando a conhecer as limitações existentes inerentes a esses métodos, as mais ou menos valias encontradas e a importância que a organização e a estruturação do processo têm no desenvolvimento do projeto e no seu resultado final.

1. Introdução

O caso de estudo apresentado debruça-se sobre um projeto de estabilidade de um edifício de habitação, no qual se utilizou um processo integrado, numa plataforma BIM, durante o seu desenvolvimento, desde a conceção até à fase de fabrico.

Apesar de se tratar de um projeto de escala reduzida, o processo de modelação foi bastante desafiador, devido à grande variedade de elementos e à pouca repetição geométrica, característica que muitos edifícios de grande porte não têm.

Neste caso de estudo apresenta-se a abordagem utilizada, considerando as várias variantes e condicionantes do projeto. O enfoque terá incidência, sobretudo, na metodologia utilizada e na apreciação dos vários passos do processo de realização do trabalho. Serão feitas menções às

potencialidades que surgem na utilização de uma modelação deste tipo, seja ao nível da interoperabilidade, da coordenação ou da interação com processos de trabalho a jusante do projeto. Por último, mencionar-se-ão algumas curiosidades do projeto, como também alguns dos seus elementos finais.

2. Enquadramento

Importa referir que o desenvolvimento do presente projeto de estabilidade foi realizado integralmente em BIM. Contudo, algumas das formalidades associadas a este processo não foram estabelecidas de forma explícita, nomeadamente o Plano de Execução BIM (*BIM Execution Plan* – BEP). Não obstante a isto, tal não implicou que todo o trabalho desenvolvido não tivesse enquadramento num BEP, como se irá expor mais à frente.

Convém também mencionar que o gestor de projeto era da equipa de arquitetura (Cliente) e que não foi do conhecimento do consultor do projeto de estabilidade a forma de gestão e coordenação dos restantes projetos de especialidade. A prestação dos serviços cingiu-se apenas à consultoria e projeto de estabilidade.

É de salientar que este projeto foi concretizado utilizando procedimentos de trabalho já consolidados no processo BIM, não se tratando de um ensaio nem de um projeto piloto.

3. Abordagem

Previamente ao início de um projeto BIM (ou logo nas fases iniciais) deve ser acordado, entre as partes, o plano de execução BIM – BEP – que visa estabelecer, entre os diversos intervenientes, um conjunto de fatores representativos das intenções e responsabilidades associadas à incorporação do BIM. Como já foi referido, no presente caso de estudo não foi formalmente estabelecido um BEP. No entanto, o desenvolvimento do trabalho teve em conta, mesmo que de forma implícita e abstraída de formalismos, vários aspetos inerentes a um PEB, mais concretamente, os usos e objetivos BIM, o nível de desenvolvimento do projeto, o nível de informação e a forma de interação com as restantes partes interessadas (neste caso, apenas a equipa de arquitetura).

3.1 Objetivos BIM

Alguns dos objetivos delineados na utilização do BIM, durante a elaboração do presente projeto, assim como a sua priorização e respetiva associação com os usos BIM, apresentam-se na Tabela 1. Optou-se por colocar nesta os termos anglo-saxónicos para manter um paralelismo com as indicações constantes no “*BIM Project Execution Planning Guide*” [1].

Tabela 1: Objetivos da utilização do BIM.

Prioridade	Objetivos	Usos BIM
2 (média)	Clarificar as condições existentes do terreno com a implantação da obra.	Existing Conditions Modeling
2 (média)	Divisão da informação pelo faseamento da construção.	Phase Planning
3 (baixa)	Facilitar a interoperabilidade para a análise estrutural.	Structural Analysis
1 (alta)	Aumentar a produtividade no desenvolvimento do projeto no que se refere a quantificação dos elementos estruturais e a obtenção da informação de fabrico.	Digital Fabrication, Quantity Take-Off
1 (alta)	Obter informação relativa às quantidades da estrutura.	Quantity Take-Off
2 (média)	Obtenção de informação do modelo para fabrico, nomeadamente de armaduras para betão armado.	Digital Fabrication
1 (alta)	Melhorar a perceção visual e compreensão da estrutura e a sua coordenação com as restantes especialidades.	3D Coordination, Design Authoring

3.2 Fases do Desenvolvimento do Projeto

Tratando-se de um projeto localizado num país francófono, sem legislação específica para o faseamento da sua elaboração, foi acordado com o Cliente a adoção da “*Loi du Maîtrise d’Ouvrage Publique*” [2], mais conhecida por “Loi MOP” como base de referência e a “*Décomposition des tâches de maîtrise d’Œuvre*” [3] pela listagem dos conteúdos mínimos a incluir nos projetos.

Contratualmente estava previsto o desenvolvimento dos estudos de estabilidade nas seguintes fases: “*Avant-Projet Sommaire*” (APS); “*Avant-Projet Définitif*” (APD); “*Projet*” (PRO) e “*Exécution*” (EXE). Fazendo um paralelismo com a legislação nacional a este respeito, para melhor familiarização do leitor com a “Loi MOP”, pode dizer-se que, em geral, as fases correspondentes são: “Estudo Prévio”; “Anteprojecto”, “Projeto de Execução” e fabrico que, no caso de estudo, se limitou apenas à informação associada às armaduras de betão armado.

3.3 Level of Development (LOD)

Outro conceito importante a ter em conta é o nível de desenvolvimento – “*Level of Development*” – de um modelo BIM, que se refere ao nível de rigor da informação gráfica e não gráfica que os elementos do modelo possuem (não confundir com “*Level of Detail*”). O LOD é progressivo e cumulativo ao longo do desenvolvimento do projeto, uma vez que a informação incorporada no modelo vai aumentando e tornando-se mais concreta. Esta nomenclatura não tem que ser igual em todos os elementos do modelo na mesma ocasião, nem o seu grau tem necessariamente que estar associado às fases de desenvolvimento do projeto. O LOD a considerar em cada momento do projeto é, em geral, acordado com o Cliente, podendo ser alterado de projeto para projeto (ou mesmo ao longo de um projeto).

Neste caso, em concreto, apesar de não ter sido estabelecido um BEP com a indicação dos LODs a observar durante o desenvolvimento do projeto, nem ter sido acordado formalmente

com o Cliente a observância de uma diretriz em particular, recorreu-se às especificações “*Level of Development Specification 2015*” do BIMForum [4] como referência.

Não existe uma delimitação clara entre o LOD a usar para cada fase, mas, tratando-se sobretudo de um projeto de estruturas praticamente só com elementos de betão armado, o LOD acabou por estar, de certa forma, relacionado com a fase de projeto desenvolvida – Figura 1. O grau do LOD da especificação utilizada varia entre LOD 100 – informação genérica – e o LOD 500 – informação da realidade (outras especificações podem usar uma classificação diferente, mas a categorização é, em geral, semelhante).

3.4 Sistemas de classificação

No que toca à classificação da informação, sobretudo para categorização dos mapas de quantidades (neste caso, como principal objetivo), foi utilizado um sistema de classificação próprio criado com base no UniFormat [5] para a estruturação da informação das partes físicas da construção e o MasterFormat [6] para os produtos e resultados dos trabalhos de construção.

3.5 Metodologia

A metodologia utilizada foi estabelecida com base na experiência de projetos anteriores. O processo de trabalho centrou-se na utilização de um modelo BIM principal, correspondente à especialidade em estudo que, neste caso, foi a estrutura. Neste projeto em particular, devido a restrições de ordem técnica, particularmente na instabilidade e morosidade da transferência eletrónica de dados, não foi possível proceder a uma forma de trabalho colaborativa genuína a partir de um modelo central partilhado (“single shared project model”) com a equipa de arquitetura. A interação realizou-se, apenas, com a troca periódica (no início do projeto e, geralmente, uma vez no fim de cada fase) de modelos BIM para posterior importação por cada uma das partes, tornando esta ligação estática (a informação atualizada do modelo por uma das partes só é conseguida através de nova partilha do modelo da outra parte).

Uma vez que a equipa de arquitetura estava a utilizar a mesma aplicação de modelação BIM (Autodesk Revit 2015), o formato de intercâmbio foi o nativo da aplicação (.rvt).

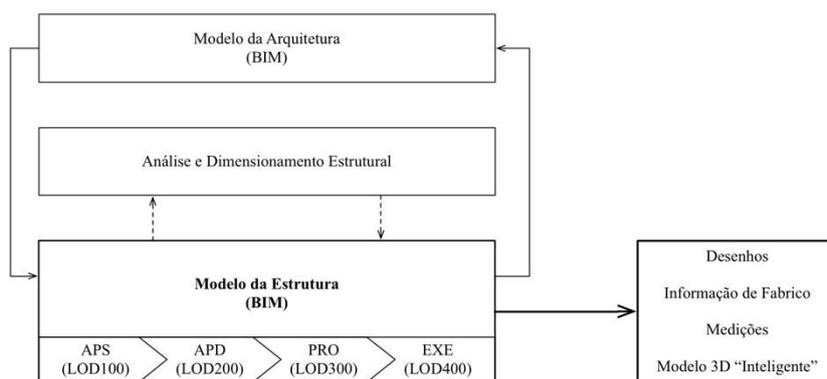


Figura 1: Interação na execução do trabalho.

Relativamente à análise e dimensionamento da estrutura, outra parte importante do processo, foi realizada com uma aplicação independente do software de modelação. Apesar da aplicação

de modelação BIM utilizada ter algumas capacidades para análises estruturais, estas são bastante reduzidas. A aplicação utilizada para a análise estrutural foi o Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015. É possível a interoperabilidade entre estas aplicações de modelação BIM e de análise estrutural, mas com limitações.

O processo evolutivo do projeto fez-se por iterações entre a interação da arquitetura com a estabilidade até que o dimensionamento estrutural satisfizesse totalmente os requisitos arquitetónicos. Esta evolução do modelo, associada ao desenvolvimento do projeto e articulada com a incrementação do LOD, terminou quando todos os aspetos dimensionais e característicos de todos os elementos da estrutura estavam definidos no modelo da estrutura.

4. Caso de estudo

Para a elaboração do projeto, foi rececionado um conjunto de informações do Cliente como: o modelo inicial de arquitetura em BIM; o levantamento topográfico georreferenciado em CAD (2D); o relatório do estudo geológico e geotécnico e o plano cronológico para a construção.

A principal condicionante do projeto estava nos prazos de construção apertados e na urgência de iniciar os trabalhos em obra. Posto isso, foi acordado com o Cliente que o projeto e toda a informação associada seriam divididos em três partes em conformidade com o planeamento da construção de acordo com a Figura 2 (por ordem de prioridades, a parte A, B e C a azul, verde e laranja, respetivamente).

Para o modelo da estrutura estar coerente com a implantação pretendida no terreno e para se poder verificar com rigor as zonas de contenção a realizar, foi modelada a topografia existente a partir do levantamento topográfico. Para se conseguir uma maior exatidão, o terreno foi modelado numa outra aplicação mais adequada (o Autodesk Civil 3D 2014) a partir da qual se extraíram um conjunto de pontos (via .csv) que, posteriormente, foram importados para o Revit para a construção da superfície. É possível verificar, através da Figura 2, que este processo proporcionou uma superfície com uma malha triangular bastante homogénea e coerente.

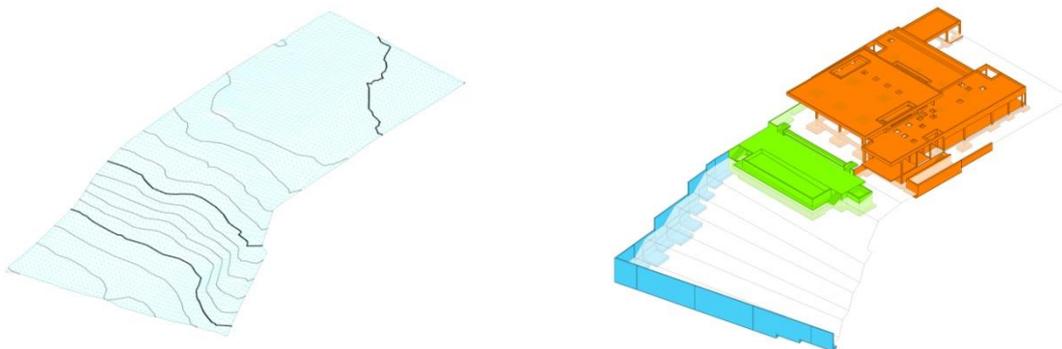


Figura 2: Modelo BIM com o terreno existente (esquerda) e o edifício colorido por partes, com o terreno e implantação finais (direita).

4.1 Modelação da estrutura

A modelação da estrutura iniciou-se após um estudo preliminar do esquema e layout estrutural a adotar. Essencialmente, a estrutura principal foi composta por um sistema de fundações diretas que suportavam uma estrutura vertical mista paredes-pilares que serviam de apoio à estrutura horizontal composta por um conjunto de vigas, dispostas ao longo do perímetro do edifício, e lajes maciças apoiadas nestas ou diretamente nos pilares. Com exceção de dois pilares metálicos, toda a estrutura foi feita em betão armado.

O posicionamento dos elementos estruturais foi baseado numa grelha planimétrica ortogonal e num conjunto de níveis. Todos estes elementos, que auxiliam o posicionamento dos elementos estruturais, foram georreferenciados. Desta forma, qualquer elemento estava na sua posição verdadeiramente real (tanto planimétrica como altimetricamente), permitindo uma implantação rigorosa durante a execução da obra.

A estruturação da modelação por fases de construção (em conformidade com o programa do Cliente), facilitou não só a apresentação de esquemas elucidativos do faseamento construtivo – Figura 3 – como também na clara divisão dos diversos elementos por fases de construção com as informações gráficas e não gráficas correspondentes, tal e qual como apresentado nas medições de armadura apresentadas na Figura 5.

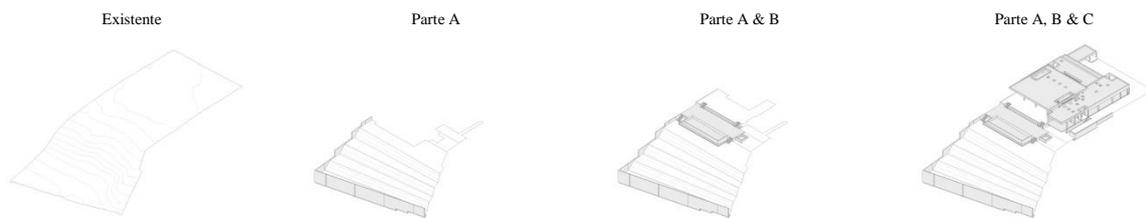


Figura 3: Faseamento construtivo.

4.2 Análise e dimensionamento estrutural

Apesar do modelo para a análise estrutural, chamado de modelo analítico (“*Analytical Model*”), poder ser obtido através do modelo geométrico, existem algumas limitações inerentes. É importante salientar que, pequenas imprecisões no modelo geométrico não acarretam grandes consequências, contrariamente ao modelo analítico onde, as ligações entre os objetos têm que ser matematicamente exatas. Na aplicação utilizada, um modelo analítico é automaticamente gerado para os objetos standardizados (e.g. “*walls*”, “*floors*”, “*beams*”, “*columns*”, “*foundations*”, etc.). À exceção de esquemas estruturais muito simples, o modelo analítico tem que ser, mesmo a modelação geométrica tendo grande precisão, quase sempre ajustado manualmente. Esse ajuste nem sempre é amigável e obriga a algum exercício de coordenação entre a geometria 3D e os elementos lineares e planos do modelo analítico. É possível estabelecer uma ligação dinâmica entre o modelo geométrico e o modelo analítico para a análise estrutural (Figura 4) aumentando tanto a rapidez e automatização na procura das secções estruturais mais otimizadas com na respetiva atualização no modelo BIM.

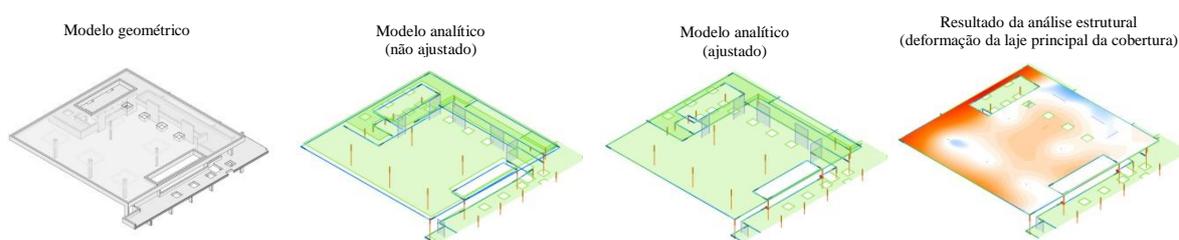


Figura 4: Exemplo do processo de análise estrutural a partir do modelo BIM.

Apesar das grandes melhorias a que se tem vindo a assistir ao longo dos anos neste processo, ainda existem algumas restrições, faltando ainda um melhor e mais eficaz controlo por parte do utilizador. Por exemplo, com as aplicações utilizadas, surgem problemas de interoperabilidade quando o modelo analítico [do modelo Revit] tem “rigid links” ou quando são adicionados alguns tipos de objetos no modelo analítico do cálculo [modelo do Robot]. Assim sendo, optou-se por fazer a análise e dimensionamento estrutural num modelo próprio independente [no Robot] e o processo de ajuste das secções dos elementos estruturais no modelo geométrico foi realizado de forma manual a partir da informação obtida na análise da estrutura, bem como as secções de armaduras para os diferentes tipos de elementos de betão armado.

4.3 Modelação de armaduras

Todas as armaduras do projeto foram modeladas no modelo BIM, manualmente, considerando os resultados obtidos na análise estrutural. A principal razão para esta tarefa foi a de possibilitar a pormenorização dos elementos de betão armado com informação dinamicamente ligada à modelação, fosse esta gráfica ou quantitativa. Outras razões, também com alguma significância, foram a possibilidade de obter os dados para o fabrico das armaduras (um requisito para o Cliente) de forma automatizada e a quantificação rigorosa dos consumos de varão por diâmetro em cada parte do projeto, como apresentado na Figura 5.

Medição Geral de Varões de Armadura - Parte C			Medição Geral de Varões de Armadura - Total		
Ø	Comprimento Total	Peso	Ø	Comprimento Total	Peso
6	3 706 m	820 kg	6	4 849 m	1 080 kg
8	5 800 m	2 290 kg	8	5 800 m	2 290 kg
10	24 698 m	15 230 kg	10	44 792 m	27 620 kg
12	20 195 m	17 930 kg	12	36 508 m	32 410 kg
16	3 838 m	6 060 kg	16	4 974 m	7 850 kg
20	2 332 m	5 750 kg	20	2 747 m	6 770 kg
Total	60 570 m	48 080 kg	Total	99 670 m	78 020 kg

Figura 5: Vista das tabelas de medição de armaduras por diâmetro, para a Parte C e para a totalidade do projeto, obtidas no modelo BIM.

Para a modelação das armaduras foram parametrizadas famílias individuais por cada uma das formas de dobragem. Essa parametrização teve em consideração alguns fatores como, a forma de dobragem (para estar em concordância com a ISO 3766 [7]), os diâmetros dos varões disponíveis e respetivos diâmetros de dobragem e os ganchos de amarração típicos.

Na modelação de armaduras, a maior dificuldade está no correto posicionamento destas. Existem algumas utilidades capazes de condicionar o posicionamento em função da localização relativa com outros componentes. Estas funcionalidades têm vindo a ser melhoradas nas versões mais recentes do software utilizado, tornando a modelação das armaduras menos penosa,

principalmente na facilidade destas se adaptarem a alterações de geometria ou à alteração de parâmetros (por exemplo, o recobrimento) dos objetos onde estão alojadas.

Uma vez feita a modelação, é possível obter informações de vários tipos, sejam elas gráficas ou não. A título de exemplo, na Figura 6 apresenta-se um desenho de uma das lajes com as respetivas armaduras superiores. Para cada uma destas armaduras existe um conjunto de informações que podem ser apresentadas (por exemplo, na planta estão indicados os diâmetros, o número de varões e o afastamento entre eles por cada grupo, assim como um código de identificação que faz a associação com a tabela do fabrico) ou tratadas (no mesmo conjunto de figuras é apresentado um excerto da tabela de armaduras com os parâmetros necessários ao fabrico, em concordância com o desenho apresentado) de forma dinâmica. O parâmetro de identificação unívoca das armaduras permite fazer a ligação dos desenhos com as tabelas de fabrico. Assim, durante a construção, cada um dos lotes fabricados são colocados na localização correta.

Finalizada a modelação, a informação de fabrico foi passada ao Cliente (requisito contratual) possibilitando-o automatizar o fabrico das armaduras.

Do ponto de vista do controlo, realizado durante o desenvolvimento do projeto, foi analisada a taxa de armadura contida em cada elemento estrutural. Este tipo de informação pode ir sendo examinado de forma intermédia, isto é, a cada passo na modelação, seja na adição de novos objetos ou na alteração de objetos existentes, a informação a eles associada é automaticamente atualizada (e.g. anotações, informação de fabrico, medições, etc.) para refletir as novas condições.

A título de curiosidade, o comprimento total de varão foi de, aproximadamente, 99 quilómetros repartidos por cerca de 30 mil segmentos divididos por 2388 grupos diferentes.

4.4 Obtenção de elementos finais do projeto

Após toda a modelação estar finalizada, procedeu-se à obtenção dos elementos do projeto, nomeadamente, desenhos, medições, informação de fabrico e o modelo 3D “inteligente”.

A informação sobre o fabrico, particularmente das armaduras, foi incorporada nas peças desenhadas e exportadas para posterior utilização pelo construtor – Figura 6 (inferior direita).

No que respeita às medições, devido às capacidades existentes em depurar a informação por tipo de objeto e filtrá-la por condições impostas (e.g. por fase), foi possível a obtenção rápida dos valores pretendidos, como demonstrado pela Figura 5.

O sistema de classificação foi utilizado para a organização e identificação dos elementos a incluir nos mapas de quantidades. Pela forma como foi realizado o modelo, foi possível fazer a associação entre o conteúdo deste documento com os objetos do modelo, mas, essa informação não foi evidenciada nos desenhos finais do projeto transmitidos ao Cliente.

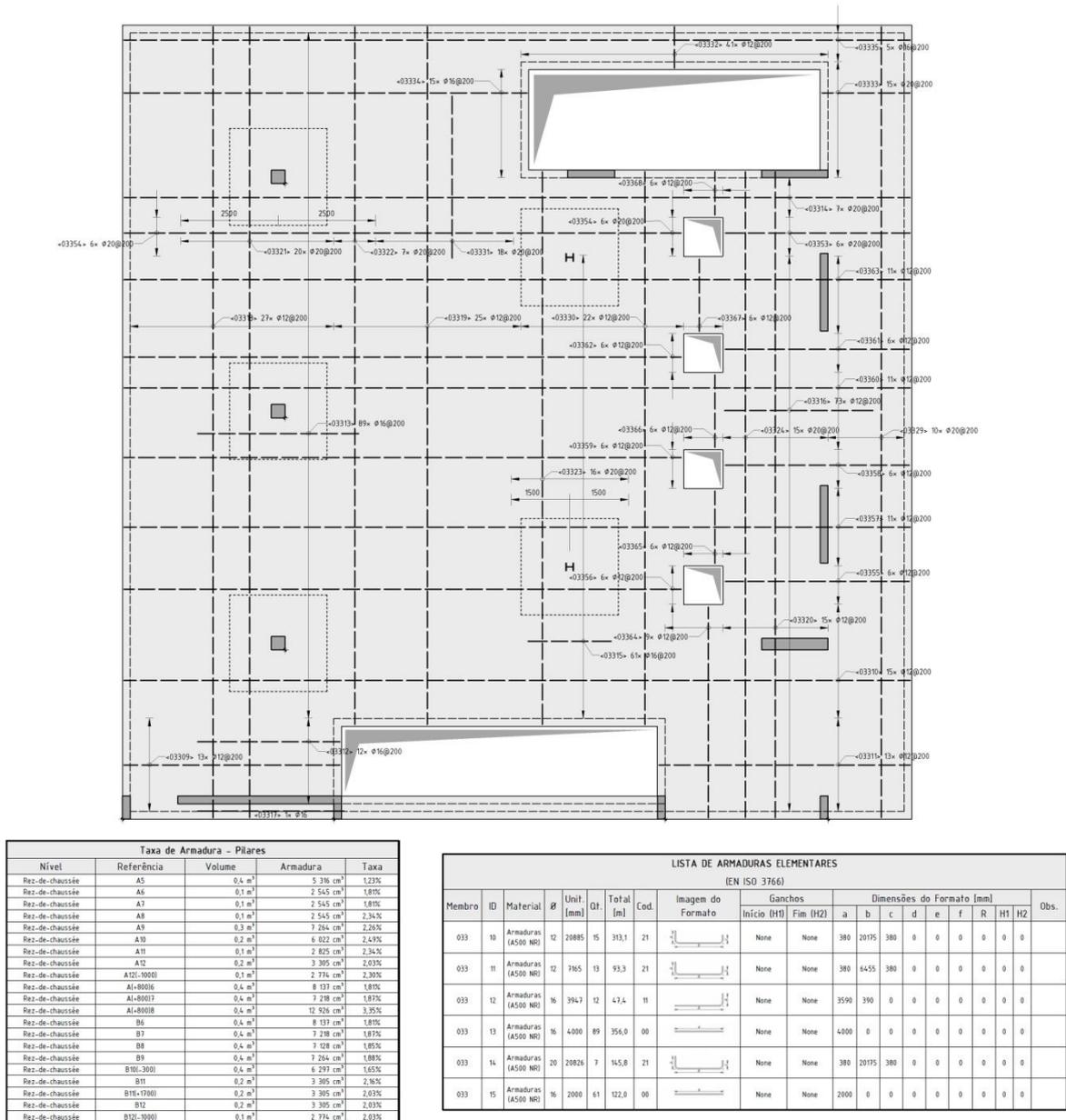


Figura 6: Armaduras superiores de uma laje (superior), excerto da tabela da taxa de armadura nos pilares (esquerda) e da listagem de armaduras elementares para fabrico (direita).

Uma outra vantagem evidente está, não só na possibilidade de visualização do modelo e dos seus objetos, mas também em se poder condicionar os objetos a visualizar e o modo como são visualmente apresentados. Na Figura 7 apresenta-se um conjunto de imagens onde é inequívoca a facilidade com que os utilizadores e intervenientes no projeto podem perceber o modelo e esclarecer dúvidas muito mais rapidamente do que através de um conjunto de desenhos em 2D.

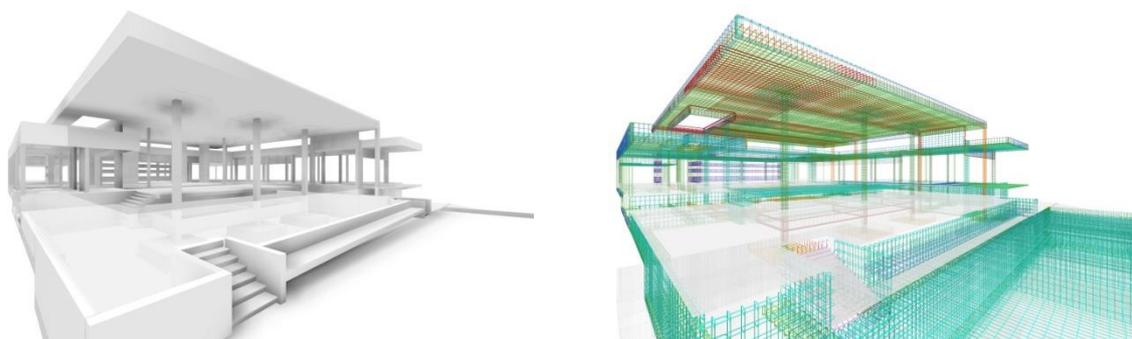


Figura 7: Exemplo da visualização do modelo sólido da estrutura (esquerda) e das armaduras incorporadas com os diâmetros diferenciados por cores (direita).

5. Considerações finais

A utilização de uma aplicação BIM obriga a encarar o processo de maneira diferente da forma tradicional, não apenas pelo modo de interagir com as ferramentas de trabalho, mas também porque, para se tirar partido das mais valias que este tipo de aplicações oferece, é necessário pensar e estruturar a forma de trabalho em concordância com as potencialidades das aplicações utilizadas. Não ter o cuidado de fazer essa adaptação é ir na direção errada. Pois tal se irá traduzir num maior volume de esforço para obter o mesmo resultado final. Outro aspeto que é importante ter em mente é que o BIM é um processo concretizado através de ferramentas que têm limitações de vários tipos. Por exemplo, especificamente na aplicação utilizada, o modo de representação simplificado de armaduras em vista é menos flexível do que no CAD. Acaba por ser mais fácil fazer um corte normal para mostrar determinados pormenores na forma da armadura (e.g. ganchos) do que incluir manualmente essa representação simbólica na vista.

A grande viragem no detalhe de betão armado está na passagem de informação baseada em objetos apenas geométricos para objetos que conjugam a geometria com informação adicional a eles associada. No caso das armaduras de betão armado, tal traz grandes vantagens, porque permite usar a informação em várias fases do processo e por vários intervenientes, além da possibilidade de a manter atualizada em tempo real quando ocorrem alterações. A grande desvantagem deste processo é que, embora o rigor e nível de informação acessível sejam superiores, o trabalho de detalhe ao nível do projeto é bastante maior. Tipicamente, o detalhe satisfatório ao nível do projeto de betão armado é de secções genéricas de armadura e a sua estimativa em termos de quantidades é mais superficial. O aumento do nível de pormenorização vem a custo de um consumo de recursos e de um nível de exigência de detalhe e organização superiores, com a possibilidade de uma integração além do projeto em si.

Uma das maiores dificuldades e, possivelmente, um dos maiores fatores de desapontamento, na utilização de uma aplicação BIM, é a reduzida eficiência e fluidez na manipulação dos modelos quando o número de objetos é bastante elevado (outros fatores como o grau de complexidade dos objetos também são importantes, mas mais difícil de mensurar e comparar). A título de exemplo, o modelo final de arquitetura tinha 1250 objetos e ocupava cerca de 400 Mb. O da

estrutura tinha mais do dobro dos objetos, aproximadamente 3000, e ocupava cerca de 30 Mb, ou seja, tinha mais do dobro dos objetos e menos de um décimo do tamanho em memória.

A utilização de processos BIM só faz verdadeiramente sentido se a integração entre as diferentes fases do desenvolvimento de um empreendimento e os diferentes intervenientes estiverem sincronizados e verdadeiramente mentalizados para empregarem um processo colaborativo. De outra forma, o consumo de recursos não é otimizado e as verdadeiras potencialidades desta tecnologia tornam-se subaproveitadas. Em suma, as mais-valias do BIM só são conseguidas na sua totalidade em processos colaborativos entre todas as partes, da conceção à utilização, de forma organizada e estruturada, com procedimentos bem definidos.

Com as rápidas mudanças na indústria, é fundamental estar modernizado. Certamente que, como em todas as tecnologias e aplicações, existem melhorias a realizar. Mas é importante referir que a evolução no rumo certo só será conseguida à custa do feedback dos intervenientes, principalmente dos utilizadores destes processos.

Sem qualquer margem para dúvida, este tipo de tecnologia irá consolidar-se e a tendência será a utilização cada vez mais acentuada de modelos tridimensionais “inteligentes” como forma de troca de informação no setor da construção. Muito provavelmente, os típicos desenhos 2D de projeto, como base de partilha de informação, estarão, brevemente, associados ao passado.

Referências

- [1] Computer Integrated Construction Research Program. BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.1. University Park, PA, USA: The Pennsylvania State University, 2011.
- [2] “Guide à l'intention des maîtres d'ouvrage publics pour la négociation des rémunérations de maîtrise d'œuvre: loi MOP”, Paris: Direction des journaux officiels, France. 2008.
- [3] “Décomposition des tâches de maîtrise d'Œuvre”, Syntec-Ingenierie, CICF, UNAPOC, UNTEC, 2004.
- [4] BIMForum, Level of Development Specification 2015, Version 2015.
- [5] Bowen, Brian, Robert P. Charette, and Harold E. Marshall. 1992. Uniformat II: a recommended classification for building elements and related sitework. Gaithersburg, MD: U.S. Dept. of Commerce, National Institute of Standards and Technology
- [6] Construction Specifications Institute, and Construction Specifications Canada. 2010. MasterFormat, 2010 update: master list of numbers and titles for the construction industry. Alexandria, VA: Construction Specifications Institute.
- [7] ISO 3766:2003, Construction drawings – Simplified representation of concrete reinforcement.

ENERGY ANALYSIS USING COOPERATION BETWEEN BIM TOOLS (REVIT AND GREEN BUILDING STUDIO) AND ENERGY PLUS

Kamar Aljundi ⁽¹⁾, Armando Pinto ⁽²⁾, Fernanda Rodrigues ⁽¹⁾

(1) RISCO, Civil Engineering Department, University of Aveiro, Aveiro, Portugal

(2) LNEC, Civil Engineering National Laboratory, Lisboa

Summary

Building design starts with the inception phase and follow to the digitally representation of the design program in order to obtain a real approach of the final construction product. Building Information Modelling (BIM) tools provide digital models very similar to the reality. During this digital process, the information can be managed during the whole lifecycle of the project by a collaborative environment that BIM methodologies and tools provide. This paper depicts the results about the reliability and flexibility of energy analysis using BIM-based simulations (with Revit® software and Green Building Studio Autodesk®), as well as the benefits and challenges of these BIM tools when compared with Energy Plus results and measurements. These tools were used to study the thermal and energy performance of a well-insulated test cell and to study the impact of a change of thermal mass and insulation thickness to figure out the advantages and disadvantages of each tool. It was concluded that these BIM tools enabled the designers to easily experiment different design alternatives for the entire life cycle of the project, before they start implementing the final design solutions, saving time and money, while contributing for the achievement of more energy efficient buildings.

1. Introduction

Nowadays the growing concern about climatic changes and the high exigency of buildings' design regulations have powerful impact on their energy performance. So, special attention to architecture, structure, constructive elements and installations should be developed and given [1]. This requires a straight collaborative approach among all the specialist and decision makers involved, and the Building Information Modeling (BIM) methodology is pointed out as a reliable process to achieve those goals [2]. BIM consists on a process of generation and management of all the information corresponding to the building in the design and execution phase and during all its life cycle. This methodology use 3D models containing all the

information about geometry, spatial relations, constructive processes, quantities and materials properties [3]. BIM tools allow easy simulation and consequent selection of different and more efficient solutions of the envelope and thermal mass, taking into account the building lifecycle. The main objective of this study is to analyze the potentialities of thermal simulation with software tools included in a “BIM software” to study the impact of envelope thermal insulation and thermal mass on the thermal comfort of a test cell. It will focus on the Energy analysis using BIM tools (Autodesk® Revit® and Green Building Studio Autodesk® (GBS)), the input difficulties and limitations and the outputs accuracy that were found during the design process, when comparing with a recognized validate software (EnergyPlus®).

2. Methodology

2.1 General description

To analyse the performance of thermal simulation with Revit and GBS in this study, the results of an experimental evaluation of a test cell placed in LNEC-National Laboratory of Civil Engineering in Lisbon [4] were used. This test cell was selected due to its simplicity and the existence of a previous experimental evaluation of all the boundary conditions (Figure 1), that allows to validate the use of this software. As it is a test cell, it also has the advantage of avoiding the uncertainty associated to occupancy and internal heat gains of real buildings, making it a good starting point to analyse the performance of those tools.

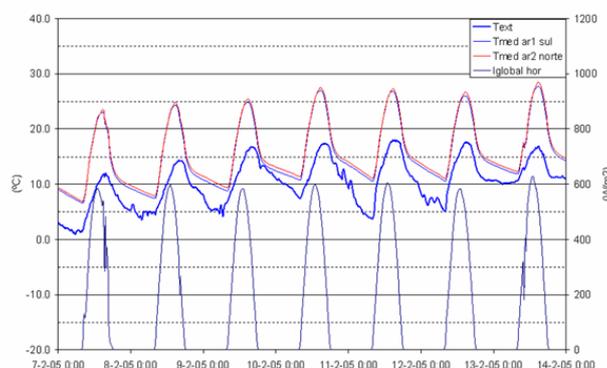


Figure 1: Measured temperature of the test cell in LNEC [4].

Since the experimental mock-up described in section 3.1 did not cover all the configuration required to assess the impact of thermal insulation and thermal mass change, it was necessary to test and use a validated software (EnergyPlus®) to obtain a set of results of those particular aspect of sustainable building design. Energy Plus (E+) has been tested and validated since 1993 and it is presently considered a reference tool for sub-dynamic thermal simulation [5, 6]). With this software, it was possible to produce accurate results that were crucial to check the results obtained by Revit 2016 and GBS. The stages of this study have been summarised in Table 1.

Table 1: Methodology stages and objectives.

Stage number	Stage description	Stage objectives
1	Information from test cell and experimental results	Ability to introduce the following data:
2	Development of thermal model of test cell with BIM tools and E+	Weather data
3	Comparison between calculated and experimental results	Material properties
4	Parametric study of the impact of thermal insulation and thermal mass with BIM tools	Boundary condition
5	Parametric study of the impact of thermal insulation and thermal mass with Energy Plus	Compare with measurements
6	Results analysis	Tools performance to assess the impact of:
		Thermal insulation
		Thermal mass

2.2 Simulation Tools description

Revit® software is a BIM tool that allow professional designers to build and maintain higher-quality and more energy-efficient buildings. Using the information of the models designed with Revit allow architects, engineers, and construction firms to make their decisions collaboratively earlier in the design process to deliver projects more efficiently [7]. Any design changes made in any Revit plan, elevation or cross section are automatically updated throughout the model, keeping designs and documentation coordinated and more reliable [7].

GBS is a flexible cloud-based service that allows the designer to run building performance simulations and optimize energy efficiency earlier in the design process, helping to extend the ability to design high performance buildings consuming less time and at lower costs when compared with conventional methods [8]. As mentioned in the previous section the test cell was also simulated with E+ to obtain reliable results to compare with the results obtained with the other tools. To simulate the test cell model with E+, a SketchUp® model constructed with the OpenStudio plugin was first developed. SketchUp® is a graphical interface used to reproduce the geometry of the model and the thermal zoning division (in this case only a thermal zone). The annual thermal behaviour of the building was simulated and calculated with the E+ engine, adopting the conduction transfer function (CTF) method to solve the heat conduction and envelope surface energy balance.

In this study, because of their simplicity and use to study annual heating and cooling demand, it was also used a seasonal stationary method to assess the annual heating and cooling load of the test cell [9].

3. Case study

3.1 Information from test cell and models

The test cell is shown in Figure 2 and has 8,6 m² of internal floor area, with an interior height of 2,35 m, and a window facing south that represents 11% of the floor area. The test cell has the following characteristics (all layers described from outside to inside):

- Ground floor: 23 cm pre-fabricated slab (with ceramic blocks and pre-stressed concrete beams), 3 cm of concrete and 60 mm of EPS ($U_{\text{floor}}=0,57 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$).
- Flat roof: 3 cm of concrete, 10 cm of concrete regularization, 5 mm of waterproof membrane, 23 cm of pre-fabricated slab (with ceramic blocks and pre-stressed concrete beams), 15 mm of plaster, and 60 mm of EPS ($U_{\text{roof}}=0,47 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$).
- Walls: 15 mm of plaster, 11cm of ceramic brick, 5 cm of air gap, 11 cm of ceramic brick, 15 mm of plaster and 60 mm of EPS ($U_{\text{wall}}=0,40 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$).
- Window facing south: Single glazed aluminium window (with 0,90 m x 0,92 m; $U_w=5,9 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$; $g =0,85$).
- Door facing east: opaque aluminium door, 60 mm of EPS (with 0,72 m x1,90 m; $U_d=0,49 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{C})$).

Figure 2 shows a photography of the test cell placed in LNEC, Lisbon (Figure 2a), the Revit 3D model (Figure 2b), its plan (Figure 2c) and cross section (Figure 2d).

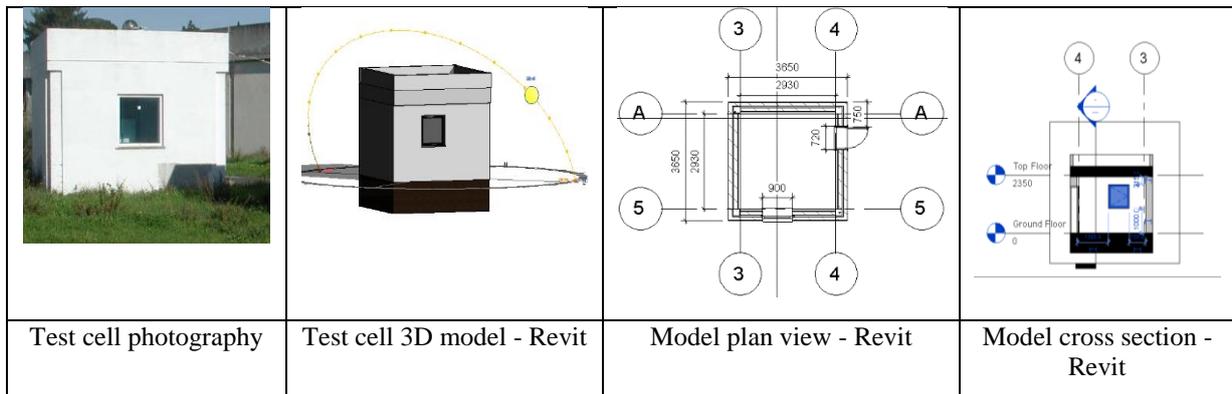


Figure 2: 3D model, plan and cross section of the test cell.

In Figure 1 has been presented the measurement results of indoor and outdoor temperatures in two similar test cells and the global horizontal solar radiation. The measurement was carried out in February, 2005, with outside average air temperature of 10°C and sunny days. Due to solar heat gains, thermal insulation and low thermal mass, the inside temperature has daily variation of almost 15°C.

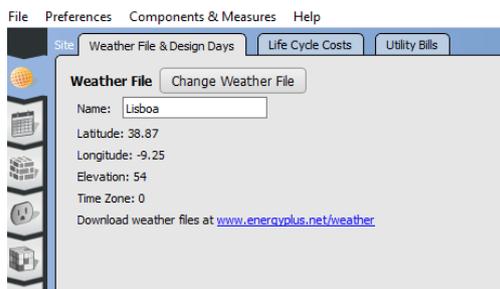
3.2 Thermal Models development throughout BIM tools and Energy Plus

Using Revit as a BIM tool the design process of the test cell model was facilitated. Each element was designed by inserting each layer with its physical and thermal properties, compatible with the real materials' characteristics of the test cell mass [7]. While the different situations are tested, Revit has worked efficiently with improved performance during redraw process, by navigating models more smoothly and continuously without having to wait for the software to

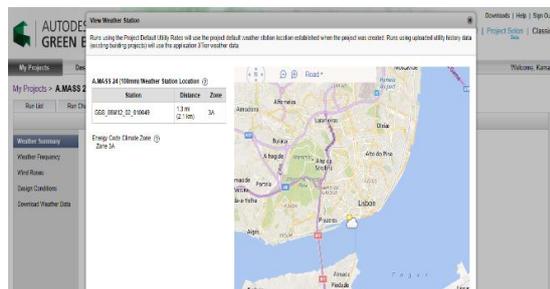
finish drawing elements at each step [7]. The model with its 3D views and sections was updated automatically. Once the energy analysis button is clicked, the results run in both programs, Revit and GBS, due to their collaborative capabilities. This 100% interoperability between these two tools save time to designer team and help them to obtain an easy cooperation and wisely decisions during the design process [7]. The Revit 3D model of the test cell has a more realist aspect than using the Open Studio plugin model. However, as the interoperability between Revit and E+ was not obtained it was necessary to develop a model with Open Studio to be used by E+. The development of this model was more complex without the data base management of construction materials, but the major limitation is the lack of interaction with other design areas and updates, as it is possible with Revit.

The Revit and GBS presented limitations in the input of weather data from other sources than the ones available in the software (Figure 3b). This is a limitation for the analysis of thermal performance of the test cell. Thus, in Revit Lisbon was chosen as the test cell location (Figure 3b), consequently the weather data was selected and it is not allowed to update it or to upload another weather data file as it is possible in E+ (upload a weather data file with *epw* extension, Figure 3a).

Figure 4 and 5 depict the weather data from E+ and Revit files. The weather data from Revit has slight differences compared with energy plus weather data in the temperature and solar radiation.



Weather data inserted by E+



Weather data inserted by GBS

Figure 3: Weather data uploading process using E+ and GBS.

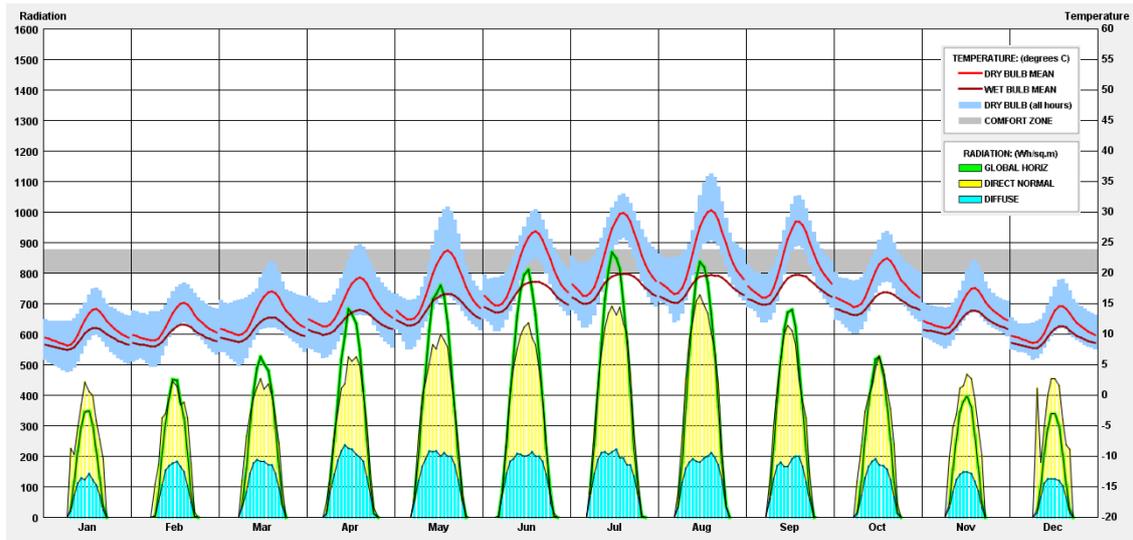


Figure 4: Data from Energy Plus weather file of Lisboa.

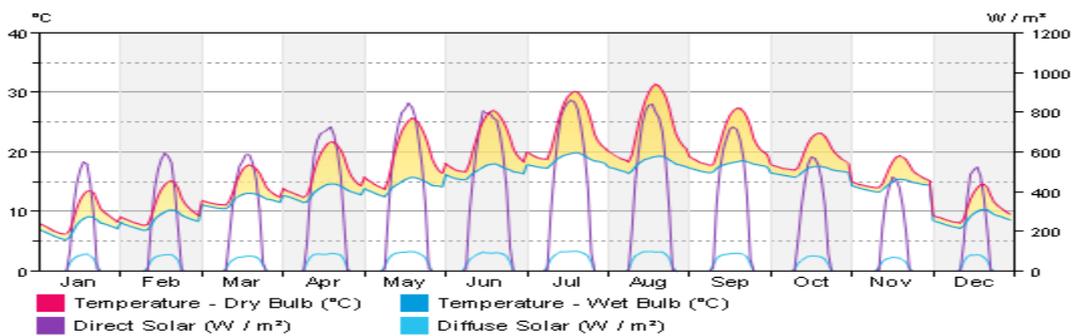


Figure 5: Data from Revit weather file of Lisboa.

GBS and Revit were not able to calculate the internal temperature, only the heating and cooling loads. This constitutes a major drawback of those tools to study thermal comfort, green buildings and nearly zero energy buildings. Energy Plus as a detailed building energy simulation tool has the ability to calculate internal environmental conditions. Figure 6 depicts the measurements values of outdoor and indoor air temperature and the calculated values with Energy Plus. Analysing the results of measurements and calculation with E+, it was concluded that the thermal models gather the thermal performance of test cell and the measurements and simulation has an average air temperature of 15.5°C, the calculation has an average error (MBE, equation 1) of -1% (0.2 °C) and a root mean square error (RMSE, equation 2) of 6% (0.9 °C).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{air_{Energy+}} - T_{air_{measured}})_i}{n} / T_{air_{measured}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T_{air_{Energy+}} - T_{air_{measured}})_i^2}{n}} / T_{air_{measured}} \quad (2)$$

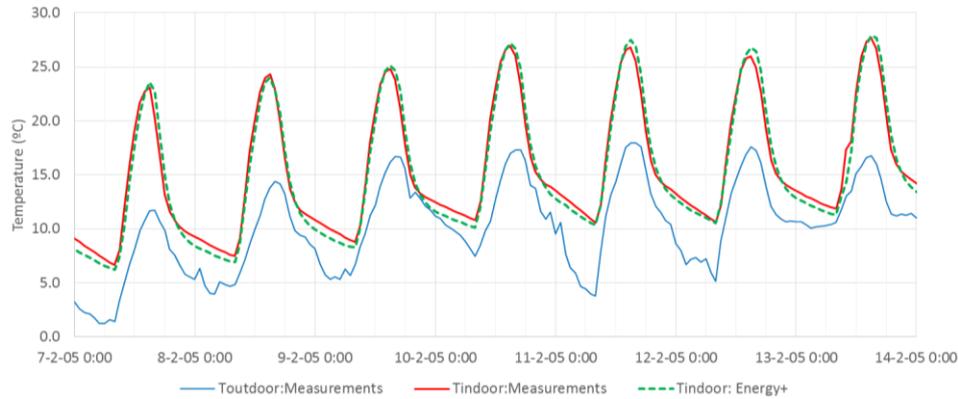


Figure 6: Internal/External temperature obtained with Energy Plus and by measurements.

Another limitation of Revit and GBS is the fact that this software always considers by default heat gains for occupancy, lighting and equipment. In the present case study, it was considered 8 W/m^2 , despite the test cell has no internal heat gains.

4. Parametric study: impact of thermal insulation and thermal mass with BIM tools, EnergyPlus and seasonal method

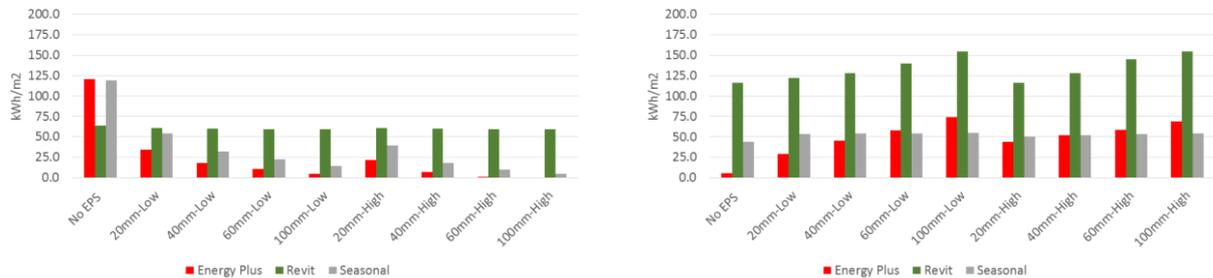
The test cell is insulated with 60 mm of EPS and has low thermal mass due to the existing internal insulation layer. To assess the impact of thermal insulation, the thermal performance of the test cell was simulated with the validated model and with several insulation thicknesses as given in Table 2. In the case named “low” thermal mass, the insulation is applied in the interior face of the construction elements; and in the solution named “high” the insulation is applied in the outside face of the roof, the floor and in the air gap of the walls. For the “low” solutions the thermal inertia of the test cell is low, while in “high” the thermal inertia is high [10]. The heat transfer coefficient of the different solutions is given in Table 2. In all cases the window thermal transmittance (U_w) was $5,9 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$. The results will be presented in the next section.

Table 2: Parametric study of the impact of thermal insulation.

Thermal insulation thickness	Solutions	U_{wall} $\text{W/(m}^2\cdot\text{°C)}$	U_{roof} $\text{W/(m}^2\cdot\text{°C)}$	U_{floor} $\text{W/(m}^2\cdot\text{°C)}$
no insulation	00_high,	1,02	1,56	3,70
20 mm	20_low ; 20_high,	0,68	0,89	1,34
40 mm	40_low ; 40_high,	0,51	0,62	0,80
60 mm	60_low ; 60_high,	0,40	0,47	0,57
100 mm	100_low ; 100_high,	0,29	0,35	0,36

The nine parametric solutions described in Table 2 have been tested to experiment the flexibility and the reliability of Revit/GBS to study the impact of changes in thermal insulation of opaque building envelop and the effect of thermal mass changes between low and high, against the results obtained with Energy Plus. The annual heating and cooling loads calculated with Energy Plus, Revit/GBS and seasonal method are shown in Figure 7. With those tools, as it is expected, heating loads using high thermal mass and thermal insulation were smaller than using low

thermal mass and lower thermal insulation. It's interesting to note that the seasonal method gives better agreement with energy plus, for heating and cooling demand, than the Revit/GBS.



Annual heating loads.

Annual cooling loads.

Figure 7: Heating and cooling loads comparison between Energy Plus, GBS and Seasonal.

5. Results discussion

5.1 General aspects

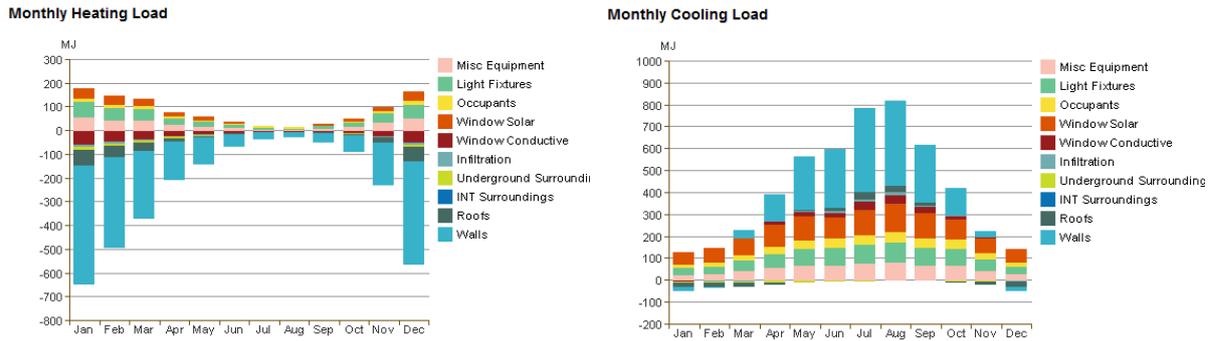
The heating and cooling loads calculated with E+ and Revit/GBS show a large difference, and Revit over predicts the heating demand on average 5 times and the cooling demand 2.5 times. Despite their simplicity, the seasonal method predicts correctly the cooling load, while over predicts the heating load when compared with the energy plus.

5.2 Assessment of the impact of thermal insulation thickness

As presented in Figure 7, increasing the thermal insulation thickness of 20 mm to 100 mm with high thermal mass in energy plus it is predicted a decrease of 100% in heating demand and an increase in cooling demand of 60%, while with Revit it is predicted a small decrease in heating demand of 5% and an increase in cooling demand of 35%. With the low thermal mass solution, the impact of changes of thermal insulation thickness in heating and cooling load are almost the same. These results show that Revit is a tool with limited capacity to assess the impact of thermal insulation thickness changes in the heating and cooling demand of this test cell, despite giving a correct trend.

In figures 8 and 9, the monthly heating loads for the test cell are shown with 60 mm of insulation layer (EPS) low thermal mass calculated using Revit/GBS and Energy Plus. In this figures both tool predict heating and cooling demand of the test cell in February, agreeing with the temperature measurements in the test cell (Figure 1), that were higher than 25°C during the day and lower than 20 °C in the night.

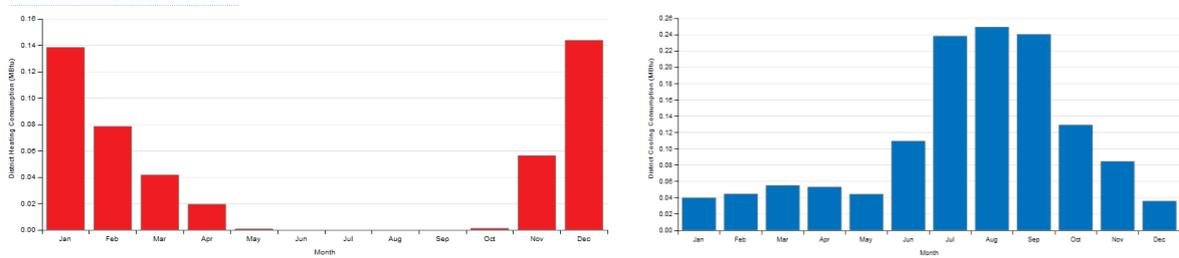
It is also highlighted that both Revit and GBS presented more interesting graphs, showing details about building heat transfer, contrasting with E+ which presents a bar with only the total for heating/cooling demand, do not allowing the designer to identify weak points that could be improved.



Monthly heating loads

Monthly cooling loads

Figure 8: Results provided by Revit 2016 - 60 mm thermal insulation low thermal mass.



Monthly heating loads by E+

Monthly cooling loads by E+

Figure 9: Results provided by Energy Plus - 60 mm thermal insulation low thermal mass.

5.3 Thermal mass

By changing the position of thermal insulation layer between the inside surface to the outside face of the roof and floor and the air cavity in the walls, it was possible to simulate the effect of thermal inertia changes by Revit/Green Building Studio and by Energy Plus. As shown in Figure 7, all simulation models predict higher heating demands for low thermal mass model than for high thermal mass and the cooling load is almost the same and independent of the thermal mass of the test cell. In Energy Plus the change in heating loads for the 60 mm test cell with the high thermal mass compared with low thermal mass were 85%, 65% with the seasonal method while with Revit there were no change, giving the idea that Revit is not assessing correctly the effect of thermal inertia of construction.

In Figures 10 are given the monthly heating and cooling loads for the test cell with 60 mm thermal insulation and high thermal mass calculated with energy plus. Comparing those results with the previous ones for the low thermal mass test cell (Figure 8 and 9) it is interesting to note that the thermal model with high thermal mass in winter the cooling demand is almost zero, due to the energy storage in the thermal mass, which is also responsible for the decrease in the heating demand of the test cell.

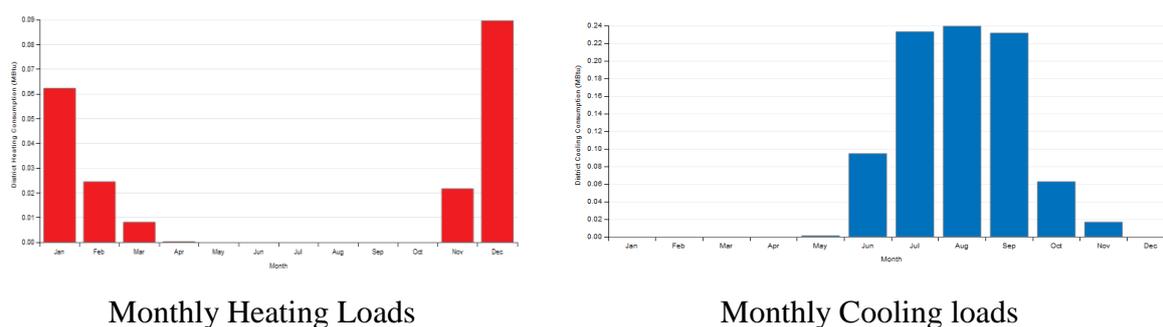


Figure 10: Results provided by Energy Plus - 60 mm thermal insulation high thermal mass.

6. Conclusion

To conclude, BIM tools have provided an integrated solution about testing the building during the design phase and exporting the model softly from one tool to another inside BIM platform of the same software house (with 100% of interoperability). The model can be analysed automatically and allow a simple study of alternative solutions to be discussed directly through this BIM collaborative environment. The use of BIM to study this simple test cell presents several limitations, because we were not able to study the passive behaviour of test cell and were compelled to use HVAC system to assess the heating and cooling load. In this calculation Revit present big differences compared with the more detailed and validated software (Energy Plus) and also presented to be a tool that has bigger errors than the seasonal annual method, usually used in the thermal regulation. This research will continue to identify the sources of this errors in Revit/GBS tool. For this, a deep analysis for the calculation method used by Revit is in progress.

References

- [1] A Schlueter, F. Thesseling, "Building Information Model based energy/exergy performance assessment study in the early design stages", in Institute of Building Technologies, Building Systems Group, ETH Zurich, Switzerland 2008 Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2008.07.003>.
- [2] P. Capone, V. Getuli, and T. Giusti, "Constructability and safety performance based design: a design and assessment tool for the building process," in The 31st International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining (ISARC 2014)
- [3] Svetlana Olbina, Thomas Reeves, Raymond Issa, Validation of Building Energy Modeling Tools: Ecotect™, Green Building Studio™ and IES<VE>™, Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference.
- [4] A. Pinto, "Life cycle assessment applied to the environmental and energy analysis of buildings". Instituto Superior Técnico, of Universidade Técnica de Lisboa, 2008. PhD thesis.
- [5] L. Tronchin, K. Fabbri, Energy performance building evaluation in Mediterranean countries: Comparison between software simulations and operating rating simulation, *Energy and Buildings* 40 (2008) 1176–1187.
- [6] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert, B. T. Gri_th, Contrasting the capabilities of

- building energy performance simulation programs, *Building and Environment* 43 (4) (2008) 661–673.
- [7] Autodesk website: <http://www.autodesk.com/>.
- [8] Autodesk Green Building Studio: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>.
- [9] ISO 13790:2008 - Energy performance of buildings -- Calculation of energy use for space heating and cooling
- [10] Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 com as alterações introduzidas pela Declaração de retificação n.º 127/2014 (in Portuguese).

CONTRIBUTO DOS MODELOS BIM PARA A EXPOSIÇÃO, REPRESENTAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DA ARQUITETURA

Rita Rebelo Póvoas ⁽¹⁾, Francisco Teixeira Bastos ⁽²⁾

(1) Estudante do Instituto Superior Técnico, Lisboa

(2) Instituto Superior Técnico, Lisboa

Resumo

O recurso da arquitetura às áreas artísticas, humanas, científicas e tecnológicas evidencia a multiplicidade de informação sintetizada no objeto arquitetónico, tornando a sua comunicação algo difícil. Por outro lado, por se tratar de matéria construída, pelas funções que lhe estão associadas e pelo carácter privado de muitos dos seus exemplares, a sua visita é muitas vezes impossibilitada. Assim, o contacto com a arquitetura relevante é por isso maioritariamente feito por via de meios de comunicação e não através dos seus originais. Torna-se por isso essencial investir em modos de divulgação de arquitetura que aproximem o objeto comunicante do objeto comunicado. Para tal procurou-se, explorar a forma como os objetos de arquitetura são dados a conhecer, abordando para tal as capacidades e limitações de cada um dos meios tradicionais de comunicação da mesma – o desenho, o texto, a maquete, a fotografia e o vídeo – para expor, representar e documentar arquitetura. Procurou-se também analisar o BIM, considerando para tal, não só as competências do software, mas também as competências atribuídas pelos meios e comunicação, passíveis de lhe serem associados. Por último, procurou-se testar algumas das qualidades de uma ferramenta BIM para esta área de conhecimento, através do exercício prático de modelação da Casa Albarraque em Revit. Concluiu-se que o BIM é uma ferramenta relevante para expor, representar e documentar arquitetura, não só devido à capacidade de suportar outros meios de comunicação, tirando partido das qualidades dos mesmos, como também pelas próprias qualidades desta tecnologia, que se apresenta uma alternativa única para experienciar arquitetura.

1. Introdução

A investigação apresentada trata o contributo que a tecnologia BIM apresenta para a qualificação do tratamento museológico da arquitetura, considerando aos métodos existentes. Neste universo mais vasto circunscreveu-se a questão investigada na relevância que os meios de comunicação de arquitetura assumem para a divulgação e apresentação de obras de qualidade, uma vez que o contato com os objetos *originais* se encontra, na maioria das vezes,

inacessível. Neste sentido, reporta-se como necessário garantir que a arquitetura seja descrita e apresentada aos seus observadores da forma mais aproximada relativamente ao seu original. Para tal, importa avaliar a qualidade da aproximação, entre o objeto *original* e os diferentes suportes comunicativos, partindo de critérios próprios para o tratamento museológico da arquitetura. Assim, com base no *International Council of Museums* [1] [2] e na Direção Geral de Património-Cultural [3], foi descortinada uma trilogia de análise para avaliar os meios utilizados para comunicar arquitetura (meios tradicionais e tecnologia BIM) conforme ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Vetores fundamentais para o tratamento museológico da Arquitetura.

Para estimar a qualidade de qualquer suporte comunicativo seja para expor, representar ou documentar arquitetura tornou-se importante definir previamente o que são qualidades próprias da arquitetura. Assim, a partir do pensamento de Bruno Zevi [4] foram consideradas três grandes qualidades da arquitetura que devem ser comunicadas: as suas qualidades sensitivas, físicas e identitárias (Figura 2).

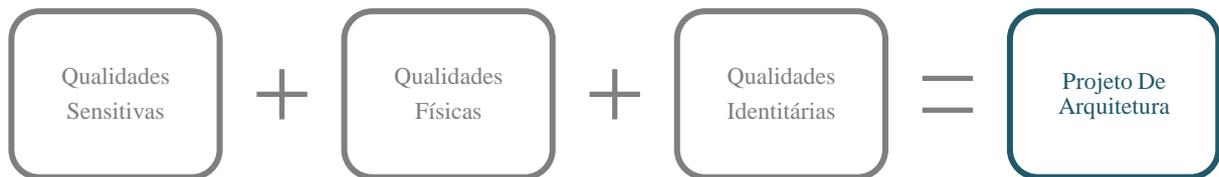


Figura 2: Qualidades da Arquitetura.

Foi então, a partir destas três categorias, que se procurou avaliar a capacidade dos diferentes meios para expor, representar e documentar as qualidades da arquitetura.

Desta forma, para a exposição de arquitetura, um dos aspetos mais relevantes a considerar prende-se com a descrição das qualidades sensitivas de um espaço. Assim, quando se trata a dimensão sensitiva da arquitetura, procura-se apresentar as suas qualidades sensoriais e emocionais, revelando tão-somente os elementos estruturantes da atmosfera e dos ambientes que o espaço apresenta [4].

No caso da representação, considera-se pertinente comunicar a dimensão sensitiva e física do objeto arquitetónico. A representação deverá então procurar descrever integralmente todos os elementos do projeto permitindo, no limite, a sua reconstrução [4].

Para a documentação da arquitetura, considera-se imprescindível o registo das qualidades sensitivas e físicas do objeto arquitetónico, acrescentando-se ainda a descrição das qualidades identitárias do projeto em causa. As qualidades identitárias dizem respeito ao registo da memória, identidade e os significados de um dado objeto arquitetónico nos seus diversos

contextos sociais, culturais, económicos e políticos [4]. Estes conceitos encontram-se ilustrados no esquema da Figura 3.

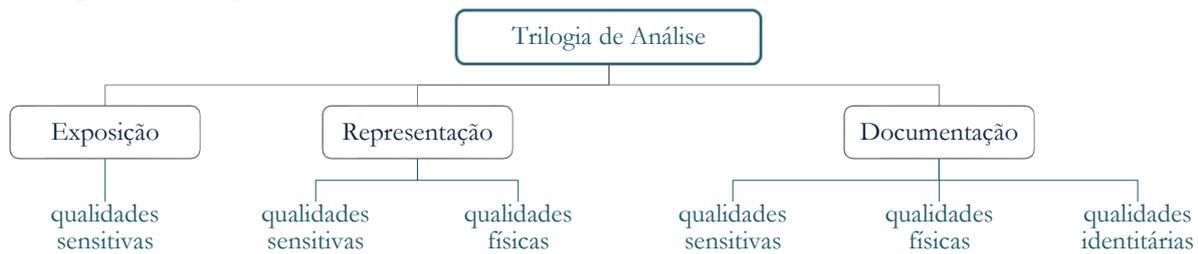


Figura 3: Trilogia de análise adotada

Os pressupostos estabelecidos têm como objetivo fundamental lançar o debate para possíveis desenvolvimentos na área da exposição, representação e documentação de arquitetura, centrando a discussão nas mais-valias que a tecnologia BIM possa assumir relativamente aos métodos tradicionais de comunicação, bem como nas novas valências que a mesma suscita para o campo da experiência do espaço arquitetónico.

O trabalho aqui apresentado, de índole teórico-prática, procura destacar algumas das mais-valias que o BIM trás para o tratamento museológico da arquitetura, focando-se nos seus suportes comunicativos.

Numa última fase, com base em toda a informações consultada, tornou-se possível calcular alguns dos benefícios da tecnologia BIM comunicar arquitetura. Considerando para tal, não só a capacidade de agregar as competências apresentadas pelos métodos tradicionais de comunicação, mas também de se constituir uma alternativa com valências únicas de experienciar arquitetura.

2. Contextualização do tema

Num primeiro momento da investigação considerou-se pertinente aprofundar alguns conceitos que, embora independentes da questão investigada, se relacionam com ela destacando aqui aqueles que se afiguraram pertinentes destacar. Neste sentido procurou-se investigar o tema dos museus e a missão deste tipo de instituições e, merecendo particular atenção, o tema dos museus digitais, decisivos para compreender o alcance e a complexidade do tema em análise [5] [6] [7] [8].

Estudou-se também o tema do ciberespaço como plataforma e veículo de cultura, bem como as possibilidades que a estrutura rizomática oferece ao universo da museologia da arquitetura. Procurou-se também ter um conhecimento mais exato no que diz respeito à realidade virtual e, no seio desta, a realidade imersiva [9] [10]. Para além disso aprofundou-se o tema da era da informação, tomando conhecimento do impacto da mesma na forma como se comunica arquitetura atualmente, bem como das plataformas existentes de exposição, representação e documentação da arquitetura online [11] [12] [13] [14]. Por fim considerou-se pertinente estudar a problemática da comunicação da arquitetura [15] [4] [16] [17] [18].

3. Aplicação da trilogia de análise aos meios tradicionais de comunicação

A investigação sobre a exposição, representação e documentação da arquitetura prosseguiu por via da pesquisa individualizada de cada um dos meios tradicionais de comunicação da arquitetura – o desenho livre, o desenho técnico, o texto, a maquete, a fotografia e o vídeo –, de forma a compreender o papel de cada um no exercício, e subsequente comunicação da arquitetura.

Após análise sistemática dos diferentes meios de comunicação pode concluir-se que a exposição, representação e documentação de arquitetura é tanto mais rica quanto mais diversificados forem os meios utilizados para a comunicar.

Uma vez que cada um dos meios referidos se encontra intimamente relacionado com a produção do projeto ou pelo contributo único que os caracteriza, considera-se então que são todos eles relevantes para comunicar as qualidades arquitetónicas.

Por essa razão para comunicar arquitetura com rigor é necessário recorrer a suportes heterogéneos que permitam complementar o discurso descritivo, colmatando assim as limitações inerentes de cada um dos suportes comunicativos, representando assim de forma mais completa as diferentes qualidades sensitivas, físicas e identitárias de um projeto.

A forma como a arquitetura se dá a conhecer, ainda hoje, encontra na comunicação do espaço o seu maior desafio, sendo esta uma problemática reclamada inclusivamente por Bruno Zevi [15]. Atualmente, não se tratando apenas de uma limitação de meios disponíveis ou da ineficácia da sua utilização, identifica-se que não existe ainda o uso pleno das potencialidades que a era da informação, mais digital, inteligente, interativa e sobretudo em rede oferece.

4. BIM: Estado de conhecimento

Sendo o BIM uma tecnologia orientada para a conceção e gestão do ciclo de vida de edifícios novos é neste sentido que têm vindo a ser promovidas investigações e conseqüentemente a evolução da sua tecnologia. No entanto, já alguns trabalhos têm vindo a ser desenvolvidos no campo da aplicação da tecnologia BIM a edifícios pré-existentes, especialmente sobre edifícios de relevância histórica ou patrimonial [19].

Nas últimas duas décadas assistiu-se a um crescente processo de digitalização, gestão e criação de plataformas virtuais com o objetivo de disponibilizar e permitir o acesso a informações relativas a património histórico. O processo de digitalização apostou inicialmente na modelação virtual 3D para a documentação rigorosa da geometria e das propriedades visuais dos objetos arquitetónicos, recorrendo para isso à fotogrametria e ao laser *scanning*. Contudo a descrição das superfícies de um objeto arquitetónico não tem qualquer tipo de informação para além da descrição do invólucro que contem a matéria descrita [20].

Neste sentido a primeira aplicação da tecnologia BIM, ao serviço de edifícios já construídos, foi desenvolvida no âmbito de uma investigação levada a cabo por Yusuf Arayci em 2008. O

autor reclamou a necessidade de transpor a barreira da modelação gráfica 3D e adotar a ferramenta BIM de forma a dotar os modelos com informação multifuncional, interoperável, inteligente e multi-representacional. Esta investigação propunha o desenvolvimento de cidades mais sustentáveis e otimizadas. A investigação focou-se na adoção da tecnologia BIM para modelar edifícios já construídos combinando-a com a tecnologia do laser *scanning* [21].

Para além da informação construída no âmbito do sistema BIM, a inclusão de informação heterogênea, tal como o desenho, o texto, a fotografia e o vídeo, atestam a vocação dos modelos BIM para funcionarem como base de dados para armazenar a informação referente objeto arquitetónico simulado virtualmente [21].

Posteriormente, foi desenvolvido pelo *Dublin Institute of Technology* um novo conceito, o *Historic Building Information Modeling* (HBIM). O HBIM é um plug-in (extensão de software) do BIM que tem como objetivo produzir uma biblioteca de objetos paramétricos construídos a partir de informação histórica. Para tal é combinada a tecnologia BIM com a informação recolhida através de laser scanners e do levantamento fotogramétrico [22, pp. 369-370].

O HBIM foi utilizado num projeto de restauro em 2014 que, após a sua destruição causada por um terramoto, recorreu a esta tecnologia para simular e analisar o comportamento estrutural do edifício assim como para orçamentar e desenvolver o projeto de restauro [23, p. 1].

Ramtin Attar *et al.* desenvolveram o modelo BIM do escritório da Autodesk. O objetivo foi o de construir um modelo que funcionasse como base de dados de toda a informação sobre o edifício. Assim o modelo do edifício de relevância histórica, regista as diferentes intervenções que sofreu ao longo do tempo e opera como um repositório de informação capaz de descrever a geometria e a semântica associadas ao objeto arquitetónico. O autor acrescenta ainda que uma das motivações para a adoção do BIM foi a possibilidade de centralizar a informação referente ao edifício e permitir a produção de uma grande variedade de análises a partir do modelo [24, p. 3].

Em 2011, Stephen Fai *et al.* alerta que, apesar da proliferação da adoção do BIM para projetar e gerir o ciclo de vida de edifícios novos, é muito reduzido o número de investigações desenvolvidas com o intuito de explorar as capacidades do BIM para a gestão de informação relativa a edifícios construídos de relevância cultural [19, p. 1].

Apesar dos desenvolvimentos até à data, Logothetis *et al.* reforçam esta ideia em 2015 na revisão do estado da arte sobre a aplicação da tecnologia BIM ao património cultural [25, p. 177].

Stephen Fai *et al.* estudaram a construção de modelos BIM que incorporassem dados quantitativos, como é o caso de objetos inteligentes e a informação do seu desempenho estrutural, e informação qualitativa, tal como a inclusão de fotografias e elementos textuais. Os autores identificaram também a capacidade do BIM permitir organizar informação numa linha de tempo navegável, possibilitando assim o registo das alterações tangíveis e intangíveis que foram ocorrendo ao longo do ciclo de vida do edifício e eventuais projeções futuras [19, p. 1].

Todas estas capacidades podem ser exploradas como matéria de base para a exposição, representação ou documentação extensiva de um projeto de arquitetura relevante, enquanto matéria realizada ou enquanto processo.

A adoção da tecnologia BIM, podendo não se tratar de uma ferramenta imediatamente equacionada para a construção de museus virtuais de arquitetura, pode verificar-se útil como ferramenta de trabalho para o tratamento museológico de espólios de arquitetos ou gabinetes de arquitetura sediados em museus. Podendo tratar também edifícios demolidos ou edifícios que não chegaram a ser construídos como é o caso de alguns dos projetos de Louis Kahn.

4.1 BIM: Dificuldades Identificadas

A modelação em BIM de edifícios pré-existentes para expor, representar ou documentar arquitetura está ainda numa fase embrionária. As investigações nesta área de aplicação do BIM têm como denominador comum partir das capacidades tecnológicas disponíveis no sistema BIM, orientadas para servir a produção e gestão de edifícios novos, e adaptar essas capacidades aos objetivos da área de estudo.

Uma vez que os edifícios pré-existentes de relevância histórica apresentam muitas vezes elementos de geometria irregular, a modelação dos mesmos revela-se muitas vezes difícil [25, p. 179]. Por outro lado, os materiais também sofrem alterações à sua morfologia e propriedades originais, apresentando o desgaste próprio do uso e do tempo. Por isso, para documentar a heterogeneidade da morfologia do edifício ou o desgaste do mesmo, é necessário recorrer a mecanismos de análise tais como o laser scanner ou a fotogrametria [25, p. 179].

Para a construção de um modelo desta natureza a modelação em BIM tem de ser produzida manualmente, uma vez que ainda não existe a capacidade de reconhecer os planos através da nuvem de pontos ou dos levantamentos fotogramétricos, o que torna este método pouco eficaz. Neste campo, é apenas possível ultrapassar as dificuldades apresentadas pela falta de primitivas da linguagem das bibliotecas BIM através do recurso ao HBIM referido anteriormente [25, p. 179].

4.2 BIM: O contributo atual

Apesar de se verificar uma carência de ferramentas e software específico para tirar mais partido das potencialidades do BIM é já possível identificar as mais-valias de algumas das ferramentas existentes para este campo de aplicabilidade. Destaca-se alguns dos benefícios que o BIM comprovou trazer a este campo de investigação [25] [26]:

- Permitir o acesso virtual ao interior e exterior de um projeto, viabilizando a consulta de obras arquitetónicas inacessíveis de forma real;
- Permite, através da disponibilização de conteúdo, que estudantes e investigadores estudem e analisem o edifício, possibilitando assim promover e desenvolver mais conhecimento;
- Permite o registo da evolução do edifício ao longo do tempo, através da organização cronológica da informação e documentação do modelo;
- Permite estimar toda a estrutura do edifício através da utilização de imagens para considerar a textura, a volumetria e forma do mesmo;

- Permite simular de uma forma virtual diferentes propostas para reabilitações, reconstruções ou adaptações ao edifício original;
- Permite, por se tratar de uma modelação 3D comunicar informação a um público mais alargado, que tem mais dificuldade em interpretar a informação 2D;
- Permite consultar informação detalhada associada a cada elemento do modelo.
- Acrescenta-se também a capacidade de integração de diferentes tipos de dados heterogéneos, tais como o desenho, o texto, a fotografia, o vídeo e som e a possibilidade de extração de *renders*, *walkthougs* e maquetes 3D.
- Fica também em aberto o potencial que um conjunto de modelos BIM pode vir a representar, seja para a construção de museus de arquitetura virtual imersiva ou para a construção de arquivos de modelos BIM, onde é possível tirar partido do cruzamento de informação entre os diferentes modelos.

5. Aplicação da trilogia de análise ao Modelo BIM da Casa Albarraque

No âmbito da investigação apresentada, procurou-se explorar as capacidades que um software específico BIM, o *Revit Architecture 2016*, tem para expor, representar e documentar arquitetura. Após o exercício prático de construção do modelo da Casa Albarraque, do Arq. Raúl Hestnes Ferreira, distinguem-se dois tipos de informações consultáveis a partir do mesmo: a gerada e a associada.

Relativamente à informação gerada destaca-se:

- A completa descrição da geometria da casa, definindo todos os desenhos possíveis – plantas, alçados e cortes – do objeto arquitetónico.
- O modelo tridimensional que permite ao utilizador explorar a espacialidade da Casa em diferentes modos de visualização, selecionar a informação que pretende visualizar ou esconder. Assim, estão representadas no modelo todas as perspetivas possíveis sobre a casa.
- A identificação dos nomes e quantificação das áreas das divisões da Casa.
- A identificação dos materiais dos diferentes elementos do projeto com um nome, qualidades visuais e propriedades físicas, e quantificação da sua área e volume.
- A capacidade de associar links, descrições, e definir propriedades a cada um dos elementos do projeto.
- A possibilidade de criar imagens fotorealistas a partir do modelo.
- A capacidade criar vídeos de percursos no modelo (*walkthroughs*).
- Criar suportes bidimensionais (folhas), onde é possível apresentar a informação que se encontra no modelo disposta e arranjada nesse suporte.
- Relativamente á informação associada:
- Destaca-se a capacidade do modelo incluir dados qualitativos no modelo, através da inclusão de imagens de fotografias, desenhos livres ou técnicos nas folhas do modelo.
- Sendo possível também associar informação escrita e numérica a objetos do modelo.

5.1 Modelos BIM: Exposição

O modelo comunica de forma rápida, intuitiva e apelativa as qualidades sensitivas de um espaço através da manipulação do modelo e consulta das suas folhas (*sheets*).

O modelo produzido da Casa Albarraque permite ao utilizador explorar de forma interativa o modelo partilhando as qualidades atrativas próprias da manipulação e exploração tridimensional, tal como se verifica nos modelos de maquete.

Num segundo ponto, identifica-se a mais-valia de apresentar a casa de uma forma mais intuitiva a um público não especializado, uma vez que o modelo 3D prescinde de uma visão tridimensional treinada para imaginar os espaços modelados.

As imagens e vídeos *renders* produzidos a partir do modelo permitem expor o projeto da casa sem o vestígio das marcas do tempo, as imperfeições próprias do objeto *original* e sem o mobiliário e as naturais apropriações do espaço. Estes meios, distintos da fotografia e do vídeo, permitem focar a atenção do visitante apenas na arquitetura apresentando-se como uma visita virtual distinta da visita real. Permite também apresentar perspetivas do projeto sobre o qual pode não existir informação nos restantes suportes, como por exemplo em perspetivas aéreas.

Foi explorada também a capacidade de inserção de diferentes meios comunicativos de arquitetura – imagens (que podem ser desenhos ou fotografias) e texto–, e organizada essa mesma informação nas folhas do documento, complementando assim o discurso expositivo e tirando os benefícios destes suportes únicos.

Outro ponto a destacar, no âmbito do caso de estudo do modelo da Casa Albarraque, recai sobre a possibilidade do mesmo ser facilmente consultado e partilhado através da internet. Assim, e ao contrário da maquete, o modelo partilha deste importante veículo de divulgação de informação. Tal como referido anteriormente, a compatibilidade do suporte comunicativo com o ciberespaço é atualmente condição *sine qua non* para a exposição de arquitetura numa sociedade que se quer cada vez mais informada, com acesso a informação inteligente, em rede e mais conservadora na utilização de recursos naturais.

Por outro lado, o modelo da Casa Albarraque reúne informação heterogénea como a visual (*renders* e vídeos), a espacial (modelo 3D), a técnica (desenhos técnicos, materiais, as diferentes listas) e a histórica (importação de documentos e texto). A reunião dessa informação torna o modelo um meio expositivo apelativo a um público alargado com níveis de interesse distintos entre si. A interoperabilidade do modelo garante também a possibilidade aos utilizadores de consultarem o modelo no suporte que melhor servir os seus interesses pessoais e selecionar o conteúdo no qual estejam mais interessados.

5.2 Modelos BIM: Representação

O modelo da Casa Albarraque para além da descrição das qualidades sensitivas da arquitetura, tal como referido anteriormente, descreve também de forma integral as suas qualidades físicas. Assim, permite descrever tridimensionalmente toda a geometria do projeto permitindo, a partir do mesmo, consultar todas as plantas cortes e alçados que se pretendam.

O modelo da Casa representa também a materialidade dos diferentes elementos do projeto assim como as qualidades visuais associadas a cada material. Para a representação da dimensão física do projeto, o modelo tem associado a cada material as suas propriedades, tais como: o comportamento térmico, mecânico e a resistência do material.

Uma vez que o modelo pode ser navegável, algumas das sensações que o espaço suscita no observador podem ser experimentadas através da exploração do modelo em realidade virtual. Este tipo de experiência pode ser apenas comparado com a consulta de modelos de maquete que dificilmente alcançaria o nível de detalhe e realismo a que se conseguiu chegar com este modelo.

O modelo da Casa desenvolvido constitui-se uma ferramenta de representação que pode ser utilizado para continuar a representar alterações futuras ao edifício e servir de suporte para a produção de análises e para a gestão e manutenção do mesmo ao longo do seu ciclo de vida. Permite também informar e ensaiar diferentes propostas de alteração ao projeto *original* no âmbito de projetos de reconstrução, reabilitação ou recuperação do edifício de forma informada e rigorosa.

5.3 Modelos BIM: Documentação

Tal como enunciado anteriormente o modelo da Casa Albarraque descreve qualidades sensitivas e físicas do projeto de arquitetura, e também de uma forma especial, procura refletir as qualidades identitárias do mesmo.

O contributo do BIM para a comunicação das qualidades identitárias do projeto, associadas à memória ou aos simbolismos de um edifício, identifica num primeiro momento, a capacidade do modelo desenvolvido apresentar informação heterogénea e multidisciplinar. Tornando possível comprovar a capacidade do BIM da Casa Albarraque funcionar um modelo inventário de toda a informação relevante relativa ao projeto. Tal facto é evidente nas folhas do modelo (*sheets*) onde se encontram inseridos documentos de imagem e texto, tirando partido dos benefícios destes suportes enquanto meios documentais.

Num segundo momento, destaca-se a integração de links e descrições associadas a diferentes elementos do modelo e a criação de anotações dispostas sobre determinados documentos (como os fotográficos) onde podem estar associadas notas, descrições ou links para páginas na internet. Assim é possível aceder informação descritiva e complementar relativa a cada um dos documentos ou elementos que se afigurem relevantes.

No campo da documentação, num terceiro ponto, considera-se útil a capacidade do modelo em apresentar uma grande quantidade de informação de forma organizada e inteligente. Seja através de objeto ou da barra do explorador.

Por último é também particularmente vantajoso para o campo da documentação, a portabilidade do documento rvt, compacto e por isso facilmente armazenável, e partilhável.

6. Conclusões

O desenvolvimento do trabalho permitiu explorar a mais-valia que o BIM para expor, representar e documentar arquitetura relevante.

Efetivamente, após a abordagem sistemática de cada um dos meios tradicionais de comunicação, concluiu-se que todas estas ferramentas são únicas e indispensáveis para a descrição das diferentes qualidades da arquitetura, devido não só ao envolvimento das mesmas na produção de arquitetura como também devido ao contributo original de cada uma delas para expressar qualidades arquitetónicas. No entanto identificou-se também que todas estas ferramentas apresentam limitações para exibir, representar e documentar um projeto de arquitetura.

No entanto, o BIM apresenta-se como uma ferramenta relevante para exibir, representar e documentar a arquitetura, na medida em que se apresenta como uma solução aglutinadora de diferentes suportes comunicativos, assimilado consequentemente as valências dos mesmos para a comunicação de arquitetura.

Concluiu-se que o BIM tem a capacidade de expor arquitetura, propondo uma forma interativa de interação e manipulação de projetos arquitetónicos, distinta dos meios tradicionais abordados. Também, através da experiência imersiva de visita aos modelos BIM, é possível aproximar o utilizador da experiência da visita real do objeto arquitetónico. Proporcionando desta forma ao visitante uma experiência sensorial mais rica, informativa e interativa com a arquitetura.

Demonstrou-se também que o BIM permite representar arquitetura de forma tão rigorosa quanto mais informação se pretender inserir no modelo, registando assim a descrição física do edifício e permitindo facilitar a gestão do ciclo de vida do edifício modelado.

Finalmente, permite documentar com mais rigor do que os meios tradicionais de comunicação, projetos de arquitetura relevante, uma vez que permite a inclusão de um conjunto alargado de elementos de diferentes formatos insinuando-se até mesmo como capaz de funcionar como um modelo inventário de projetos de arquitetura relevante com informação multidisciplinar, multifuncional, inteligente em organizada num suporte interoperável. De facto, por se tratar de uma ferramenta digital, é possível organizar uma grande quantidade de informação disponibilizar o modelo produzido na internet.

Referências

- [1] ICOM, ICOM Code of Ethics for Museums, I. C. o. Museums, Ed., Paris, 2013.
- [2] ICOM, “Museum Definition,” 2007. [Online]. Available: <http://icom.museum/the-vision/museum-definition/>. [Acedido em Fevereiro 2016].
- [3] DGPC, “Direcção-Geral do Património Cultural: Património Arquitetónico,” [Online]. Available: <http://www.patrimoniocultural.pt/pt/patrimonio/patrimonio-imovel/patrimonio-arquitetonico/>. [Acedido em Março 2016].

- [4] B. Zevi, *Uma Definição de Arquitectura*, Lisboa: Edições 70, 1986.
- [5] H. Barranha e S. S. Martins, *Uncertain Spaces: Virtual Configurations in Contemporary Art and Museums*, H. Barranha e S. S. Martins, Edits., Lisboa: Instituto de História da Arte, FCSH - Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [6] H. Barranha, S. S. Martins e A. P. Ribeiro, *Museus sem lugar: ensaios, manifestos e diálogos em rede*, H. Barranha, S. S. Martins e A. P. Ribeiro, Edits., Lisboa: Instituto de História da Arte, FCSH - Universidade Nova de Lisboa, 2015.
- [7] T. Baillargeon, “Planning, Developing, and Evaluating eMuseums: Step-By-Step Handbook for Museum Professionals,” Kansas, 2008.
- [8] H. Barranha, “Utopia, simulação e realidade: Arquitectura de museus de arte na era digital,” *arqa arquitetura e arte: Processos digitais*, Vols. %1 de %2Ano - XIII, nº 106, pp. 108-111, 2013.
- [9] M. Castells, *The Information Age: Economy, Society, and Culture*, 2 Edição ed., vol. I: *The Rise of the Network Society*, Oxford: John Wiley & Sons, 2010.
- [10] R. Tori, C. Kirner e S. R., *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*, S. B. d. Computação, Ed., Porto Alegre: pré-simpósio VIII Symposium on Virtual Reality 2006, 2006.
- [11] “Google Arts & Culture,” [Online]. Available: <https://www.google.com/culturalinstitute/beta/>.
- [12] “MoMove,” [Online]. Available: <http://exhibition.docomomo.com/>.
- [13] “CyArk,” [Online]. Available: <http://www.cyark.org/>.
- [14] “MUDA,” [Online]. Available: <http://ciamh.up.pt/muda/>.
- [15] B. Zevi, *Saber ver a arquitetura*, São Paulo: Martins Fontes, 1992.
- [16] W. Benjamin, *The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction (The Work of Art in the Age of Mechanical Reproduction)*, Londres: Penguin Books, 2008), 1936.
- [17] P. Lucas, “Representação de Arquitectura: Introdução às várias formas de comunicação da arquitetura,” Lisboa, 2011.
- [18] O. Beasley, “In Search Of Distraction: Representing Benjamin’s Everyday Experience of Architecture,” Westminster, 2015.
- [19] S. Fai, K. Graham, T. Duckworth, N. Wood e R. Attar, “Building Information Modelling and Heritage Documentation,” em 23rd International Symposium, International Scientific Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA), Praga, 2011.
- [20] P. Pauwels, R. Verstraeten, R. De Meyer e J. Van Campenhout, “Architectural Information Modelling for Virtual Heritage Application,” em International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM), 2008.
- [21] Y. Arayici, “Towards Building Information Modelling for Existing Structures,” em Structural Survey, 2008.
- [22] C. Dore e M. Murphy, “Integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and 3D GIS for Recording and Managing Cultural Heritage Sites,” em 18th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, Milão, 2012.
- [23] D. Oreni, R. Brumana, S. Della Torre, F. Banfí, L. Barazzetti e M. Previtali, “Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L’Aquila),” em ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Riva del Garda, 2014.
- [24] R. Attar, V. Prabhu, M. Glueck e A. Khan, “210 King Street: A Dataset for Integrated

- Performance Assessment,” em 2010 Spring Simulation Multiconference. Society for Computer Simulation International, Orlando, 2010.
- [25] S. Logothetis, A. Delinasiou e E. Stylianidis, “Building Information Modelling for Cultural Heritage: A Review,” em ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Taipei, 2015.
- [26] J. Maddigan, HCF National Heritage Summit, Canadian Association of Heritage Professionals, 2012.

MODELO INTEGRADO PARA A SIMULAÇÃO DO FASEAMENTO CONSTRUTIVO DE BARRAGENS

Luís Pedro Bidarra ⁽¹⁾, Miguel Azenha ⁽¹⁾, João Pedro Couto ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾

(1) Universidade do Minho, Guimarães

(2) Universidade do Minho, Guimarães; Newton, Porto

Resumo

A construção de barragens e o seu faseamento construtivo são atividades extremamente complexas, que acarretam custos muito elevados e que assim requerem otimização. Nesse sentido impõe-se cada vez mais uma tentativa de aproximação às abordagens de ‘Integrated Project Delivery’ (IPD) preconizadas pelas filosofias BIM, nomeadamente através da integração entre várias valências de uma forma automática.

Assim sendo, este trabalho visa essencialmente estabelecer uma metodologia integrada que permita a ligação entre a modelação, o cálculo térmico e a definição do faseamento construtivo de barragens (4D). No artigo são apresentadas três principais ferramentas desenvolvidas referentes à modelação da barragem, ao cálculo térmico e ao faseamento construtivo.

A barragem foi modelada através de programação visual com recurso ao Dynamo, sendo este interoperável com as restantes ferramentas desenvolvidas. O cálculo térmico faseado é efetuado pelo método das diferenças finitas 2D através da linguagem MATLAB. A ferramenta desenvolvida para geração automática do faseamento construtivo, igualmente implementada no MATLAB, é baseada num algoritmo de automação celular.

1. Introdução

Os custos associados à construção de obras de grande dimensão, como é o caso de barragens, justificam a otimização dos processos construtivos em fase de projeto e de preparação de construção. No entanto, há ainda frequentes casos de elaboração dos projetos das barragens, sem conhecimento da equipa construtora (uma vez que o trabalho ainda não se encontra adjudicado nessa fase), o que não permite a interação direta nas fases preliminares do projeto, e traz dificuldades ao processo de otimização do processo construtivo. Impõe-se, portanto, uma tentativa de aproximação às abordagens de ‘*Integrated Project Delivery*’ (IPD) [1] para melhor

planear e executar a construção de barragens. Para agilizar processos IPD, são frequentemente despoletadas metodologias BIM [2] com forte suporte em ferramentas informáticas que permitam a rápida e eficaz modelação dos elementos a construir, bem como a eficaz interoperabilidade entre aplicações informáticas para aceleração dos processos de análise.

No caso particular do estudo do faseamento construtivo de barragens, uma das mais importantes variáveis a ter em conta é a definição da espessura das camadas de betonagem, que por sua vez está diretamente relacionada com o risco de fissuração decorrente das variações térmicas associadas ao calor gerado pela hidratação do cimento. Com efeito, caso sejam adotadas espessuras de camadas de betonagem excessivamente grandes, as variações de temperatura são também bastante elevadas (sendo atingidas temperaturas de pico da ordem dos 60-70°C) e proporcionam expansões/contrações que são normalmente parcialmente impedidas, gerando, portanto, níveis de tensões conducentes ao aparecimento de fissuração precoce de origem térmica que é altamente indesejável. As fissuras térmicas são normalmente alvo de reparações com custos elevados, quer do ponto de vista da própria reparação em si, quer tendo em conta os atrasos induzidos à conclusão da obra. Por outro lado, se são adotadas espessuras de camada muito pequenas para evitar risco de fissuração térmica, poder-se-á incorrer em tempos de construção demasiadamente longos e desnecessários, com enormes sobrecustos associados ao prolongamento do tempo de execução da obra. É relativamente frequente aceitar o aumento de espessura das camadas de betonagem para acelerar o faseamento construtivo, acompanhado de medidas de mitigação do risco de fissuração térmica, como por exemplo o abaixamento da temperatura inicial do betão ou o recurso a tubagens de arrefecimento embebidas na própria barragem.

Tendo em conta os aspetos que acabam de ser explanados acerca do estudo do faseamento construtivo de barragens, e caso se pretenda suportar filosofias de trabalho IPD com suporte em modelos BIM, torna-se necessário agilizar um conjunto de tarefas que à partida não estão garantidas nas aplicações BIM disponíveis no mercado: (i) estabelecer a modelação paramétrica do corpo da barragem de forma facilitada, incluindo a definição das várias fases de betonagem que lhe são inerentes; (ii) estabelecer um fluxo de interoperabilidade que permita a análise térmica de cenários de construção; (iii) estabelecer metodologia de definição automática da calendarização das betonagens, tendo em conta a complexidade de definição manual em obras com centenas de fases de betonagem.

O presente artigo reporta um trabalho de estabelecimento de metodologia integrada de definição de faseamento construtivo com o objetivo de responder às três tipologias de tarefas acima indicadas, com base no caso de estudo de uma barragem abóbada. Para isso foi efetuada programação visual no *plugin* Dynamo do REVIT, permitindo o estabelecimento de modelação paramétrica da barragem. Adicionalmente foi efetuado um programa em MATLAB baseado no método das diferenças finitas para efetuar cálculos térmicos 2D expeditos, e capaz de interoperabilidade com o REVIT. Finalmente foi desenvolvido um programa em MATLAB, baseado em algoritmos de automação celular que, com base num conjunto de regras pré-estabelecidas, permite atribuir as datas de construção de cada fase de betonagem, de forma consistente com as restrições de capacidade de betonagem, número de frentes de trabalho simultâneo, e tempos de espera entre fases de betonagem consecutivas, entre outros.

Após a descrição das três ferramentas descritas, será explanada a sua aplicação integrada à barragem em estudo, ilustrando-se a concretização do processo IPD mencionado.

2. Programação visual aplicada a barragens

O corpo de uma barragem em arco tem dupla curvatura ao longo do seu desenvolvimento vertical e em planta [3], assim devido a sua complexidade geométrica, este apresenta-se como um grande desafio de modelação.

A barragem escolhida como caso de estudo é uma barragem em arco, tem 98 metros de altura, 300 metros de comprimento e está representada em planta, em corte e em alçado na Figura 1, onde os eixos de referência x , y e z estão representados (origem localizada no folheto médio do coroamento da barragem).

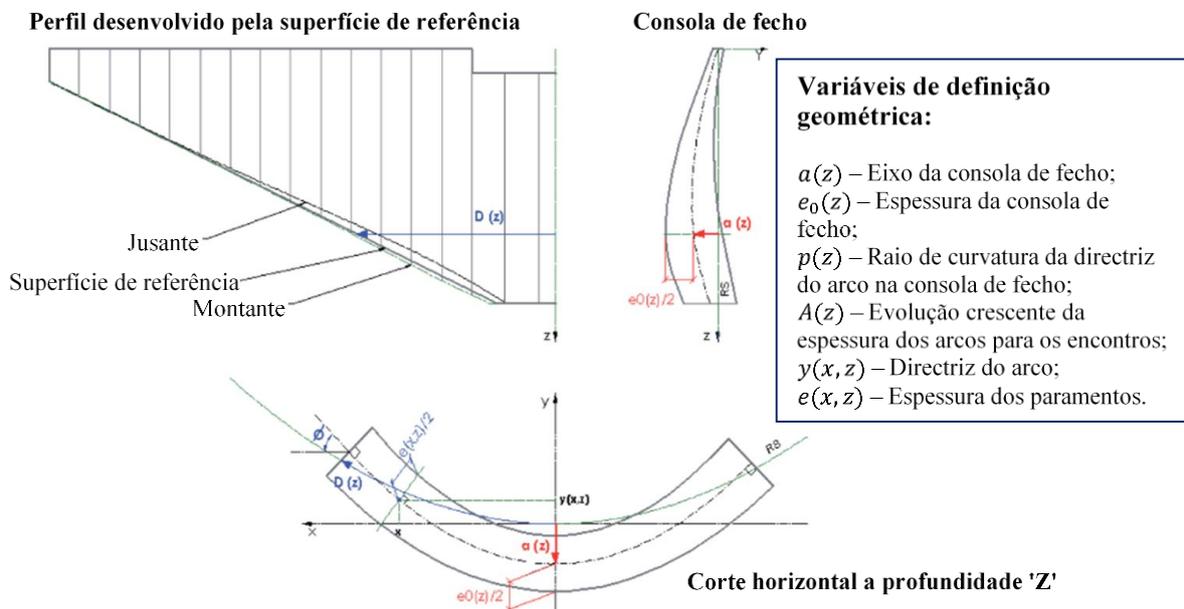


Figura 1: Variáveis de definição geométrica do corpo da barragem.

A formulação matemática da forma da barragem é assim realizada de acordo com procedimentos padrão para barragens em arco [4]. $y(x, z)$ corresponde à directriz do arco (Equação 1), ao passo que $e(x, z)$ é a espessura do arco (Equação 2). A fim de definir y e e é necessário conhecer $p(z)$ que corresponde ao raio de curvatura da directriz do arco na consola de fecho (Equação 3), bem como $a(z)$ que é o eixo da consola de fecho (Equação 4), $e_0(z)$ que representa a espessura da consola de fecho (Equação 5) e $A(z)$ que está relacionado com a evolução crescente da espessura do arco para os encontros (Equação 6).

Equação da diretriz do arco y :

$$y(x, z) = \frac{x^2}{2 \times p(z)} - a(z) \quad (1)$$

Equação da espessura do arco e :

$$e(x, z) = e_0(z) \times (1 + A(z) \times x^2) \quad (2)$$

Equação do raio de curvatura da diretriz do arco na consola de fecho p :

$$\begin{aligned} p(z) = & 1.2 \times 10^2 - 2.769025 \times 10^{-1} \times z - 4.851959 \times 10^{-2} \times z^2 \\ & + 2.177441 \times 10^{-3} \times z^3 - 5.768579 \times 10^{-5} \times z^4 \\ & + 8.424111 \times 10^{-7} \times z^5 - 6.214043 \times 10^{-9} \times z^6 \\ & + 1.840075 \times 10^{-11} \times z^7 \end{aligned} \quad (3)$$

Equação do eixo da consola de fecho a :

$$\begin{aligned} a(z) = & 3.033612 \times 10^{-1} \times z - 3.525621 \times 10^{-3} \times z^2 + 3.98983 \times 10^{-5} \times z^3 \\ & - 3.395747 \times 10^{-7} \times z^4 \end{aligned} \quad (4)$$

Equação da espessura da consola de fecho e_0 :

$$\begin{aligned} e_0(z) = & 5 + 1.696654 \times 10^{-1} \times z + 6.206034 \times 10^{-4} \times z^2 - 4.299792 \times 10^{-6} \times z^3 \\ & - 3.838551 \times 10^{-8} \times z^4 \end{aligned} \quad (5)$$

Equação da evolução crescente da espessura do arco para os encontros A :

$$\begin{aligned} A(z) = & -1.588312 \times 10^{-6} \times z + 7.975187 \times 10^{-7} \times z^2 - 1.709577 \times 10^{-8} \times z^3 \\ & + 1.859955 \times 10^{-10} \times z^4 - 5.79229 \times 10^{-13} \times z^5 \end{aligned} \quad (6)$$

Outros detalhes geométricos da barragem, relevantes para a modelação, como a localização e dimensões das galerias, a configuração das juntas verticais, o perfil do terreno e a sua interseção com o corpo da barragem, podem ser consultadas em detalhe em [5].

O modelo da barragem foi efetuado com recurso ao plugin Dynamo do REVIT (Autodesk) que permite a utilização de programação visual para assistir o processo de criação de objetos BIM. Assim, o procedimento implementado para a criação do modelo paramétrico da barragem em estudo é apresentado na Figura 2. Em primeiro lugar efetuou-se a modelação do folheto médio da barragem e da sua espessura com recurso às equações acima indicadas, avaliadas para o intervalo de valores de z compreendidos entre 0 e 98m. De seguida foi modelada a interseção da barragem com o terreno considerado através de ferramentas padrão disponíveis na plataforma BIM utilizada. As galerias foram modeladas por ‘subtração’ ao sólido global da barragem das suas secções transversais extrudidas ao longo das diretrizes correspondentes. Finalmente, a barragem resultante foi sub-dividida segundo 19 planos verticais espaçados aproximadamente de 17,5 metros e por 49 planos horizontais espaçados de aproximadamente 2 metros. Resultou um modelo da barragem compreendido por 841 elementos sólidos independentes, que compreendiam a respetiva informação não geométrica relativa a volumes, classe de betão e propriedades termo-físicas, entre outras.

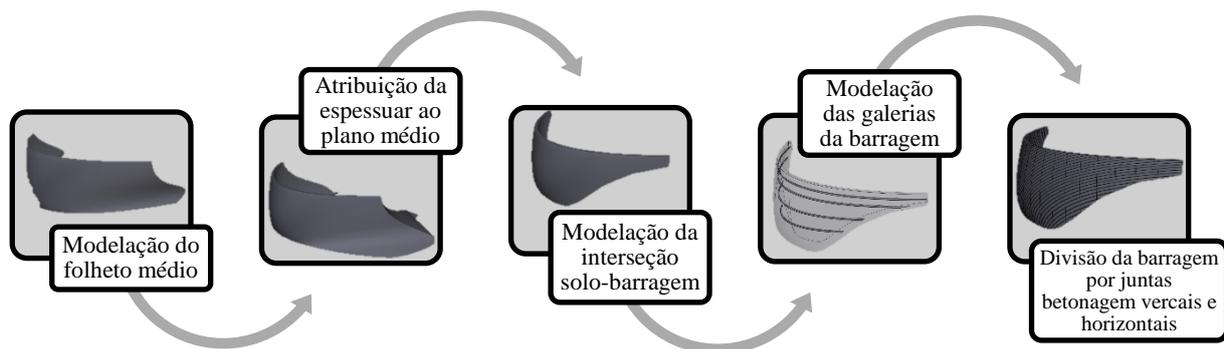


Figura 2: Passos seguidos para a modelação do corpo da barragem.

Por forma a verificar adequada interoperabilidade entre a plataforma BIM utilizada (REVIT) e as outras plataformas BIM, o modelo foi exportado para o formato IFC. Na Figura 3 é apresentado o modelo IFC no Solibri Model Checker, onde podem ser verificados os parâmetros de identificação de uma camada, assim como as suas propriedades geométricas.

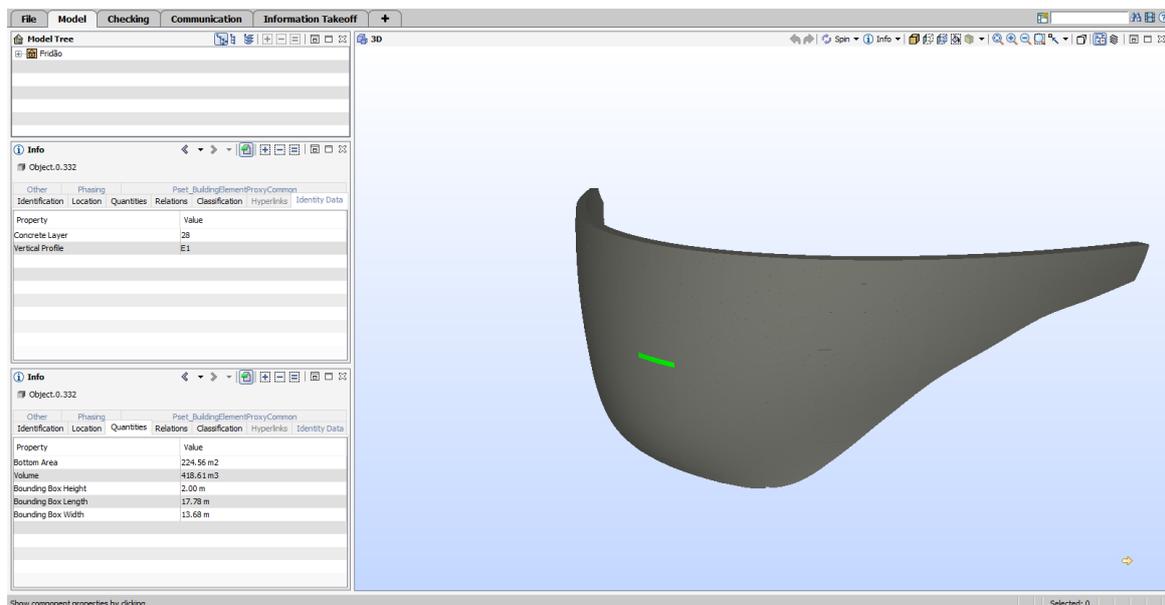


Figura 3: Modelo IFC no Solibri Model Checker.

3. Cálculo térmico

Para o cálculo térmico desenvolveu-se uma ferramenta computacional em MATLAB que permite a análise bidimensional de barragens construídas por fases através do método das diferenças finitas. O modelo de cálculo baseia-se na equação de equilíbrio de energia do domínio em estudo, com inclusão das trocas de calor com o ambiente circundante por convecção e radiação, bem como com contabilização explícita do cariz exotérmico e termicamente ativado das reações de hidratação do cimento com base em modelo de Arrhenius modificado. A ferramenta inclui biblioteca do potencial de geração de calor de uma larga gama

de cimentos comercializados em Portugal, tendo em conta os ensaios calorimétricos reportados por [6]. Os detalhes técnico-científicos desta ferramenta estão descritos em [5] e [7].

A ferramenta informática tem como parâmetros de entrada a altura das camadas de betonagem, a espessura máxima do perfil vertical em estudo e o número de camadas de betonagem diretamente provenientes de processo de interoperabilidade com o modelo descrito na secção 2, assim como os tempos de espera entre betonagens e todas as características térmicas introduzidos diretamente pelo utilizador. Refira-se que foi também considerada a possibilidade de transferência de calor para a camada de fundação, bem como o cariz evolutivo das várias fronteiras envolvidas, sendo também simulada a colocação e retirada das cofragens. Com base nas temperaturas calculadas, é possível tirar ilações sobre o risco de fissuração relativo entre cenários em análise, tendo em conta os gradientes espaciais (ΔT_s) e temporais (ΔT_T) de temperaturas calculados.

A título exemplificativo, na Figura 4-a) são demonstrados os mapas de temperaturas para três fases distintas, nos quais é possível observar a dissipação progressiva do calor, bem como a localização da zona de temperatura máxima na última camada betonada. Na Figura 4-b) são demonstrados os gradientes espaciais e temporais de temperaturas, parâmetros revelantes para avaliação do risco de fissuração térmico do betão.

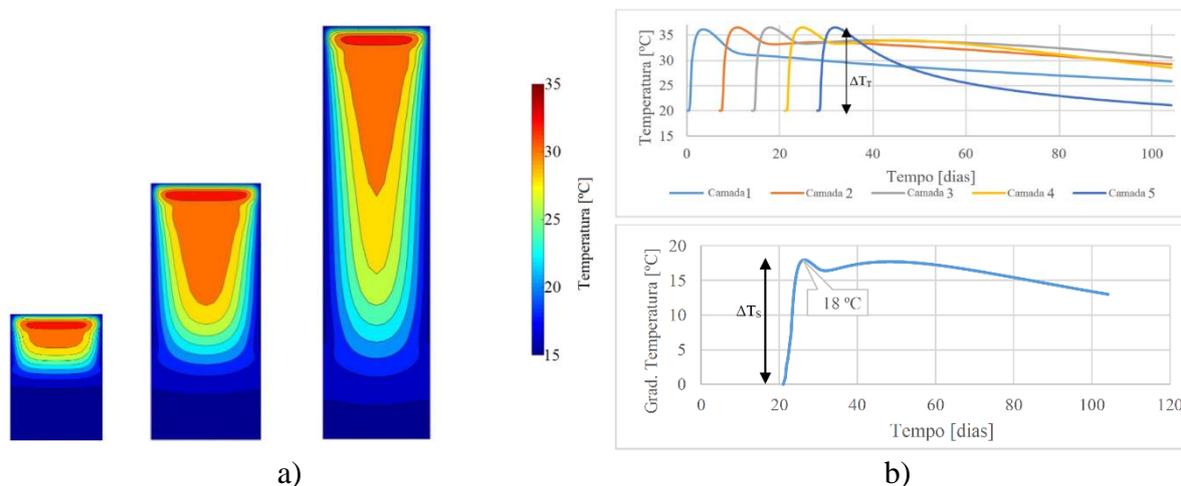


Figura 4: a) Mapas de temperaturas; b) Gradientes temporais de temperaturas.

4. Definição automática do faseamento construtivo no modelo BIM

Tendo em conta a disponibilidade do modelo BIM definido na secção 2, bem como o estudo térmico possibilitado pela ferramenta de cálculo térmico descrita na secção 3, é possível a tomada de decisão relativa à espessura das camadas de betonagem a adotar. No entanto, após essa definição torna-se necessária a definição da sequência de betonagem da barragem em si, o que na barragem em estudo inclui mais de 800 fases. Tratar-se-ia de um processo extremamente tedioso e sujeito a erros, pelo que se decidiu realizar uma ferramenta que automatizasse os processos. No entanto, para esse processo poder ser automatizado, foi necessário um levantamento cuidadoso dos critérios a aplicar (ver secção 4.1), passando posteriormente à sua

implementação em programa MATLAB baseado num algoritmo de automação celular (ver secção 4.2). Registe-se que não foi encontrada nenhuma referência bibliográfica a trabalho análogo no contexto da definição automática de faseamento construtivo neste tipo de obras.

4.1 Estratégias típicas de construção de barragens

Na presente secção serão discutidos alguns aspetos estratégicos normalmente adotados na construção de barragens, resultantes essencialmente de discussão presencial com o Eng^o Teófilo Silva da Teixeira Duarte SA.

Serão, portanto, aqui explanados alguns critérios normalmente adotados na construção de obras de betão em massa. O tempo mínimo de espera entre camadas de betonagem consecutivas está normalmente fixado em 7 dias. Por outro lado, é normalmente fixado o tempo máximo de espera entre betonagens sucessivas, a fim de evitar a fendilhação na camada superior devido ao avançado estado de endurecimento da camada inferior. O tempo máximo em questão é normalmente fixado em 2 semanas.

Outro fator importante, segundo as regras tradicionais encontradas na literatura [8] para a definição do faseamento construtivo da barragem é a máxima diferença de alturas entre camadas adjacentes. Este limite permite também manter a temperatura da barragem relativamente uniforme entre os blocos adjacentes. Normalmente a diferença de alturas entre camadas adjacentes é inferior a 4 camadas de betonagem.

Outros critérios como a construção da barragem do centro para as margens e como a diferença de alturas entre as camadas mais baixa e mais alta devem também ser tidos em conta na elaboração do faseamento construtivo da barragem.

4.2 Desenvolvimento e aplicação da ferramenta computacional

A ferramenta computacional foi desenvolvida com base nas estratégias típicas de construção de barragens acima descritas e em algoritmos de automação celular.

Os algoritmos de automação celular são algoritmos de inteligência artificial que com base num simples conjunto de regras permitem a resolução de problemas complexos de tomada de decisão. Para mais detalhes acerca dos algoritmos de automação celular, bem como da sua implementação na ferramenta computacional, consultar [5].

As estratégias típicas de construção acima foram implementadas como regras para a colocação de camadas de betonagem por parte da ferramenta computacional. Estas regras foram hierarquizadas em função da sua importância na elaboração do faseamento construtivo de barragens encontrado na literatura. Assim a hierarquia de prioridades de implementação das regras por parte da ferramenta computacional é a seguinte:

1. Tempo de espera máximo entre as camadas de betonagem sucessivas;
2. Mínimo tempo de espera entre betonagens sucessivas;
3. Diferença de alturas entre camadas de betonagem vizinhas.

O utilizador através de programação pode também implementar as suas próprias regras ou alterar valores utilizados nas regras implementadas.

Efetuuou-se, portanto, uma implementação do algoritmo à barragem em estudo considerando as seguintes regras:

- Número de frentes de trabalho simultâneas: 3 frentes;
- Começo dos trabalhos: 19 de novembro de 2015;
- Tempo mínimo de espera de betonagens sucessivas: 7 dias;
- Tempo máximo de espera entre betonagens sucessivas: 14 dias;
- Máxima diferença de alturas de camadas de betonagem adjacentes: 4 camadas.

Para manter as frentes de trabalho relativamente próximas e não espalhar muito a localização das betonagens, foram implementadas também regras internas que mantêm as frentes de betonagem relativamente próximas e o mais ao centro possível.

Os resultados da aplicação deste algoritmo podem ser vistos nas Figuras 5 e 6, onde são apresentadas a datas de betonagem das várias camadas (Figura 5) e a evolução trimestral da construção (Figura 6).

14-Jun-16	11-Jul-16	24-Jul-16	6-Ago-16	30-Ago-16	18-Sep-16	3-Oct-16	21-Oct-16	20-Oct-16	20-Oct-16	20-Oct-16	21-Oct-16	14-Oct-16	1-Oct-16	12-Sep-16	17-Ago-16	24-Jul-16	5-Jul-16	22-Jun-16
7-Jun-16	4-Jul-16	17-Jul-16	30-Jul-16	23-Ago-16	11-Sep-16	24-Sep-16	14-Oct-16	13-Oct-16	13-Oct-16	14-Oct-16	7-Oct-16	24-Sep-16	5-Sep-16	10-Aug-16	17-Jul-16	28-Jun-16	15-Jun-16	
31-May-16	27-Jun-16	10-Jul-16	23-Jul-16	16-Ago-16	4-Sep-16	17-Sep-16	7-Oct-16	6-Oct-16	6-Oct-16	7-Oct-16	30-Sep-16	17-Sep-16	29-Aug-16	3-Aug-16	10-Jul-16	21-Jun-16	8-Jun-16	
24-May-16	20-Jun-16	3-Jul-16	16-Jul-16	9-Ago-16	28-Ago-16	10-Sep-16	30-Sep-16	29-Sep-16	29-Sep-16	30-Sep-16	23-Sep-16	10-Sep-16	22-Aug-16	27-Jul-16	3-Jul-16	14-Jun-16	1-Jun-16	
17-May-16	13-Jun-16	26-Jun-16	9-Jul-16	2-Ago-16	21-Ago-16	3-Sep-16	23-Sep-16	22-Sep-16	22-Sep-16	23-Sep-16	16-Sep-16	3-Sep-16	15-Aug-16	20-Jul-16	26-Jun-16	7-Jun-16	25-May-16	
10-May-16	6-Jun-16	19-Jun-16	2-Jul-16	26-Jul-16	14-Ago-16	27-Aug-16	18-Sep-16	15-Sep-16	15-Sep-16	16-Sep-16	9-Sep-16	27-Aug-16	8-Aug-16	13-Jul-16	19-Jun-16	31-May-16	18-May-16	
3-May-16	30-May-16	12-Jun-16	25-Jun-16	19-Jul-16	7-Ago-16	20-Ago-16	9-Sep-16	8-Sep-16	8-Sep-16	9-Sep-16	2-Sep-16	20-Aug-16	1-Aug-16	6-Jul-16	12-Jun-16	24-May-16	11-May-16	
26-Apr-16	23-May-16	5-Jun-16	18-Jun-16	12-Jul-16	13-Aug-16	2-Sep-16	1-Sep-16	1-Sep-16	1-Sep-16	2-Sep-16	26-Aug-16	13-Aug-16	25-Jul-16	29-Jun-16	17-May-16	4-May-16		
18-Apr-16	16-May-16	29-May-16	11-Jun-16	5-Jul-16	24-Jul-16	6-Ago-16	26-Ago-16	25-Ago-16	25-Ago-16	26-Ago-16	19-Ago-16	6-Ago-16	18-Jul-16	22-Jun-16	29-May-16	10-May-16	27-Apr-16	
	9-May-16	22-May-16	4-Jun-16	28-Jun-16	17-Jul-16	30-Jul-16	19-Ago-16	18-Ago-16	18-Ago-16	19-Ago-16	12-Ago-16	30-Jul-16	11-Jul-16	15-Jun-16	22-May-16	3-May-16	20-Apr-16	
	2-May-16	15-May-16	28-May-16	21-Jun-16	10-Jul-16	23-Jul-16	12-Ago-16	11-Ago-16	11-Ago-16	12-Ago-16	5-Ago-16	23-Jul-16	4-Jul-16	8-Jun-16	15-May-16	26-Apr-16	13-Apr-16	
	25-Apr-16	8-May-16	21-May-16	14-Jun-16	3-Jul-16	16-Jul-16	5-Ago-16	4-Ago-16	4-Ago-16	5-Ago-16	29-Jul-16	16-Jul-16	27-Jun-16	1-Jun-16	8-May-16	19-Apr-16		
	18-Apr-16	1-May-16	14-May-16	7-Jun-16	26-Jun-16	9-Jul-16	29-Jul-16	28-Jul-16	28-Jul-16	29-Jul-16	22-Jul-16	9-Jul-16	20-Jun-16	25-May-16	1-May-16	12-Apr-16		
	11-Apr-16	24-Apr-16	7-May-16	31-May-16	19-Jun-16	2-Jul-16	22-Jul-16	21-Jul-16	21-Jul-16	22-Jul-16	15-Jul-16	2-Jul-16	13-Jun-16	18-May-16	24-Apr-16	5-Apr-16		
	4-Apr-16	17-Apr-16	30-Apr-16	24-May-16	12-Jun-16	25-Jun-16	15-Jul-16	14-Jul-16	14-Jul-16	15-Jul-16	8-Jul-16	25-Jun-16	6-Jun-16	11-May-16	17-Apr-16			
		10-Apr-16	23-Apr-16	17-May-16	5-Jun-16	18-Jun-16	8-Jul-16	7-Jul-16	7-Jul-16	8-Jul-16	1-Jul-16	18-Jun-16	30-May-16	4-May-16	10-Apr-16			
		3-Apr-16	16-Apr-16	10-May-16	29-May-16	11-Jun-16	1-Jul-16	30-Jun-16	30-Jun-16	30-Jun-16	1-Jul-16	24-Jun-16	11-Jun-16	23-May-16	27-Apr-16	3-Apr-16		
		27-Mar-16	9-Apr-16	3-May-16	22-May-16	4-Jun-16	24-Jun-16	23-Jun-16	23-Jun-16	24-Jun-16	17-Jun-16	4-Jun-16	16-May-16	20-Apr-16	27-Mar-16			
		20-Mar-16	2-Apr-16	26-Apr-16	15-May-16	28-May-16	17-Jun-16	16-Jun-16	16-Jun-16	17-Jun-16	10-Jun-16	28-May-16	9-May-16	13-Apr-16	20-Mar-16			
		13-Mar-16	26-Mar-16	19-Apr-16	8-May-16	21-May-16	10-Jun-16	9-Jun-16	9-Jun-16	10-Jun-16	3-Jun-16	21-May-16	2-May-16	6-Apr-16	13-Mar-16			
			19-Mar-16	12-Apr-16	1-May-16	14-May-16	3-Jun-16	2-Jun-16	2-Jun-16	3-Jun-16	27-May-16	14-May-16	25-Apr-16	30-Mar-16				
			12-Mar-16	5-Apr-16	24-Apr-16	7-May-16	27-May-16	26-May-16	26-May-16	27-May-16	20-May-16	7-May-16	18-Apr-16	23-Mar-16				
			5-Mar-16	29-Mar-16	17-Apr-16	30-Apr-16	20-May-16	19-May-16	19-May-16	20-May-16	13-May-16	30-Apr-16	11-Apr-16	16-Mar-16				
			27-Feb-16	22-Mar-16	10-Apr-16	23-Apr-16	13-May-16	12-May-16	12-May-16	13-May-16	6-May-16	23-Apr-16	4-Apr-16	9-Mar-16				
			20-Feb-16	15-Mar-16	3-Apr-16	16-Apr-16	6-May-16	5-May-16	5-May-16	6-May-16	29-Apr-16	16-Apr-16	28-Mar-16	2-Mar-16				
				8-Mar-16	27-Mar-16	9-Apr-16	29-Apr-16	28-Apr-16	28-Apr-16	29-Apr-16	22-Apr-16	9-Apr-16	21-Mar-16	24-Feb-16				
				1-Mar-16	20-Mar-16	2-Apr-16	22-Apr-16	21-Apr-16	21-Apr-16	22-Apr-16	15-Apr-16	2-Apr-16	14-Mar-16	17-Feb-16				
				23-Feb-16	13-Mar-16	26-Mar-16	15-Apr-16	14-Apr-16	14-Apr-16	15-Apr-16	8-Apr-16	26-Mar-16	7-Mar-16					
				16-Feb-16	6-Mar-16	19-Mar-16	8-Apr-16	7-Apr-16	7-Apr-16	8-Apr-16	1-Apr-16	19-Mar-16	29-Feb-16					
				9-Feb-16	28-Feb-16	12-Mar-16	1-Apr-16	31-Mar-16	31-Mar-16	31-Mar-16	1-Apr-16	25-Mar-16	12-Mar-16	22-Feb-16				
				2-Feb-16	21-Feb-16	5-Mar-16	25-Mar-16	24-Mar-16	24-Mar-16	24-Mar-16	18-Mar-16	5-Mar-16	15-Feb-16					
					14-Feb-16	27-Feb-16	18-Mar-16	17-Mar-16	17-Mar-16	17-Mar-16	11-Mar-16	27-Feb-16	8-Feb-16					
					7-Feb-16	20-Feb-16	11-Mar-16	10-Mar-16	10-Mar-16	10-Mar-16	4-Mar-16	20-Feb-16	1-Feb-16					
					31-Jan-16	13-Feb-16	4-Mar-16	3-Mar-16	3-Mar-16	3-Mar-16	4-Mar-16	26-Feb-16	13-Feb-16	25-Jan-16				
					24-Jan-16	6-Feb-16	26-Feb-16	25-Feb-16	25-Feb-16	25-Feb-16	26-Feb-16	19-Feb-16	6-Feb-16	18-Jan-16				
					17-Jan-16	30-Jan-16	19-Feb-16	18-Feb-16	18-Feb-16	18-Feb-16	19-Feb-16	12-Feb-16	30-Jan-16	11-Jan-16				
					10-Jan-16	23-Jan-16	12-Feb-16	11-Feb-16	11-Feb-16	11-Feb-16	12-Feb-16	5-Feb-16	23-Jan-16	4-Jan-16				
					3-Jan-16	16-Jan-16	5-Feb-16	4-Feb-16	4-Feb-16	4-Feb-16	5-Feb-16	29-Jan-16	16-Jan-16					
						9-Jan-16	29-Jan-16	28-Jan-16	28-Jan-16	28-Jan-16	29-Jan-16	22-Jan-16	9-Jan-16					
						2-Jan-16	22-Jan-16	21-Jan-16	21-Jan-16	21-Jan-16	22-Jan-16	15-Jan-16	2-Jan-16					
						26-Dec-15	15-Jan-16	14-Jan-16	14-Jan-16	14-Jan-16	15-Jan-16	8-Jan-16	26-Dec-15					
						19-Dec-15	8-Jan-16	7-Jan-16	7-Jan-16	7-Jan-16	8-Jan-16	1-Jan-16	19-Dec-15					
						12-Dec-15	1-Jan-16	31-Dec-15	31-Dec-15	31-Dec-15	1-Jan-16	25-Dec-15	12-Dec-15					
						5-Dec-15	25-Dec-15	24-Dec-15	24-Dec-15	24-Dec-15	25-Dec-15	18-Dec-15	5-Dec-15					
						28-Nov-15	18-Dec-15	17-Dec-15	17-Dec-15	17-Dec-15	18-Dec-15	11-Dec-15	28-Nov-15					
							11-Dec-15	10-Dec-15	10-Dec-15	10-Dec-15	11-Dec-15	4-Dec-15						
							4-Dec-15	3-Dec-15	3-Dec-15	3-Dec-15	4-Dec-15	27-Nov-15						
							27-Nov-15	26-Nov-15	26-Nov-15	26-Nov-15	27-Nov-15	20-Nov-15						
							20-Nov-15	19-Nov-15	19-Nov-15	19-Nov-15	20-Nov-15							

Figura 5: Datas de betonagem de todas as camadas de betonagem da barragem.

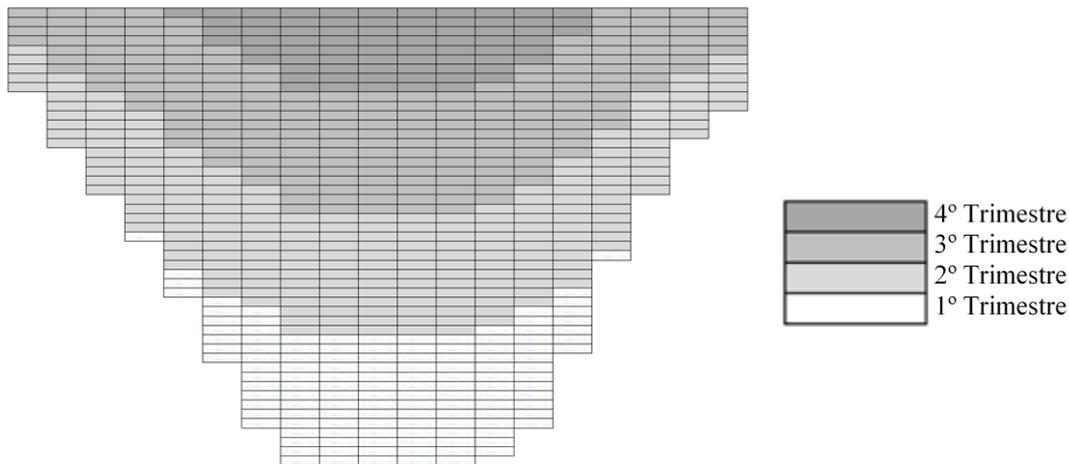


Figura 6: Evolução trimestral da construção.

5. Conclusões

Apresentou-se neste artigo o desenvolvimento e aplicação de uma metodologia para apoio à decisão no contexto da definição do faseamento construtivo de barragens ou obras de complexidade construtiva análoga. A metodologia integrada compreende três vértices principais que funcionam de forma sinérgica: (i) modelo paramétrico da barragem compreendendo as equações definidoras fundamentais da geometria, a intersecção com o terreno, bem como a modelação das galerias e da separação de corpos resultante de juntas verticais e horizontais; (ii) programa MATLAB com interoperabilidade com o modelo da barragem que permite o cálculo térmico expedito da barragem em estado 2D, com consideração explícita do faseamento construtivo, do cariz exotérmico e termicamente ativado da reação de hidratação do cimento e das propriedades térmicas do betão; (iii) programa MATLAB interoperável com o modelo BIM com implementação de algoritmo baseado em automação celular que permite a aplicação de um conjunto de regras de sequência de construção aos vários blocos de construção da barragem, aplicando-o de forma automática às centenas de unidades independentes de betonagem da barragem.

No que diz respeito à modelação paramétrica de barragens com recurso a programação visual, foi atingido o objetivo inicial traçado que permite a definição rápida de variantes à geometria da barragem, quer do ponto de vista de estudo de cenários alternativos, quer do ponto de vista de utilização em projetos subsequentes. Trata-se de facto de uma ferramenta que permite criar objetos BIM com toda a informação não-geométrica relevante de forma rápida e conveniente, viabilizando a utilização de plataformas BIM neste contexto.

No que concerne à ferramenta desenvolvida baseada para o cálculo térmico, baseada no método das diferenças finitas, foi possível verificar o seu adequado desempenho no cálculo relativo a estruturas de betão em massa construídas por fases. De facto, em sinergia com a ferramenta de modelação paramétrica anteriormente descrita, permite o estudo de vários cenários de construção distintos, em termos de temperatura ambiente, temperatura de colocação, composição do betão e faseamento construtivo (entre outros), permitindo melhor apoiar

decisões a tomar em função de todas estas variáveis para agilizar a rápida tomada de decisão em fases iniciais de projeto.

No contexto da definição do faseamento construtivo, foi proposta e implementada uma forma expedita de aplicar um conjunto de regras de construção ao modelo BIM, com definição e aplicação automática de todas as datas de construção a todos os objetos do modelo. A ferramenta desenvolvida para o efeito permite o rápido estudo das consequências de alteração de critérios de definição do faseamento construtivo (p.ex espessura de camadas de betonagem e temperatura de colocação do betão, entre outras) sobre os prazos de execução da obra.

A metodologia integradora exposta, aqui explanada segundo as suas três vertentes principais, permite tornar mais adequado e eficiente todo o processo de tomada de decisões nas fases iniciais do projeto, já em colaboração com a equipa de construção, permitindo uma rápida integração de valências e análise de cenários de uma forma que não é normalmente acessível desta forma facilitada nas fases preliminares do projeto de barragens. Esta tomada de decisões nas fases preliminares do projeto permitirá ganhos de tempos de construção e consequentemente de custos substanciais na construção de barragens e estruturas com desafios de faseamento construtivo análogos, como é o caso de obras com betão em massa.

Referências

- [1] Aia, “Integrated Project Delivery: A Guide,” *Am. Inst. Archit.*, pp. 1–62, 2007.
- [2] M. Azenha, J. C. Lino, and B. Caires, “Curso BIM: Building Information Modeling,” in *Ordem dos Engenheiros*, 2015.
- [3] USDI, (*United States Department Of The Interior*). *Design of arch dams. Design Manual For Concrete Arch Dams*. Denver: United States Government Printing Office, 1977.
- [4] U.S. Army Corps of Engineers, “Engineering and Design: Arch dam design,” Department of the Army, Washington DC, 1994.
- [5] L. P. Bidarra, “An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams,” MSC dissertation, University of Minho, 2015.
- [6] Azenha, “Numerical simulation of the structural behaviour of concrete since its early ages,” University of Porto, 2009.
- [7] L. Bidarra and M. Azenha, “Ferramenta baseada no método das diferenças finitas 2D para cálculos térmicos expeditos de faseamento construtivo de estruturas de betão em massa,” Encontro Nacional Betão Estrutural, Coimbra, 2016.
- [8] Spanish Committee on Large Dams, “Conventional Methods in Dam Construction,” CIGB ICOLD, 1990.

MODELAÇÃO BIM DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO: POSSIBILIDADES, DESAFIOS E INTEROPERABILIDADE

João Fernandes ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾, Ricardo Santos ⁽¹⁾

(1) ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto

(2) NEWTON – Consultores de Engenharia, Porto

Resumo

A evolução da tecnologia de modelação na área específica da pormenorização de estruturas de betão armado e das capacidades de interoperabilidade entre aplicações, associadas ao conceito BIM, já permite obter resultados satisfatórios. A integração de novas capacidades para avaliação de viabilidade em modelos tridimensionais, produção de desenhos técnicos, estimativa de custos e medição de quantidades têm vindo a facilitar o uso destas aplicações.

No entanto, existe ainda uma certa resistência, por parte dos projetistas, à modelação das armaduras, em modelos tridimensionais BIM, preferindo a alternativa do CAD como apoio à produção da documentação técnica.

Este artigo tem como objetivo apresentar algumas das funcionalidades de modelação desses elementos, em software BIM, e enunciar as principais vantagens dessa modelação, as principais dificuldades e algumas estratégias na resolução de problemas de interoperabilidade.

As aplicações em análise são o Robot Structural Analysis, o Revit, o Advance Concrete e o Dynamo da Autodesk e o Tekla Structures da Trimble. Cada uma destas aplicações corresponde a uma área específica do projeto de estruturas, análise e dimensionamento estrutural, conceção e coordenação de construção e pormenorização de armaduras. Apesar desta categorização, estes programas possuem funcionalidades comuns ou semelhantes (por exemplo, a medição de quantidade de materiais), facilitando o diálogo entre aplicações e reduzindo os erros associados.

O tema abordado foi desenvolvido em ambiente de estágio curricular, numa parceria entre o ISEP e a NEWTON – Consultores de Engenharia no âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Civil “Produção automática de modelos BIM de armaduras de betão armado: Pormenorização e Medição”, da qual foi parte integrante.

1. Introdução

O Building Information Modeling (BIM) veio introduzir na indústria AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) novas ferramentas e abordagens para execução de empreendimentos. Nesse novo conjunto de instrumentos surgiram novas oportunidades, assim como novos desafios, de entre os quais a possibilidade de incorporar elementos de aço em peças de betão armado, como varões, estribos, cordões de pré-esforço e qualquer outro elemento característico constituinte de um componente estrutural em betão armado.

Esta possibilidade de modelação de armaduras já se encontra presente em alguns aplicativos compatíveis com o BIM e é sobre alguns desses que o estudo se centrou nas suas principais vantagens e desvantagens.

A principal dificuldade é relativa às sobreposições de elementos cruzados, ou seja, num nó de enlace de vigas com pilares poderá existir sobreposição de armaduras. A correção destas sobreposições pode ser alcançada através de ajustes dos elementos, mas o tempo e a qualidade destas correções estão dependentes do LOD de modelação desejado. O uso de ferramentas de *clash detection* já auxiliam imenso numa eventual procura de incompatibilidades entre as diversas soluções individuais, ficando a cargo do utilizador determinar se deve ou não proceder às alterações. Numa fase de verificação de viabilidade das soluções, a possibilidade de análise visual das soluções implementadas é um passo em frente no caminho para a conceção de projetos à medida do empreendimento e de um dimensionamento mais económico de soluções.

Quer isto dizer que no ato da modelação, seja ela numa fase pós-dimensionamento ou numa fase de conceção estrutural, é possível antecipar possíveis problemas de compatibilidade, ou criar documentos de apoio à execução e montagem de armaduras em obra de peças simples ou peças de execução complexa, agilizando o processo de construção.

Outras vantagens da utilização desta modelação vêm da possibilidade de realizar medições e orçamentações de forma fácil e rápida e até de organizar esses modelos numa ordem temporal, ajudando à gestão de obra com a definição de prazos para a execução de elementos da superestrutura e permitindo uma melhor organização do espaço e das quantidades de material em estaleiro, em função desse calendário de execução.

Relativamente ao formato CAD, no que respeita à criação de desenhos, a modelação pode ser, em termos de tempo despendido na criação de documentos para obra, muito semelhante à alternativa 2D na criação de representações de armaduras, uma vez que para alcançar os resultados finais é necessário, com as ferramentas atuais, realizar alterações pontuais às soluções. Neste ponto, a alternativa CAD já não possui a vantagem de outrora, uma vez que, a possibilidade de utilizar blocos CAD com pormenores tipo de distribuição de armaduras, que tornavam a criação de desenhos muito mais rápida, já não é exclusiva deste formato. É verdade que numa modelação 3D de uma estrutura estamos obrigados à criação de armaduras e pormenores novos adaptados ao modelo, mas também existe a possibilidade de preparar *templates* com pormenores tipo para uma criação rápida de desenhos técnicos. Existe ainda a possibilidade de transição facilitada para formato CAD e a criação automática de vistas nos

programas de modelação, como por exemplo os *Assemblies* em Revit, que ajudam a reduzir os atrasos na preparação de desenhos.

Sempre com o objetivo do modelador e do grau de detalhe que o mesmo pretende alcançar em mente, pode-se dizer que a opção de recorrer aos dois formatos e às suas principais vantagens e funcionalidades será a melhor abordagem no panorama atual de projeto.

2. Software

O *software* estudado abrange várias áreas da engenharia civil, começando com o Robot Structural Analysis e as suas ferramentas de análise estrutural e dimensionamento, o Revit e o Tekla Structures, com as suas capacidades de modelação e organização de informação, e o Advance Concrete, que surge como uma espécie híbrida cruzando a modelação BIM com a plataforma CAD (base de funcionamento do programa), na criação de desenhos de pormenor em estruturas de betão armado.

Convém referir que isto é uma pequena amostra dos programas, com capacidade para criar uma representação tridimensional detalhada de elementos de betão armado. O mercado do *software* de modelação e mesmo o mercado dos aplicativos para dimensionamento e análise estrutural já contam com dezenas de opções e na altura de eger quais as ferramentas a utilizar são diversos os fatores que vão influenciar essa escolha, seja ela por motivos de ordem financeira ou pelas capacidades e/ou funcionalidades dos programas. Por essa razão, e tendo consciente o próprio fundamento da interoperabilidade defendida pela metodologia BIM, é por vezes mais vantajoso recorrer a diversos programas que se complementem ao invés de procurar um que faça tudo.

Atualmente já não é necessário esperar pela resolução de algum problema de software ou simplesmente aguardar que a próxima versão já possua alguma funcionalidade nova. O modelador, engenheiro, arquiteto, pode optar por utilizar uma linguagem de programação e criar os seus próprios aplicativos e ferramentas de suporte à modelação de forma relativamente fácil. No ponto 2.4 é dado como exemplo o Dynamo, que recorre a um tipo de linguagem mais simples, mas existem diversas possibilidades nos dias que correm, com os desenvolvedores a deixarem espaço para o desenvolvimento individual de API's (*Application Programming Interface*) e *plug-ins*, que criam capacidade de resposta a determinados problemas de um projetista.

2.1 Robot Structural Analysis

O programa aqui analisado tem capacidades de modelação e dimensionamento em função de documentos de regulamentação estrutural como é o caso dos Eurocódigos Estruturais Europeus ou de outras normas internacionais.

Este *software* tem como principal objetivo a modelação estrutural para propósitos de análise, sendo os módulos de dimensionamento, elementos mais secundários, pelo menos no que respeita a dimensionamento de peças de betão armado. Variáveis como a largura do apoio, a posição dos varões na secção, os comprimentos de amarração, são pormenores essenciais ao dimensionamento e que ainda não estão bem assumidos. Todos estes condicionamentos

conduziram a ferramenta a evoluir para a situação atual, que apesar de não ser perfeita já permite ter uma noção de uma solução final de armadura.

O programa está concebido para o dimensionamento de elementos de barra, como vigas e pilares, dimensionamento de paredes e lajes e dimensionamento de fundações. É necessário proceder à definição um conjunto de parâmetros, que varia em função do tipo de elemento a dimensionar, e que começam a ser definidos logo a partir da fase de modelação, com a definição da classe de betão e da geometria da peça, as combinações de esforços atuantes, a categoria da estrutura, classe de exposição, parâmetros de cálculo e ações adicionais a considerar no dimensionamento, terminando com a definição de alguns parâmetros construtivos, como o número de fiadas de varões ou comprimento máximo dos mesmos.

Definidos os parâmetros, o programa tem a possibilidade de definir por si só uma solução. Esta pode ser simples ou, dependendo da peça, ser algo mais complexo e menos compreensível para aplicar num caso real. O programa é capaz de fornecer desenhos das secções longitudinais, cortes e quadros representativos das quantidades. No relatório de cálculo é fornecida uma lista de quantidades com o volume de betão, área de cofragem, número de varões e os respetivos comprimentos.

O programa está limitado à criação de modelos peça a peça, excetuando alguns casos onde o programa assume o agrupamento de elementos, como pilares com características iguais, ou uma viga com vários vãos.

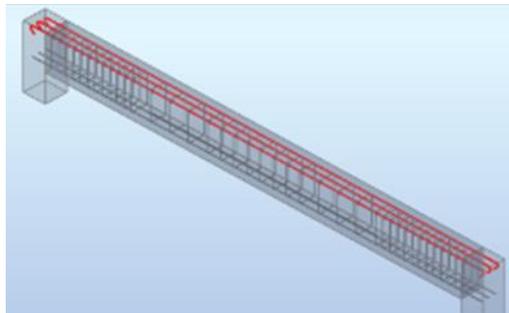


Figura 1: Exemplo de modelo tridimensional de armaduras em vigas.

Para retirar alguma da dependência das decisões do módulo, existe uma ferramenta com o nome de *Typical Reinforcement* que permite personalizar uma solução e analisar a viabilidade da mesma. A desvantagem é que só pode ser aplicada a alguns tipos de secção mais simples.

Em relação à interoperabilidade, esta pode ser feita através de integração direta com o Revit, que suporta a passagem de geometrias e de armaduras, ou ainda existe a possibilidade de criar um fluxo de trabalho com o Tekla Structures. A interoperabilidade com o Revit possui alguns problemas dependendo do sentido em que a informação flui. Se considerarmos um fluxo iniciado a partir do *software* de cálculo, o primeiro problema ocorre com as texturas dos elementos que podem não ser as desejadas. As geometrias, se não forem muito complexas, passam sem problemas, mas paredes com inclinações para fora do plano podem não ser transferidas e aberturas também não passam, mas se o fluxo for feito no sentido inverso alguns destes problemas podem ser eliminados.

A passagem de armaduras está dependente da forma como o próprio Robot passa a informação. Por exemplo, em pilares, o Robot reconhece a altura do vão como a distância entre dois nós da estrutura, mas cria a armadura com um comprimento adicional igual a metade da altura da viga de maior secção ligada ao nó superior, isto faz com que as armaduras transferidas para Revit possuam esse excedente. Em vigas o problema ocorre quando é considerado um encadeamento de vãos. O Revit é informado que uma dada viga com dois ou mais vãos possui uma determinada solução, mas o problema está na forma como ele reconhece a solução. Em vez de reconhecer que a solução aplicada já tem as informações relativas aos restantes vãos, ele vai duplicar a solução total para cada vão. Este último erro ocorre quando é utilizada a opção a partir do *Typical Reinforcement* para personalização de armaduras em Robot.

Em lajes o módulo de dimensionamento não cria modelos de armadura capazes de serem transferidos.

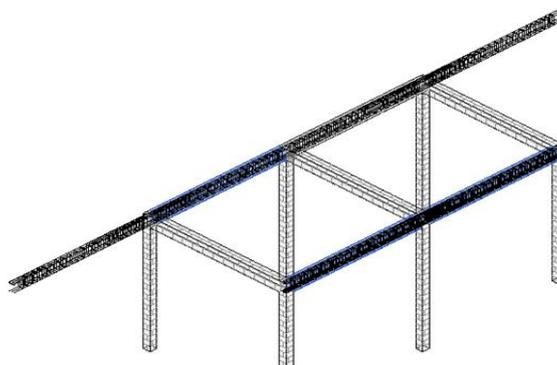


Figura 2: Exemplo de duplicação de informação na passagem de armaduras para Revit.

2.2 Revit & Tekla Structures

A junção destes dois aplicativos é feita devido à natureza semelhante de objetivos e funcionalidades na utilização de ambos, mas apesar das semelhanças, estes são dois programas distintos e com abordagens um pouco diferentes no âmbito da modelação estrutural.

Começando logo com o aspeto visual dos modelos, onde o *software* da Trimble se destaca pela modelação mais colorida, mais conceitual, e o Revit pela tentativa de aproximação ao real na sua paleta de cores e texturas. No entanto, a principal diferença ocorre na especificidade que o Tekla tem ao dar maior foco à modelação estrutural, servindo-se atualmente do Sketchup como principal suporte à modelação de arquitetura e do BIMsight para controlo e gestão de obra/projeto. O Revit procura uma aposta na diversidade e na modelação multifacetada, contando também com o suporte de aplicativos como o Navisworks para atividades de apoio à gestão de projeto/obra. O Tekla também tem algumas ferramentas que permitem a modelação de elementos externos à conceção de superestruturas, mas não aprofunda ao nível do Revit em áreas como a Arquitetura ou Infraestruturas.

Isso não implica que um seja melhor que o outro, até porque a dispersão do foco que acontece no Revit acaba por criar soluções para algumas necessidades específicas, mas está mais sujeito a falhas. Fica a título de exemplo a criação em simultâneo de um modelo de cálculo estrutural com o modelo de “arquitetura” da superestrutura. A compatibilização dos dois modelos ainda

se encontra exposta a erros de ligação entre elementos e a sua sobreposição por vezes não atinge os resultados desejados, o que obriga a realizar correções, ou à criação em separado de um modelo de cálculo. Um exemplo será a criação de lajes em Revit, que dependendo da dimensão dos pilares, as ligações nos nós do modelo de cálculo poderão ficar desfasadas, o que obriga a entrar no modo analítico do Revit e a proceder a ajustes do modelo de cálculo. Nos testes efetuados, chegou-se à conclusão que a modelação de lajes utilizando as faces exteriores de pilares, com cerca de 40/50 cm de dimensão numa das faces, como fronteira para definição do bordo da laje poderão gerar incoerências nas ligações do modelo de cálculo.

A visão mais centrada do Tekla, principalmente em estruturas metálicas já permite, desde há alguns anos, atingir resultados com elevado detalhe. O Revit já introduziu na sua versão de 2017 ferramentas de criação automática de ligações metálicas, reduzindo alguma dessa desvantagem. Mas ainda assim o Tekla destaca-se pela sua capacidade de gerar informação e modelos aptos para a criação de documentação para fabrico e produção de peças reais, algo que o Revit ainda não faz isoladamente, tendo ferramentas externas para o suporte à criação deste tipo de documentação.

Passando à modelação de armaduras, ambos têm capacidade para criar elementos de armadura e extrair ou até inferir informação detalhada sobre os materiais e quantidades. As bibliotecas são bastante completas e é possível criar/personalizar materiais e informação específica para esses elementos. A principal diferença, em termos de edição e modelação “manual” de armaduras, está na metodologia de criação, com o Revit a necessitar de uma definição de planos de trabalho baseados em cortes transversais ou longitudinais de algumas das peças, vigas e pilares principalmente, enquanto o Tekla Structures permite realizar essa modelação diretamente no universo tridimensional da estrutura. Chegam a ter ferramentas de criação semelhantes, como a criação de armaduras por área que pode ser diretamente aplicada no ambiente 3D de ambos os programas, mas sempre com essa ligeira diferença, que pode resultar num desenvolvimento mais lento das armaduras em Revit. Outra diferença que se encontra diretamente relacionada com a anterior é a edição pontual de armaduras para a atribuição de formas, *shapes*, especiais que não se encontrem definidas no catálogo base. Após a criação das *shapes* a edição de comprimentos, por exemplo, fica disponível a partir dos menus de propriedades desses elementos, sejam eles varões isolados ou um grupo de varões. Para a criação ou edição de *shapes* o Revit entra num modo de edição específico, semelhante aos modos de edição de lajes ou de paredes, enquanto o aplicativo concorrente deixa ao dispor do modelador um conjunto de pontos de referência que permitem editar em conjunto ou individualmente as formas das armaduras. Existe ainda a possibilidade de inserir novos pontos de edição e inserir novos elementos em função de pontos intermédios entre varões previamente criados. Apesar do modo de edição em Tekla aparentar ser mais rápido, não significa que seja mais simples e nesse aspeto, a edição em Revit, pode possuir algumas vantagens face à modelação por pontos de referência, ao permitir uma liberdade na definição de trajetos mais simples e fácil de interpretar.

Outro modo de criação de armaduras é através de *plug-ins* integrados nos programas e que permitem agilizar o processo de modelação, simplificando a introdução de dados e criando a totalidade das armaduras para as diferentes peças. Esta criação é feita elemento a elemento e as opções que existem ainda não têm uma base de criação para toda e qualquer situação que possa

ocorrer em projeto. Ainda assim, o *software* Tekla, possui uma panóplia de *plug-ins* mais vasta, como a introdução de cordões de pré-esforço e com mais opções que o Revit, que se vê limitado à automatização para elementos mais simples, como, por exemplo, vigas retangulares. Isto não implica que o Revit fique atrás do seu concorrente, uma vez que os modos de criação e interface são mais simples de aplicar e compreender numa primeira aproximação. As ferramentas disponíveis em Tekla nem sempre possuem instruções claras e é necessário perder mais tempo em formação para ter uma clara compreensão das funcionalidades dos diversos *plug-ins*.

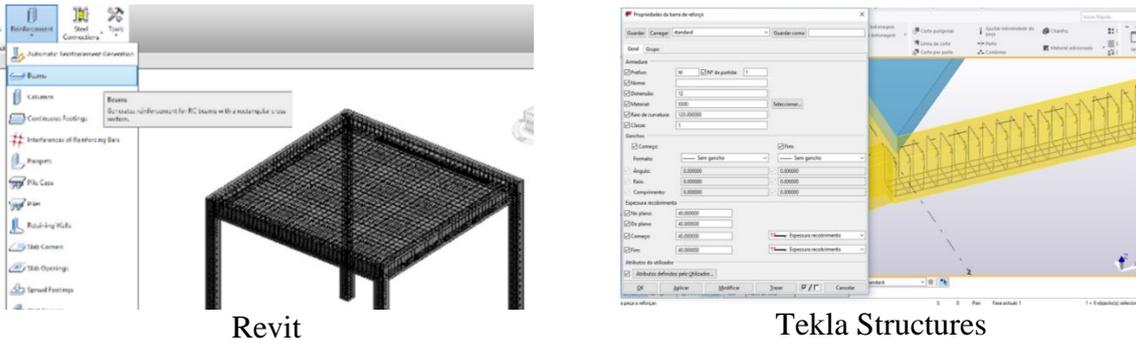


Figura 3: Exemplo de modelação de armaduras em Revit e em Tekla Structures.

Na produção de desenhos o Tekla é mais rápido, pois após a definição dos diversos parâmetros e a criação de um *template* adaptado às necessidades do projeto, a produção de desenhos é feita em segundos e com uma excelente qualidade. Em Revit o processo é mais demorado porque obriga à montagem manual dos diversos planos e vistas, previamente definidas de forma manual ou a partir de *Assemblies*. Estas vistas têm de ser integradas numa folha específica, baseada num *template*, editável ou previamente criado, num processo de conceção que quase se assemelha à criação de *Layouts* em *software* CAD, mas sempre com garantias de que os resultados alcançados possuem uma excelente qualidade.

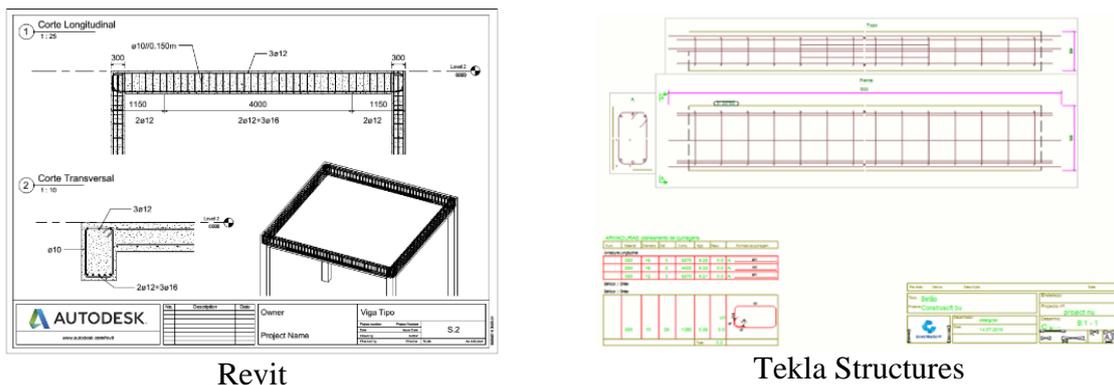


Figura 4: Exemplo de desenhos produzidos em Revit e no Tekla Structures.

Relativamente à extração de quantidades, a diferença é praticamente irrelevante, com ambos os programas a permitirem a geração de tabelas detalhadas e com a possibilidade de filtrar toda a informação. A principal diferença está no método de quantificação de comprimentos de varões, onde o Tekla se mostra mais preciso na contabilização de comprimentos das zonas curvas (dobras) de varões de aço. O Tekla segue uma biblioteca específica com dados relativos aos

diâmetros de mandril que os diversos varões podem ter, enquanto o Revit tem uma abordagem mais genérica dando ao utilizador a possibilidade de definir esses pormenores.

Em termos de interoperabilidade, se tivermos como principal foco o formato IFC, vemos que o Tekla se encontra mais preparado para criar e receber este tipo de ficheiro, principalmente porque o *software* permite a conversão de elementos em formato IFC para o formato nativo do Tekla Structures, seja esta uma conversão global do modelo ou de elementos específicos. É certo que ainda não é uma conversão isenta de falhas, mas é uma funcionalidade diferenciadora e com bastante interesse. O Revit, de ano para ano, tem vindo a melhorar as suas capacidades de reconhecimento e tradução de informação em formato RVT para IFC e muito em breve a diferença entre os dois programas poderá ser nula.

2.3 Advance Concrete

Este é o último *software* de modelação aqui analisado e pode-se dizer que não é mais que um simples *upgrade* às funcionalidades nativas do AutoCAD. Pode-se pensar que conhecendo a sua base de aplicação CAD a interação com o aplicativo estaria totalmente esclarecida, mas isto não é totalmente verdade. Quem estiver familiarizado com o método de modelação tridimensional CAD verá que o método presente no Advance Concrete é muito mais simples e tem inclusive algumas semelhanças com outros programas de modelação como o Revit e até mesmo o Robot Structural Analysis, introduzindo a possibilidade de modelação com base em famílias e informação acerca do material de composição ou da secção base para a criação do elemento de betão. É, portanto, mais simples criar elementos com geometria mais complexa e a forma como o elemento é reconhecido é mais apurada e completa do que na modelação CAD genérica. Estas capacidades de modelação são introduzidas através de um conjunto de funcionalidades específicas do programa e que se encontram disponíveis em conjunto com as ferramentas base do AutoCAD. Só é possível atribuir uma solução de armaduras aos elementos criados com estas novas ferramentas.

Já foi referido que a possibilidade de recorrer a blocos com representações tipo de pormenores esquemáticos de armaduras em elementos de betão armado será uma opção mais vantajosa na produção rápida de desenhos técnicos, mas se o objetivo for a produção de desenhos mais detalhados, o Advance Concrete é uma opção com sentido. Isto porque o programa apesar de possuir ferramentas de criação dinâmica a partir de pontos de referência e de ser possível definir *templates* para definição de desenhos e *tags*, o processo de edição manual de armaduras pode ser algo moroso e que obriga à definição de elementos num mínimo de dois planos, um longitudinal para definição do perfil ao longo do elemento de betão e um transversal para definir o posicionamento face ao eixo transversal da secção da peça a ser armada. Também existem ferramentas para atribuição automática de armaduras aos diferentes constituintes da superestrutura, mas estas ferramentas ainda pecam por falhas na compatibilização de elementos entrecruzados. O que acontece é que ao tentarmos atribuir armadura em simultâneo a duas vigas que partilhem um nó de ligação, a solução final das armaduras de pelo menos uma das vigas vai-se encontrar deslocada em relação ao nó para que não ocorra uma sobreposição dos elementos. No que toca a opções de modelação, existem algumas opções que não existem em Revit, mas também existem opções muito úteis do Revit que não existem neste aplicativo.

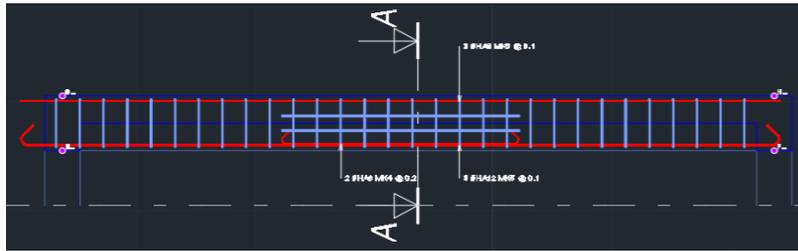


Figura 5: Exemplo de deslocamento de uma armadura em Advance Concrete.

Como a produção de desenhos está inteiramente dependente das configurações prévias à definição das armaduras, a qualidade dos mesmos fica igualmente dependente das opções tomadas. A modelação funciona quase como um elemento extra, uma vez que as armaduras são criadas numa plataforma 2D que através de uma funcionalidade específica do programa é posteriormente convertida para uma visualização tridimensional do modelo. Sendo assim é possível afirmar que se trata de uma criação mais típica de elementos CAD, apenas possuindo algumas vantagens face ao método CAD, dito tradicional, ao incluir ferramentas de apoio e agilização do processo de criação.

O ponto forte deste *software* será a extração de quantidades, mais especificamente a extração de volumes de betão da superestrutura e as respetivas áreas de cofragem dos diversos elementos. O documento gerado organiza toda a informação relativa aos diversos elementos e ainda apresenta uma previsão orçamental. A nível de extração de quantidades de armadura, a informação extraída é, em tudo, semelhante ao que os restantes programas anteriormente analisados fornecem. É uma funcionalidade que pode ser encarada como algo com pouco peso numa fase de aprovação quanto à imprescindibilidade do programa, mas não deixa de ser interessante.

A interoperabilidade é a maior falha deste aplicativo, o primeiro grande desmotivador ao seu uso será a limitação do próprio programa em gerar modelos tridimensionais de armaduras que possam ser integrados num modelo final BIM da forma correta. Não que o programa não seja capaz de criar um modelo global, o problema está no modo como cria. Como as peças são todas criadas em 2D, o modelo 3D tem de ser criado a partir da ferramenta de visualização 3D, e o ficheiro além de ser gerado em formato DWG, é rebatido sobre o plano XY – num referencial do tipo XYZ – tornando-se dispensável uma vez que a sua integração fica comprometida.

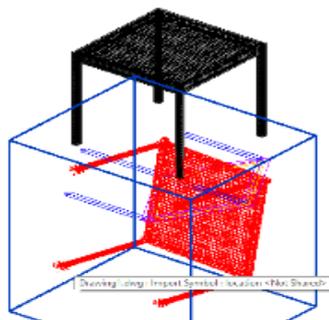


Figura 6: Exemplo de integração do modelo de armaduras Advance Concrete em Revit.

Outra limitação está na comunicação com o Revit, principal objeto de ligação com o programa em análise. Em suma o Advance Concrete obriga à conversão do ficheiro para um formato específico ou para formato IFC que não o padrão. O uso do ficheiro IFC regular também é possível, mas encontra-se muito mais sujeito à perda de informação. O uso dos outros dois formatos de ligação leva ao reconhecimento das geometrias, mas podem estar sujeitos ao deslocamento de elementos sobre os seus próprios eixos e, graças a essa pequena particularidade, a erros que se mantêm no retorno da informação ao modelo base. Outra particularidade é que o modelo importado para o Advance Concrete deixa de ser global e a informação dos diversos níveis passa a estar repartida por diferentes partições, muito semelhante ao que acontece na hora de gerar um novo desenho. Mesmo o modelo de armaduras criado fica separado do modelo geral da estrutura e por essa razão não existe uma passagem direta dessa informação, tendo o modelo DWG de ser integrado separadamente e com as limitações já mencionadas.

2.4 Dynamo

O Dynamo possui uma linguagem mais simples de programação visual. Esta permite ao utilizador de programas como o Revit criar as suas próprias ferramentas de modelação e deixa ao nosso dispor ferramentas que permitem criar modelos paramétricos de grande simplicidade ou atingir níveis de modelação de grande complexidade com poucos elementos de programação. Dizer que esta é uma linguagem mais simples, não implica dizer que é mais fácil, pois para atingir resultados mais complexos também é necessário recorrer a elementos mais avançados ou até a programas de suporte. O programa permite desenvolver comandos através da linguagem Python, ou recorrer a folhas de cálculo, como as que são programadas em MS-Excel, para receber informação específica ou realizar comandos que possam não estar configurados. Outra forma de obter novas funcionalidades é recorrer a pacotes de nós – elementos de programação visual – disponibilizados pelo próprio *software* e que provêm de uma rede internacional de partilha. O Tekla Structures pode contar com o apoio deste tipo de programação, mas tem de recorrer ao Grasshopper e a uma ligação com o Rhinoceros.

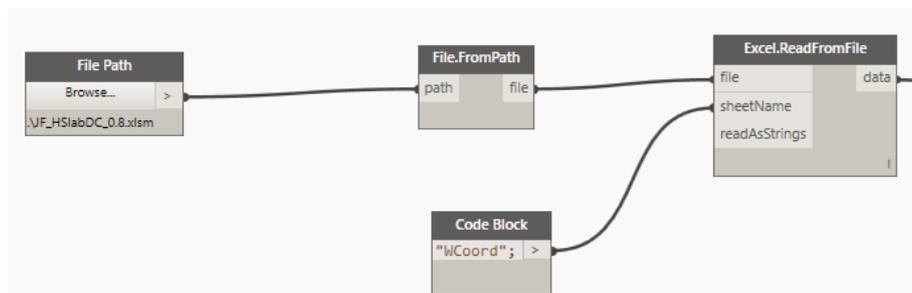


Figura 7: Exemplo de nós de programação Dynamo para importação de dados MS-Excel.

2.4.1 Modelação Elemento a Elemento

Para a modelação de armaduras podemos recorrer a um método semelhante ao que já é alcançado com as ferramentas de modelação automática existentes. Aqui fica a recomendação de uma ferramenta para criação de armaduras em pilares de geometria complexa. Que pode não parecer muito simples de utilizar, dado o número de parâmetros que é necessário ter em conta, mas que é bastante completo, uma vez que gera todos os tipos de elementos desejados, desde

estribos a elementos longitudinais. O *script* e todos os elementos de apoio para a correta utilização em Dynamo podem ser obtidos na página *Revit beyond BIM* no artigo *Rebar modelling in Revit with Dynamo for blended shapes*. [10] O resultado alcançado com este tipo de ferramenta é semelhante ao que se vê na seguinte figura.

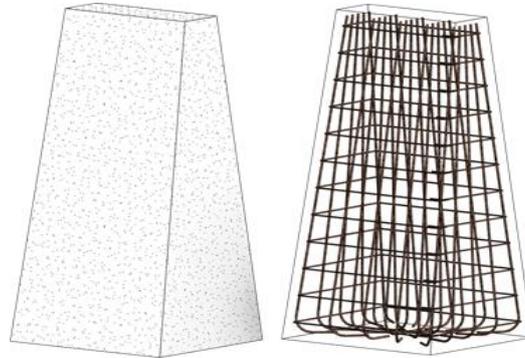


Figura 8: Exemplo de criação de armaduras em Revit pelo Dynamo [10].

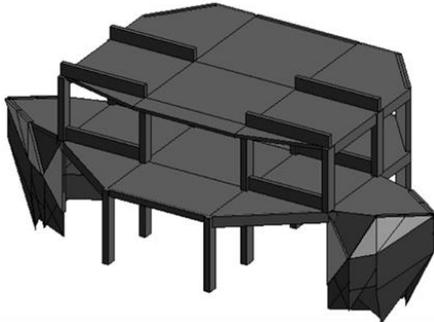
Este tipo de programação tem por base a seleção de um elemento para a base de aplicação dos comandos e todos os elementos de armadura são introduzidos com base em nós próprios para criação de armaduras e a um conjunto de informações que são tratadas previamente, como por exemplo, a criação de uma linha base representativa do percurso das armaduras longitudinais, o número de varões e a posição ou espaçamento entre varões. A modelação recorrendo a este tipo de *script* garante que todos os elementos de aço gerados são reconhecidos pelo Revit como o um elemento original Revit e todas informações anexas inerentes ao objetos são mantidas, sendo possível tratar a informação para a recolha de dados para orçamentação ou medição de quantidade de aço.

2.4.2 Modelação Conjunta

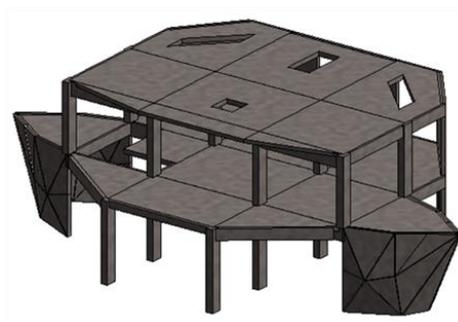
A modelação conjunta já pressupõe a existência de um conjunto de dados que permita a criação destes elementos. Uma desvantagem dos *scripts* criados face à geração elemento a elemento está na informação retida pelo Revit após a criação. Isto porque as armaduras geradas são elementos paramétricos com geometria semelhante à dos elementos de armadura mas que não são gerados através dos nós de importação de dados como elementos de armadura. É possível importá-los como sendo da categoria específica, mas a informação não é assimilada devido ao processo de integração utilizado. No entanto uma vez que no exemplo criado existe o apoio de uma folha de cálculo para alcançar os objetivos finais, esta mesma folha também foi pensada para produzir a informação relativa à extração de quantidades e orçamentação da estrutura.

Esta folha de cálculo foi criada com o intuito de importar todos os dados referentes à composição da estrutura e todos os esforços do modelo de cálculo criado em Robot Structural Analysis e deixar às mãos do modelador/projetista toda a informação e um conjunto de funcionalidades que permitem realizar o dimensionamento dos elementos de betão armado. A informação gerada permite além de gerar elementos paramétricos representativos das

armaduras, colmatar falhas, da interoperabilidade relativas às texturas, desvios posicionais de alguns elementos e a importação de negativos, encontradas no fluxo Robot-Revit.



Fluxo Robot→Revit



Fluxo Robot→MSExcel→Dynamo→Revit

Figura 9: Exemplo de modelação em Revit recorrendo ao Dynamo comparativamente à integração direta Robot-Revit.

Toda esta informação importada permite um fluxo de trabalho de sentido único que envolve a passagem e o tratamento da informação desde o Robot, passando pelo MS-Excel, seguindo pelo Dynamo e terminando no Revit. O processo pode parecer longo, mas após a finalização da programação e do ajustamento de todos os elementos, a velocidade de execução é bastante mais célere do que se fosse necessária a modelação de uma nova estrutura em Revit. Se não quisermos a representação de armadura é possível ter uma estrutura modelada em Revit de forma relativamente rápida após a modelação em Robot estar completa. É claro que o modelo de cálculo pode conter simplificações face ao modelo Revit, mas será preferível introduzir alguns pormenores ou elementos adicionais à alternativa de realizar esta tarefa na totalidade. E o utilizador pode sempre optar pela via inversa, um fluxo Revit-Robot, para obter um resultado semelhante, apesar dos cuidados acrescidos que são necessários para ter o modelo de cálculo criado em Revit definido de forma correta.

Quanto às armaduras e ao grau de detalhe alcançado, a representação fica dependente do grau de programação aplicado uma vez que o programador/modelador tem de decidir de antemão qual o objetivo da sua modelação. Os elementos a ser demonstrados de seguida foram criados com o intuito de demonstrar quais as possibilidades de gerar uma representação global do modelo de estruturas, não se procurou atingir um grau de detalhe realista, mas também não se deixou o modelo com o formato mais simplista. A criação destes modelos é feita com base na informação extraída relativa às coordenadas geométricas de cada elemento do modelo de cálculo e no ato do dimensionamento são definidas todas as informações necessárias à criação dos elementos paramétricos em Dynamo. Estas informações contêm dados relativos a diâmetros, coordenadas e espaçamentos, entre outras informações relevantes. O resultado final para vigas, pilares e lajes é demonstrado de seguida.

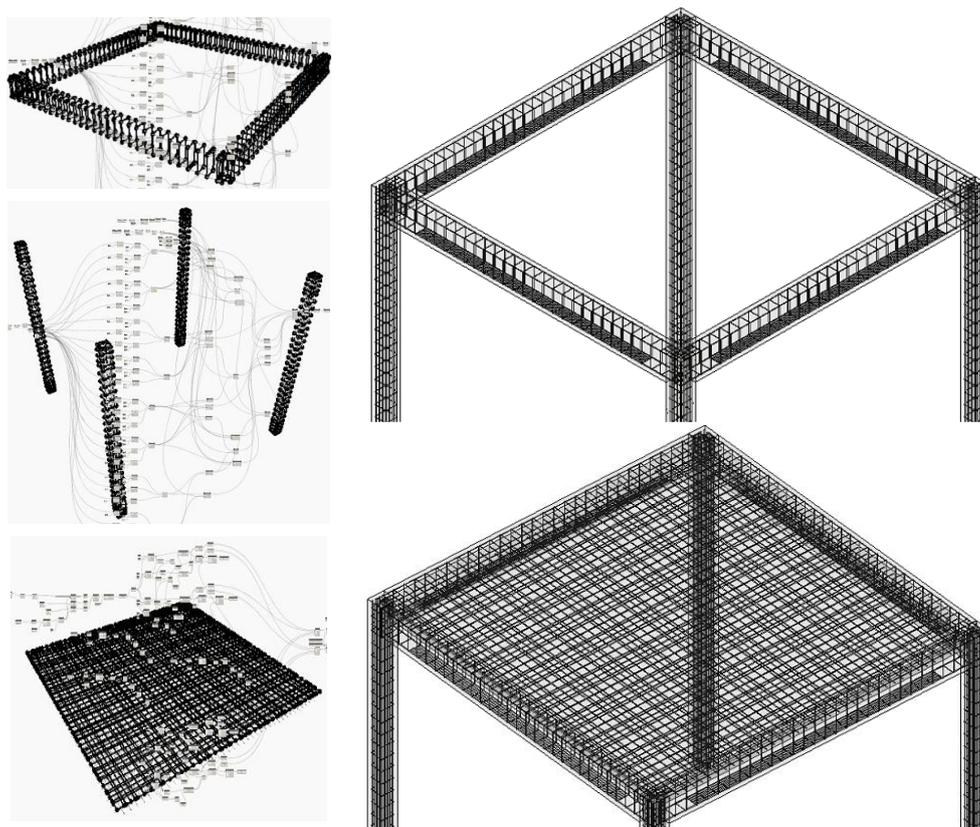


Figura 10: Exemplo de modelação de armaduras em Revit recorrendo ao Dynamo.

Existe uma particularidade na utilização deste método relativamente ao método de criação elemento a elemento que é a possibilidade de gerar os modelos sem necessitar de um hospedeiro (elemento base de acolhimento de armaduras), o que pode ser uma desvantagem para a informação contida no modelo. As limitações deste tipo de modelação estão, como já foi dito, dependentes dos objetivos do modelador e com a devida informação é possível gerar modelos de armaduras para qualquer tipo de situação.

Este foco pode não ser o ideal, mas além de serem controlados com maior precisão todos os resultados, evitando problemas relativos a espaçamentos e demais detalhes construtivos, também é dada uma noção orçamental numa fase prévia à de modelação de elementos, a possibilidade de visualização de elementos de armadura e a antecipação de possíveis incompatibilidades de execução das soluções.

O facto de não ser possível realizar *clash tests* com garantias de verificar de forma precisa eventuais conflitos entre elementos de armaduras com os modelos criados não é grave uma vez que muitos dos problemas que surgem nessas sobreposições podem ser facilmente resolvidos em obra sem necessitar de grandes ajustes à solução desenvolvida em projeto, os principais problemas a detetar consistem na deteção de zonas de nós no cruzamento de armaduras longitudinais de pilares com armaduras longitudinais de vigas, onde muitas vezes os espaçamentos existentes podem não ter dimensão suficiente para acondicionar a passagem dos diversos elementos.

Existem outros pontos de interesse como a verificação dos comprimentos de amarração e a interação entre todos os elementos da superestrutura que necessitavam de ser aperfeiçoadas, de forma a garantir que a solução prevista possui as condições para a execução ideal da betonagem e assim certificar a segurança da obra e a qualidade do projeto. Estes são problemas que podem ser detetados com uma simples inspeção visual, com uma visualização aparte das armaduras ou em conjunto com o modelo da estrutura, mas demonstram que as ferramentas atuais e a criação de outras dedicadas à modelação elemento a elemento têm, comparativamente à modelação em massa alcançada com o exemplo criado, algumas vantagens. A principal será a maior facilidade de aplicação, outra razão será a rapidez e a facilidade com que este tipo de ferramentas pode ser criado.

3. Conclusões

As soluções existentes para modelação de armaduras são ferramentas em constante desenvolvimento e ainda não alcançaram o patamar de perfeição requerido, mas já existe uma compreensão destes problemas e a liberdade para desenvolver métodos para a redução de falhas.

O Robot Structural analysis, apesar de já possuir ferramentas de cálculo, deixa disponível elementos para exportação/importação de dados que permitem a criação de folhas de cálculo ao gosto do projetista. E ainda que as ferramentas existentes, como o *provided reinforcement*, não prevejam a personalização do dimensionamento de inúmeros casos, estando limitadas a secções mais simples, como a retangular, estas já atribuem ao utilizador alguma liberdade na definição de soluções e são capazes de atribuir soluções, de forma automática, a qualquer secção, mesmo que estas depois não possam ser editadas de forma manual – a alteração de parâmetros, como o diâmetro máximo a utilizar no dimensionamento, podem ajudar a ter uma solução semi personalizada.

A nível do *software* de modelação Revit e do Tekla Structures, as ferramentas que existem permitem de forma mais ou menos rápida personalizar e editar qualquer solução de armadura que seja concebida em projeto, armazenando toda a informação relevante para medição e orçamentação, assim como auxiliar na criação de documentação. A facilidade com que um modelador consegue atribuir uma solução de armadura a um modelo de estruturas de betão armado também é otimizada com a introdução de programas como o Dynamo, que permitem a criação de ferramentas personalizadas, de forma relativamente simples, capazes de corrigir alguns defeitos de interoperabilidade ou de modelação.

O Advance Concrete apresenta-se como um software com valor muito específico, mas que dadas as falhas de interoperabilidade e algumas limitações encontradas, não se mostra como um aplicativo capaz de adicionar mais valor a um projeto. É uma ideia que pode ser útil se a integração com o programa de modelação, Revit, for melhorada.

Hoje em dia, ficarmos inteiramente dependentes de um único software pode não ser o cenário mais desejado e cabe ao modelador, engenheiro, ou arquiteto procurar a solução às limitações impostas. A qualidade das soluções e de alternativas presentes na área de modelação de

armaduras garantem qualidade aos elementos modelados, mas podemos estar sujeitos a limitações impostas por nós próprios para atingir determinados resultados.

Esta procura de alternativas não precisa de ser inteiramente dedicada à produção de modelos, já que é possível recorrer a diversas ferramentas freeware ou desenvolver ferramentas próprias para dimensionamento e cálculo estrutural ou medição de quantidades e previsão orçamental, por exemplo.

Referências

- [1] J. Fernandes, "Produção automática de modelos BIM de armaduras de betão armado: Pormenorização e Medição", Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2016.
- [2] C. Ribeiro, "Desenvolvimento de processos CAD/CAM para a pormenorização e produção industrial de armaduras para elementos de betão armado.", Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.
- [3] I. Gonçalves, "Aplicação do BIM ao projeto de estruturas: Abordagem de programação ao processo de pormenorização de vigas de betão armado.", Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Viana do Castelo, Portugal, 2014.
- [4] B. Ribeiro, "Aplicação de metodologias BIM no contexto da construção da nova ponte sobre o Rio Dão.", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2015.
- [5] M. Magalhães, "Projeto de estruturas de edifícios em betão armado apoiado em ferramentas BIM.", Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2015.
- [6] H. Sousa, "Modelação em BIM de armaduras de betão armado de um edifício: Análise da sua contribuição para processos de medição e orçamentação mais eficientes.", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2013.
- [7] J. Fernandes, "A metodologia Building Information Modeling aplicada ao projeto de estruturas.", Tese de Mestrado, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2013.
- [8] M. Almeida, "Tecnologia BIM aplicada ao Projeto de Estruturas Metálicas.", Tese de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2015.
- [9] J. Lino et al, "Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas.", Artigo para o Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012.
- [10] D. Vermeulen, "Rebar modelling in Revit with Dynamo for blended shapes." [HTML], Disponível em <https://revitbeyondbim.wordpress.com/2015/10/09/rebar-modelling-in-revit-with-dynamo-blended-shapes/>

CASO DE ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO BIM NO APOIO AO PROJETO DE REDES URBANAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ÁFRICA

Gabriel Lopes ⁽¹⁾

(1) LAIII – Lopes Associados, Engenheiros Consultores, Porto

Resumo

O desenvolvimento de projeto em engenharia civil tem estado assente em processos clássicos que dificilmente tiram partido das potencialidades das ferramentas existentes (e.g. Civil 3D).

No presente caso de estudo, restrições de várias ordens obrigaram à elaboração de uma abordagem desprendida da tradição, pensada de forma integrada, desde o levantamento topográfico e demográfico até à quantificação e implantação de todos os elementos do projeto. Os levantamentos topográfico e fotogramétrico georreferenciados – que posteriormente foram filtrados e verificados – foram obtidos através do rastreamento de satélite com as respetivas correções planimétricas. O levantamento demográfico foi feito por estimativa da densidade habitacional e através de taxas de crescimento previstas pelas Nações Unidas. Para as estimativas dos consumos e sua distribuição, assim como para a interoperabilidade entre o software de modelação e o software de cálculo, foi desenvolvida uma ferramenta própria com base na regulamentação e na metodologia proposta pelo Dono de Obra. A parametrização dos elementos utilizados na modelação beneficiou a interoperabilidade e permitiu auferir várias informações do projeto de forma rápida, como, por exemplo, medições, implantação, localização de órgãos e peças desenhadas e gráficas.

O desenvolvimento do projeto (do caso de estudo em causa) com recurso a ferramentas sustentadas no conceito BIM permitiu contornar restrições financeiras, temporais e espaciais, originando economias substanciais em todas as fases do processo do projeto, bem como testar e otimizar várias soluções num curto espaço de tempo.

1. Introdução

O caso de estudo exposto refere-se ao projeto da rede urbana de abastecimento de água da cidade de Quibala em Angola. As metodologias aqui apresentadas pretendem expor o fluxo de trabalho utilizado durante o desenvolvimento do projeto, mas, principalmente, dar a conhecer a contribuição que o conceito BIM e as ferramentas utilizadas, que o suportam, tiveram ao longo de todo o processo.

2. Objetivos

Antes de dar início ao desenvolvimento dos estudos do presente projeto, foram estabelecidos alguns objetivos com o propósito último de conseguir desenvolver as tarefas de forma rápida e eficiente, mantendo um padrão de qualidade elevado.

Dos objetivos principais definidos destacaram-se os seguintes:

- Cumprir com os requisitos do Caderno de Encargos definidos pelo Dono de Obra;
- Aplicar os parâmetros de dimensionamento definidos pelo Dono de Obra e pela regulamentação;
- Utilizar ferramentas e metodologias para tornar o fluxo de trabalho mais rápido e eficiente;
- Evitar tarefas repetitivas e com grande propensão à ocorrência e introdução de erros que impliquem um grande volume de trabalho na sua correção;
- Realizar um trabalho com um elevado padrão de qualidade.

3. Abordagem

Para dar resposta aos objetivos propostos, foi equacionada a metodologia tipicamente utilizada neste tipo de estudo e foi pensada a sua reformulação, de forma mais integrada e com o desejo de tirar partido das várias ferramentas disponíveis, para ultrapassar as condicionantes que o próprio projeto impunha.

As ferramentas disponíveis e utilizadas durante o processo foram essencialmente o Autodesk Civil 3D (versão 2014), o EPANET (versão 2.0) – por imposição do Caderno de Encargos do Dono de Obra – e o Microsoft Excel (versão 2007).

Na realização destes estudos, associados à observância dos objetivos delineados, foi denotado um conjunto de condicionantes que tiveram de ser contornadas durante a realização das tarefas, tais como: a falta de dados cadastrais fiáveis, a inexistência de levantamentos (topográficos e demográficos) e os custos associados à sua realização, a obrigação da utilização de determinadas aplicações de dimensionamento impostas pelo Dono de Obra (o caso do EPANET para o dimensionamento da rede), a dificuldade em visitar o local da obra e os prazos para a realização dos estudos.

3.1 Fluxo de trabalho tradicional

Um fluxo de trabalho típico e amplamente utilizado no estudo de um projeto de uma rede urbana de abastecimento de água pode ser similar ao apresentado na Figura 1.

O esquema apresentado na Figura 1 não pretende ser exaustivo até porque cada grupo de trabalho tem as suas próprias metodologias e ferramentas e, muitas vezes, existem características que variam de projeto para projeto, obrigando a ajustes no fluxo de trabalho. No entanto, é possível perceber que todo o processo assenta num conjunto de tarefas que, de algum modo, se repetem e, além disso, grande parte dessas tarefas são feitas de forma manual (ou quase) e, conseqüentemente, muito suscetíveis à introdução de erros.

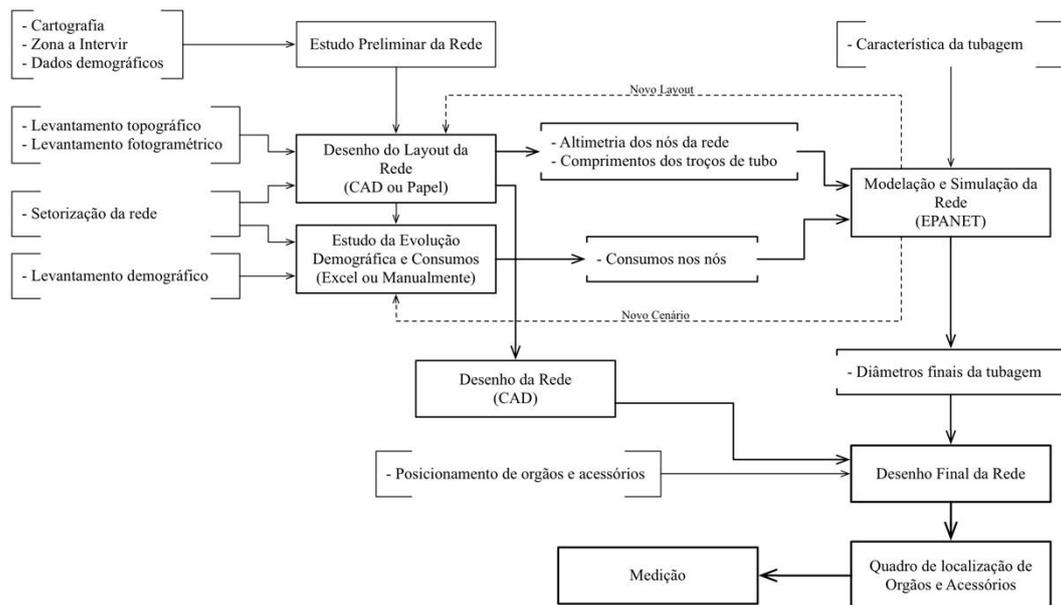


Figura 1: Fluxo de trabalho típico para um projeto de abastecimento de água.

No que se refere ao “Desenho do Layout da Rede”, este é normalmente pensado sobre o papel com uma base cartográfica ou levantamento cadastral existente. Após o estudo de um potencial layout, é necessário determinar manualmente a altimetria de cada um dos elementos da rede (nós, tubos, órgãos, etc.) sobre a base altimétrica utilizada. Posteriormente, é necessário estudar os consumos existentes e previstos para se determinarem os caudais de cálculo dos diferentes cenários a simular e a sua distribuição ao longo da rede (no caso do EPANET os consumos só podem ser aplicados nos nós da rede). Depois é necessário fazer a modelação da rede na aplicação de dimensionamento/cálculo. No caso do EPANET, uma forma de realizar isso poderia ser através da introdução manual dos nós (“Junctions” no EPANET), especificando os seus parâmetros planimétricos, altimétrico e de consumo, ligando-os, manualmente, por tubos (“Pipes”) com as características dimensionais e materiais (incluindo o comprimento que deve ser corrigido para o comprimento real). Todo este processo seria manual, fosse feito diretamente no EPANET ou indiretamente através de um ficheiro de CAD que seria posteriormente processado, importado e corrigido. É fundamental que a base de trabalho sobre a qual é feita a modelação tenha rigor suficiente e escada adequada para o tipo de projeto em estudo, seja um ortofotomapa ou um levantamento topográfico. O estudo de um cenário de consumo diferente

implicaria a alteração manual de todos os consumos nos nós e para o estudo de layout da rede diferente seria imprescindível refazer manualmente todo (ou quase todo) o processo descrito aplicado à nova configuração.

Dadas as restrições ao nível da modelação e o dispêndio de tempo que este tipo de atividades repetitivas e sem valor acrescentado normalmente consome no desenvolvimento de um projeto desta natureza, foi fundamental pensar numa abordagem que permitisse reduzir substancialmente o tempo aplicado na realização de tarefas típicas de uma abordagem tradicional.

3.2 Fluxo de trabalho desenvolvido

Considerando todas as condicionantes apresentadas e os objetivos traçados, foi delineada uma estratégia que provou ser bastante vantajosa. Tirou-se proveito das potencialidades das aplicações utilizadas, permitindo reduzir substancialmente o tempo despendido em tarefas acessórias não relacionadas com o estudo da rede em si.

Apesar de algumas semelhanças com o fluxo de trabalho tradicional, o fluxo de trabalho utilizado tirou grande partido da automatização das tarefas, através da interoperabilidade existente (ou desenvolvida) entre as diferentes aplicações, reduzindo ao máximo as tarefas realizadas de forma manual e repetitiva.

De forma esquemática, o fluxo de trabalho utilizado apresenta-se globalmente na Figura 2.

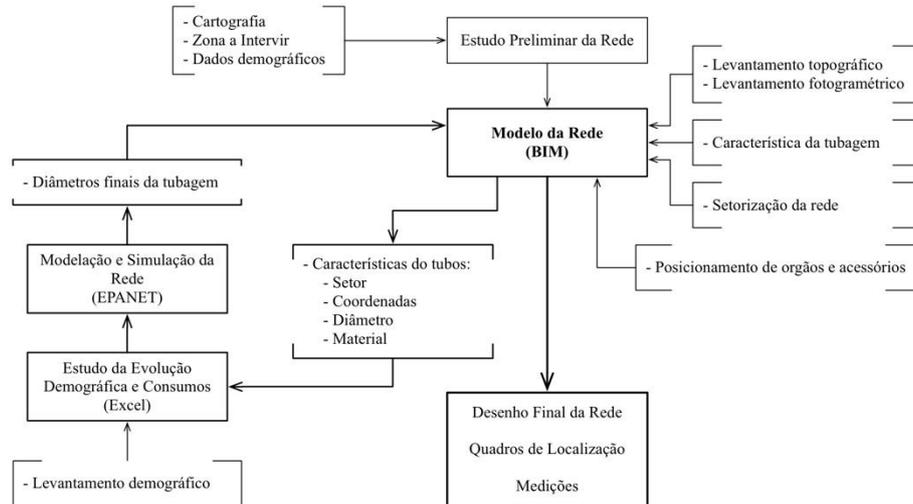


Figura 2: Fluxo de trabalho desenvolvido.

Analisando a Figura 2 é notório que todo o fluxo de trabalho foi centralizado num modelo BIM (*Building Information Modeling*). Este modelo central é constituído por um conjunto de objetos que dependem de informação de entrada e que, muitas vezes, não está disponível ou, os custos e morosidade associados à sua obtenção são muito elevados como, por exemplo, o levantamento topográfico e fotogramétrico.

4. Caso de estudo

4.1 Levantamento fotogramétrico e topográfico

No caso de estudo apresentado, o levantamento fotogramétrico datado de 21 de julho de 2013 foi obtido através do rastreamento por satélite da constelação Pleiades com uma resolução de 50 centímetros e disponibilizado pela Astrium através do Google Earth Pro. O levantamento topográfico foi obtido através de uma nuvem de pontos da interpolação de uma superfície DEM (*Digital Elevation Model*) recolhida pela SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA com uma resolução de um arco-segundo (aproximadamente 30 metros). Como alternativa foi também utilizado um GeoTIFF com a mesma resolução disponibilizado pelo ASTER GDEM V2 (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model Version 2*). Contudo, estes últimos dados foram descartados pela maior dificuldade em serem processados quando comparados com os anteriores. É de salientar que em termos de precisão, os levantamentos mostraram-se bastante aceitáveis, tanto pelo facto de a resolução da obtenção dos dados ser compatível com a escala e o tipo de projeto em causa, como pela experiência em casos de projetos semelhantes em que o levantamento topográfico de campo não apresentava diferenças altimétricas relativas acentuadas quando comparado com o levantamento por satélite. Outra observação a ter em conta é que este tipo de levantamento apresenta dados bastante corretos quando não existem obstáculos significativos ao rastreamento (e.g. árvores, nuvens, etc.) e quando a diferença altimétrica entre dois pontos não discretizados pela resolução do varrimento não é relevante para o processo (e.g. saliências no terreno com dimensões em planta inferiores a 30 metros). Considerando estas limitações do levantamento topográfico por satélite, o estudo de zonas e órgãos importantes como as captações, adutoras e reservatórios, foi complementado com um levantamento topográfico de campo. Este, à exceção de situações muito pontuais, mostrou-se bastante próximo do levantamento por satélite, sem diferenças significativas, demonstrando apenas maior resolução de discretização de alguns pormenores e zonas do terreno. É de referir que os levantamentos obtidos foram referenciados no sistema de coordenadas com projeção UTM, datum WGS84, zona 33 sul e pós-processados (filtragem e otimização da malha de varrimento) – Figura 3.

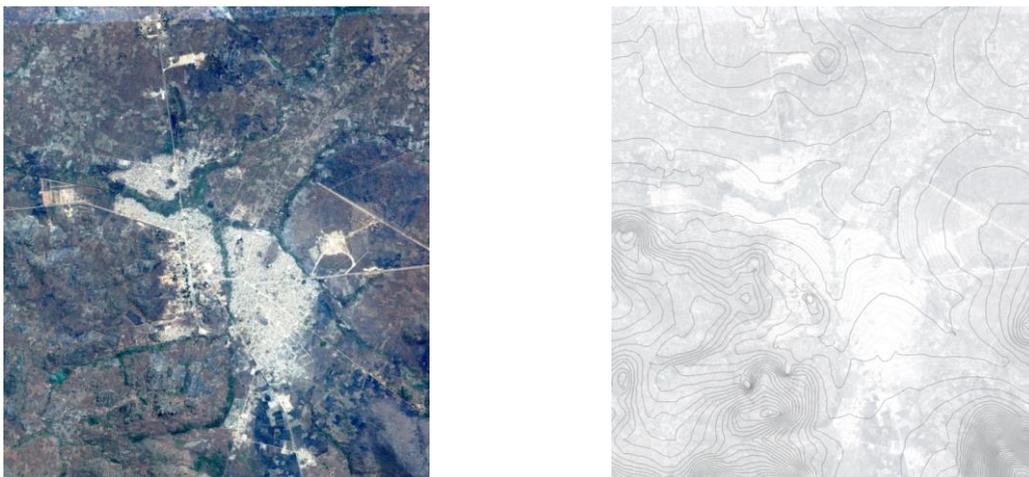


Figura 3: Levantamento fotogramétrico (esquerda) e topográfico (direita).

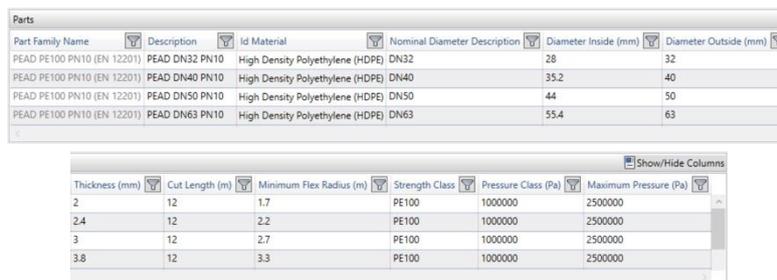
4.2 Levantamento demográfico

Os dados cadastrais relativos às populações em Angola são praticamente inexistentes e, por razões de várias ordens, muito pouco fiáveis. Devido à falta de dados reais e à dificuldade em obtê-los em tempo útil através de censos no local, o Dono de Obra sugeriu uma metodologia que foi seguida e consistia na determinação da densidade populacional através da densidade habitacional. Este processo foi realizado manualmente ao longo dos setores da rede utilizando o levantamento fotogramétrico como base. A evolução demográfica foi determinada através da metodologia apresentada no Caderno de Encargos e as taxas de crescimento aplicadas, entre o ano do levantamento demográfico (neste caso considerou-se o ano da data das imagens de satélite) e os diferentes horizontes de projeto (neste caso de estudo foi o ano 0, o ano 10 e o ano 20), foram as indicadas pelas Nações Unidas [1].

4.3 Modelação da rede

O esboço do layout da rede foi feito em papel, utilizando os levantamentos obtidos como indicado anteriormente. O layout e a setorização da rede baseou-se na informação de um anteprojecto já realizado (entretanto desatualizado) disponibilizado pelo Dono de Obra. Foi estudado um layout com base nessa informação e também em novas zonas a abastecer que entretanto surgiram. Foram estudadas algumas configurações ligeiramente diferentes como forma de otimização da rede, mas isto só foi efetuado depois das análises hidráulicas iniciais terem sido realizadas.

Após a definição do layout a estudar, modelou-se a rede numa plataforma suportada no conceito BIM, que teve um papel fundamental a partir do qual se tirou o verdadeiro usufruto das vantagens dessa modelação. A modelação da rede foi feita no Autodesk Civil 3D com objetos “*Pressure Pipes*” no mesmo modelo onde já se encontrava a superfície do terreno resultante do levantamento topográfico (“*Tin Surface*”). Previamente à modelação, as características dos tubos foram parametrizadas e incluídas no catálogo para posterior escolha durante a modelação (similar ao conceito de família) – Figura 4.



Part Family Name	Description	Id Material	Nominal Diameter	Description	Diameter Inside (mm)	Diameter Outside (mm)
PEAD PE100 PN10 (EN 12201)	PEAD DN32 PN10	High Density Polyethylene (HDPE)	DN32		28	32
PEAD PE100 PN10 (EN 12201)	PEAD DN40 PN10	High Density Polyethylene (HDPE)	DN40		35.2	40
PEAD PE100 PN10 (EN 12201)	PEAD DN50 PN10	High Density Polyethylene (HDPE)	DN50		44	50
PEAD PE100 PN10 (EN 12201)	PEAD DN63 PN10	High Density Polyethylene (HDPE)	DN63		55.4	63

Thickness (mm)	Cut Length (m)	Minimum Flex Radius (m)	Strength Class	Pressure Class (Pa)	Maximum Pressure (Pa)
2	12	1.7	PE100	1000000	2500000
2.4	12	2.2	PE100	1000000	2500000
3	12	2.7	PE100	1000000	2500000
3.8	12	3.3	PE100	1000000	2500000

Figura 4: Excerto exemplificativo do quadro da parametrização da tubagem.

Como ponto de partida para a modelação e após a avaliação do resultado de alguns testes realizados anteriormente, a forma mais eficiente encontrada para modelar toda a rede foi a de utilizar apenas um tipo de tubo (aquele que à partida se estimava como sendo o que teria mais extensão na rede, que no caso foi o de diâmetro DN63), e sempre ao mesmo nível, neste caso foi à cota zero. É de salientar que durante a modelação, tratando-se da utilização de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) como material da tubagem, foi possível fazer troços com diferentes curvaturas e limitá-las ao raio de flexão máximo definido na parametrização da tubagem.

Durante a modelação foi tido o cuidado de separar toda a setorização em sub-redes. Outra nota a reter é que tanto o comprimento dos arcos como a extensão dos tubos não deveriam ser demasiado extensos, sobretudo se o perfil real da tubagem for bastante acidentado entre o ponto inicial e final do tubo, dadas as limitações da aplicação de dimensionamento (no EPANET todos os troços de tubagem são retos, tanto em planta com em perfil, sendo a configuração em perfil feita através de nós intermédios introduzidos manualmente). Esta limitação condicionou bastante a modelação no modelo BIM, não por limitações da aplicação BIM mas porque é necessário ter o cuidado de fazer uma discretização adequada da tubagem (modelar com nós intermédios), pois o EPANET apenas considera as coordenadas das extremidades da tubagem. É possível observar pela Figura 5 as consequências que o tipo de discretização pode ter, principalmente no resultado final, ao nível das pressões na tubagem.

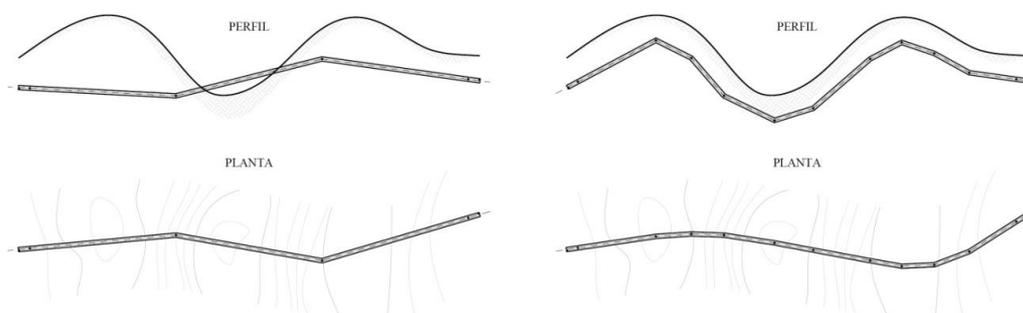


Figura 5: Comparação entre diferentes discretizações.

4.4 Análise e dimensionamento da rede

Depois de toda a modelação inicial da rede em planta estar concluída (à mesma cota) no mesmo modelo onde se encontra a superfície do terreno, toda a rede de tubagem foi rebatida sobre essa superfície. Por outras palavras, todos os eixos da tubagem foram automaticamente definidos para acompanhar a superfície do terreno com um desfasamento de um metro (obrigando a que toda a tubagem estivesse enterrada pelo menos 80 centímetros contabilizados entre o seu extradorso superior e a superfície do terreno, para diâmetros iguais ou inferiores ao DN400), assumindo, assim, a altimetria real e não a cota inicial da modelação (as redes urbanas de abastecimento de água “em baixa”, salvo raras exceções, está sempre enterrada com a mesma profundidade) – Figura 6.

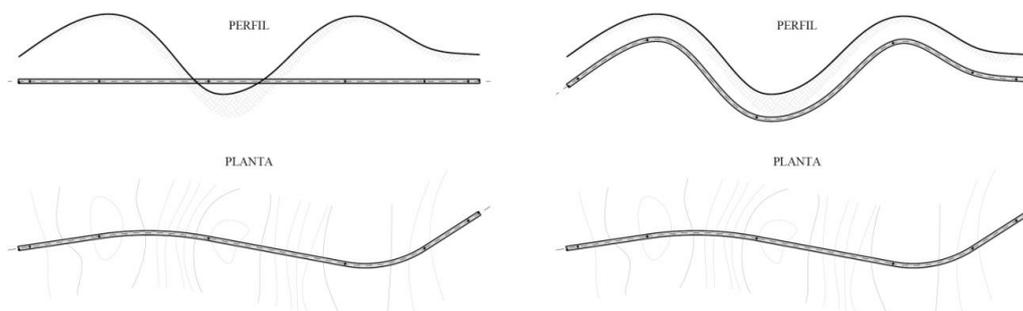


Figura 6: Exemplo do processo de rebatimento.

Nesta fase do processo a rede encontra-se modelada e dividida de acordo com a setorização – todas as tubagens têm o mesmo diâmetro e o eixo da tubagem segue a superfície do terreno a um metro de profundidade – Figura 7.

O passo seguinte foi o de conseguir transferir esta informação para o programa de dimensionamento/cálculo. Como, até à data de realização do projeto não era conhecida nenhuma aplicação/funcionalidade para automatizar este processo, foi desenvolvida uma aplicação (com recurso ao Microsoft Excel) que tinha como principal objetivo receber os dados da rede do modelo BIM, processar esses mesmos dados, complementá-los com os consumos e transformá-los num formato importável pelo EPANET (no caso foi o formato .inp) [2] onde foram realizadas as análises e as simulações hidráulicas da rede.

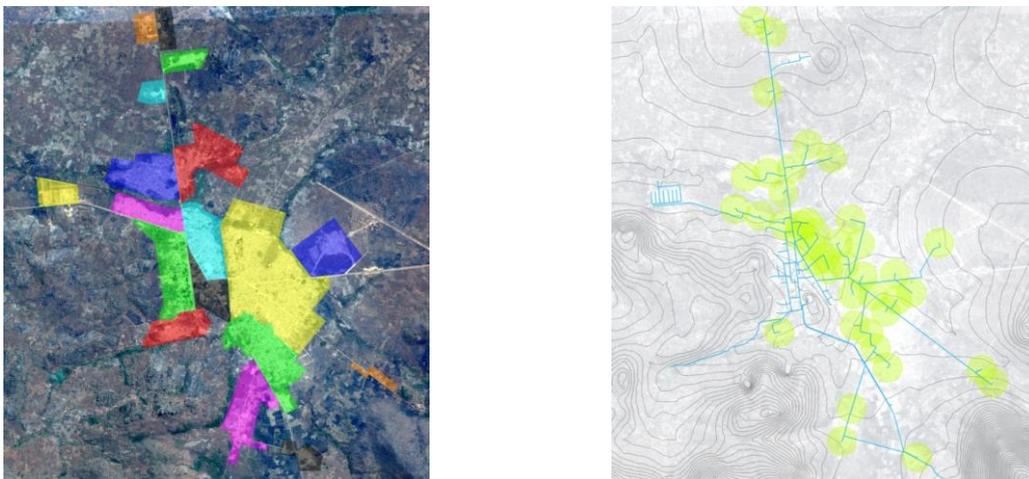


Figura 7: Modelo BIM com a setorização da rede (esquerda) e layout inicial da rede com os consumos principais (direita).

Por imposição do Dono de Obra, o cálculo/dimensionamento da rede foi feito com recurso ao software EPANET. Este software gratuito, desenvolvido e distribuído pela *United States Environmental Protection Agency*, tem (apesar da boa capacidade de cálculo) elevadas limitações no que respeita à introdução de dados e à interoperabilidade com outras aplicações. A aplicação desenvolvida teve como dados de entrada a informação da modelação da rede da aplicação BIM, os dados relativos aos parâmetros de dimensionamento hidráulico (capitações, tipos de consumos, anos horizontes de projeto, fatores de ponta, forma de distribuição do caudal) e a informação do levantamento demográfico e os parâmetros relativos à evolução da população. As rotinas desenvolvidas determinaram a disposição dos nós e a sua localização, a sua associação com as tubagens, assim como com os consumos determinados nos nós. Os consumos foram determinados para os cenários de simulação específicos e a distribuição foi feita ao longo da rede em função do tipo de distribuição no setor. O consumo nos setores periurbanos da rede de distribuição foi concentrado em apenas alguns nós pré-definidos e não distribuído ao longo de toda a rede do setor (setores da malha urbana consolidada ou prevista). Por último os dados foram processados e exportados para um formato próprio de importação no EPANET.

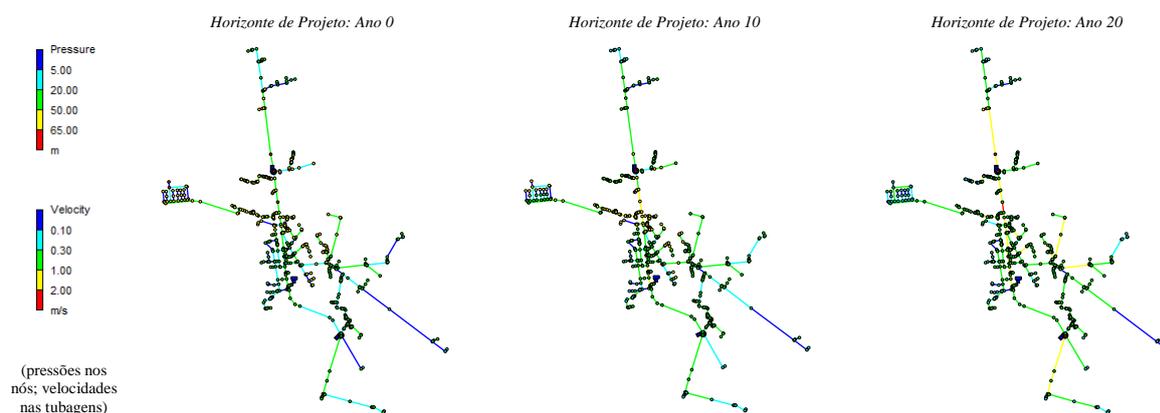


Figura 8: Resultados de simulações hidráulicas para diferentes horizontes de projeto.

Com a importação para o EPANET, os modelos para os diferentes cenários foram calculados e os diâmetros ajustados iterativamente (este processo foi complementado com o plug-in para EPANET WaterNetGen 1.0.0.210 [3]). O processo de ajuste dos diâmetros terminou quando o valor das velocidades e das pressões ao longo da rede se encontraram dentro dos limites estipulados no Caderno de Encargos – Figura 8.

O modelo de cálculo para as simulações hidráulicas finais contou com 557 nós e 564 tubos.

4.5 Atualização do modelo da rede

Determinados os diâmetros finais da rede, atualizou-se os objetos da rede do modelo BIM para os diâmetros finais. Infelizmente este processo teve que ser feito manualmente, porque a interoperabilidade com o programa de modelação BIM não permitiu essa atualização de forma simples e automática, nem complementar a informação do modelo BIM com dados determinados no cálculo como, por exemplo, velocidades e pressões.

Pode dizer-se, contudo, que este processo manual foi relativamente simples e rápido de completar. Foi possível complementar o modelo BIM com a informação das pressões através de uma superfície do tipo TIN (*Triangulated Irregular Network*) – Figura 9. A desvantagem associada a esta solução alternativa é que a informação das pressões não estava direta e dinamicamente associada aos objetos da tubagem do modelo.

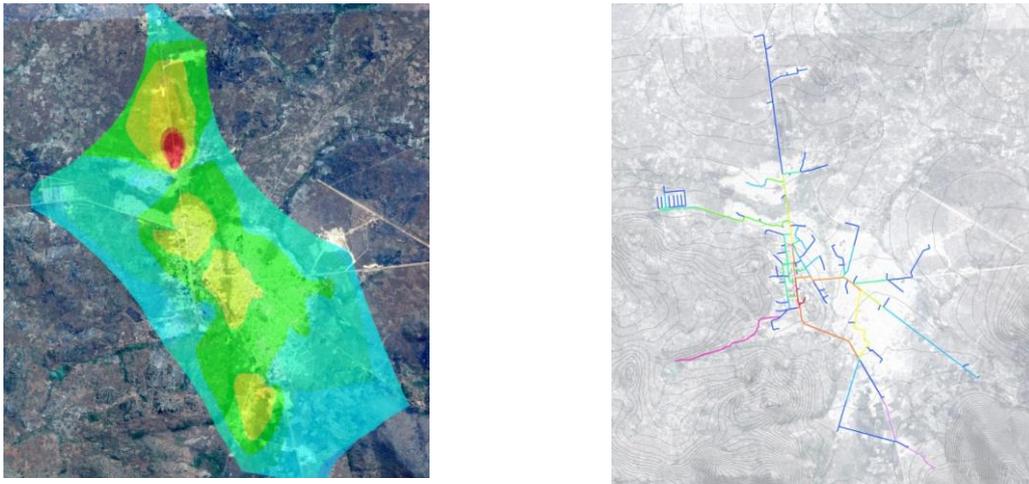


Figura 9: Diagrama de pressões de uma simulação (esquerda) e layout final com a diferenciação dos diâmetros por cores (direita).

4.6 Obtenção de elementos finais do projeto

Os elementos finais do projeto, no que se refere a peças desenhadas, tabelas de localização de órgãos e acessórios e a medições dos comprimentos de tubagem foram obtidos diretamente do modelo BIM. Outra grande vantagem da utilização deste modelo vem da ligação dinâmica entre os diferentes objetos e a possibilidade de processar a sua informação como um grupo. A título de exemplo, as indicações relativas aos diâmetros da tubagem, aos desenhos dos perfis, à localização de órgãos e acessórios, à listagem dos comprimentos são imediata e automaticamente atualizadas quando é realizada alguma alteração no objeto associado.

Para registo, a área de cobertura da rede é de, aproximadamente, 20 quilómetros quadrados, o comprimento total de tubagem é de 36 645 metros, divididos por diferentes diâmetros entre o DN63 e o DN400. O número de nós na rede foi de 166 com 56 tipos diferentes e o número total de órgãos e acessórios principais foi de 253. A localização de todos os órgãos, acessórios e nós foram referenciados dinamicamente no projeto. Logo, qualquer ajuste na posição destes elementos é automaticamente atualizada nas tabelas de localização.

5. Considerações Finais

Como foi possível verificar, existem enormes vantagens na utilização de modelo BIM pela abertura que permite na exploração da informação associada aos objetos.

Estas passam, sem dúvida, pela possibilidade de incorporar informação de diferentes tipos de objetos e a possibilidade de manter uma ligação dinâmica entre eles. De uma forma prática e com a devida interoperabilidade, é possível automatizar um conjunto de tarefas que tipicamente são feitas manual e repetitivamente sem adicionarem valor ao resultado final e muito suscetíveis à introdução de erros. No caso apresentado essas vantagens foram notórias em várias fases, mas, principalmente, na modelação inicial da rede e na obtenção da informação final do projeto (peças desenhadas, tabelas e medições). Outro benefício da ligação dinâmica é a de possibilitar que o processo de trabalho se processe em paralelo entre a equipa de desenho e a equipa de

engenharia. Como a informação do desenho (e.g. anotações, cotagem, etc.) está associada dinamicamente aos objetos, quaisquer alterações posteriores deste são refletidas automaticamente nos desenhos, não sendo necessário editar manualmente.

Com a automatização de quase todo o processo, o tempo necessário para obter o um resultado final é substancialmente encurtado comparativamente com o processo tradicional. Esse tempo pode ser aproveitado tanto para otimizar e experimentar diferentes soluções como também para dar resposta aos prazos de realização dos projetos, que são cada vez mais apertados. Associada à redução do tempo está igualmente a poupança nos recursos utilizados que podem ser aproveitados na procura e desenvolvimento de técnicas mais eficientes, como também na realização de estudos complementares para uma maior economia em obra.

Nas aplicações utilizadas existiram algumas limitações que não permitiram uma maior automatização do fluxo de trabalho, sobretudo pelas dificuldades na importação de informação para o modelo BIM a partir de aplicações externas e da impossibilidade em adicionar parâmetros personalizados aos objetos (e.g. valor das pressões, velocidades, etc.).

A evolução das aplicações BIM deve ser no sentido da integração de aplicações com diversas funcionalidades, mas deve também ser no sentido de permitir uma maior flexibilidade de importação e exportação da informação do modelo e dos seus objetos. Este tipo de interoperabilidade é muito importante para os utilizadores, uma vez que permite a manipulação da informação com aplicações independentes de forma fácil e rápida.

Referências

- [1] ESA/P/WP.228, World Population Prospects The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables, UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2013
- [2] Rossman, L. A., EPANET 2 Users Manual, US Environmental Protection Agency, 2000
- [3] Muranho, J., Ferreira, A., Sousa, J, Gomes, A., & Sá Marques, A. WaterNetGen - an EPANET extension for automatic water distribution networks models generation and pipe sizing. *Water Science and Technology: Water Supply* (2012), 12(1), pp. 117-123.

IMPLEMENTAÇÃO BIM DE UM PROJETO DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DE UM EDIFÍCIO UNIFAMILIAR

Miguel Chichorro Gonçalves ⁽¹⁾, Pedro Rocha ⁽²⁾, Martim Bernardo Ribeiro ⁽¹⁾

(1) FEUP, Porto

(2) UCL, Londres

Resumo

A aplicação de Building Information Modelling (BIM) tem crescido como forma de metodologia de trabalho entre as várias especialidades de projeto.

Em relação às diferentes opções de *software* existentes no mercado é notória uma orientação particular que cada um tem relativamente a um determinado projeto de especialidade. Esta orientação específica a cada área de projeto faz com que a cada *software* estejam associadas ferramentas, modos de trabalho e formatos proprietários diferentes. Com a utilização cada vez maior do conceito BIM ligada à diversificação e especificidade de cada ferramenta surge a necessidade de implementação de procedimentos de trabalho eficazes e exploração de formas de interoperabilidade entre os diversos intervenientes no projeto.

O presente artigo explora os procedimentos e formas de interoperabilidade adotadas num caso de estudo de um projeto de instalações de um edifício. Neste caso de estudo foi considerado o uso do Revit para realização dos projetos de abastecimento de águas, águas residuais e pluviais e aspiração central. O desenvolvimento destes projetos em Revit teve por base um projeto de arquitetura previamente concebido com o ArchiCAD. A utilização de diferentes tipos de *software* implica uma série de considerações de interoperabilidade e de procedimentos de implementação a adotar ao longo das várias etapas de projeto.

1. Introdução

Nos últimos anos tornou-se evidente o crescimento da utilização de *Building Information Modelling* (BIM) nas várias especialidades de projeto. Este crescimento aliado ao rápido desenvolvimento tecnológico permitiu a criação e desenvolvimento de diversos tipos de *software*, cada um deles com ferramentas e formas de trabalho específicas. Cada *software*

encontrou um nicho de mercado próprio apresentando deste modo uma maior aplicabilidade em relação a uma especialidade específica e encontrando-se limitado em relação às outras. O *software* ArchiCAD apresenta uma orientação mais focada no projeto de arquitetura, apresentando fraquezas fora desta especialidade de projeto. O mesmo poderá ser dito do *software* Tekla Structures uma vez que fora da área das estruturas tem pouca aplicabilidade [1]. A orientação específica a nível de ferramentas e procedimentos que cada *software* apresenta faz com que existam diferentes ferramentas que podem ser utilizadas por cada uma das especialidades. Desta forma existe um grande foco de atenção em questões ligadas a formas de estabelecer colaboração entre os diferentes intervenientes num dado projeto. A interoperabilidade BIM é essencial dado que influencia toda a comunicação existente entre as diferentes ferramentas usadas num projeto BIM.

O presente artigo explora um caso de estudo real de elaboração de um projeto de instalações hidráulicas e de aspiração central num edifício unifamiliar. O caso de estudo foi realizado tendo em conta um projeto de arquitetura previamente concebido em ArchiCAD pelos arquitetos Filipe Moreira da Silva, Joana Restivo e Inês Pimentel. O processo de desenvolvimento do projeto de instalações recorreu ao uso do *software* Revit explorando desta forma a interoperabilidade entre este e a plataforma ArchiCAD. Durante o presente caso de estudo foram também abordados aspetos mais relacionados com procedimentos a utilizar durante a implementação em Revit do conjunto das instalações bem como na criação de objetos paramétricos. Desta forma o presente artigo explora os benefícios e dificuldades que poderão ocorrer ao longo de um processo de implementação BIM de um projeto de instalações.

2. Caso de estudo

O presente caso de estudo simula um ambiente real de colaboração BIM em que duas especialidades distintas fazem uso da lógica BIM para desenvolver o seu projeto de especialidade: arquitetura e instalações, cada uma utilizando software distinto. O caso de estudo utiliza uma habitação unifamiliar como objeto de estudo para elaboração do conjunto das instalações hidráulicas e de aspiração central. Este pode ser dividido em 3 partes distintas: 1) a exploração da interoperabilidade entre a equipa de arquitetura e engenharia, 2) a implementação do projeto de instalações hidráulicas e de aspiração central e, finalmente, 3) a conclusão de vantagens e desvantagens encontradas com a utilização do BIM. O projeto de arquitetura representado na Figura 1, já tinha sido previamente concebido de raiz pela equipa de arquitetura, usando uma lógica BIM com o recurso ao ArchiCAD. Relativamente à arquitetura, o software ArchiCAD foi usado como raiz para modelação de todos os objetos paramétricos relativos à especialidade bem como instrumento de colaboração entre os arquitetos envolvidos no projeto. Contudo, a elaboração do projeto de instalações foi realizada em Revit a partir de um projeto previamente desenhado em AutoCAD e do respetivo mapa de trabalhos e quantidades. Procurou-se deste modo analisar as vantagens e dificuldades de implementação da metodologia BIM, quando comparada à utilização de uma lógica de projeto tradicional em CAD.

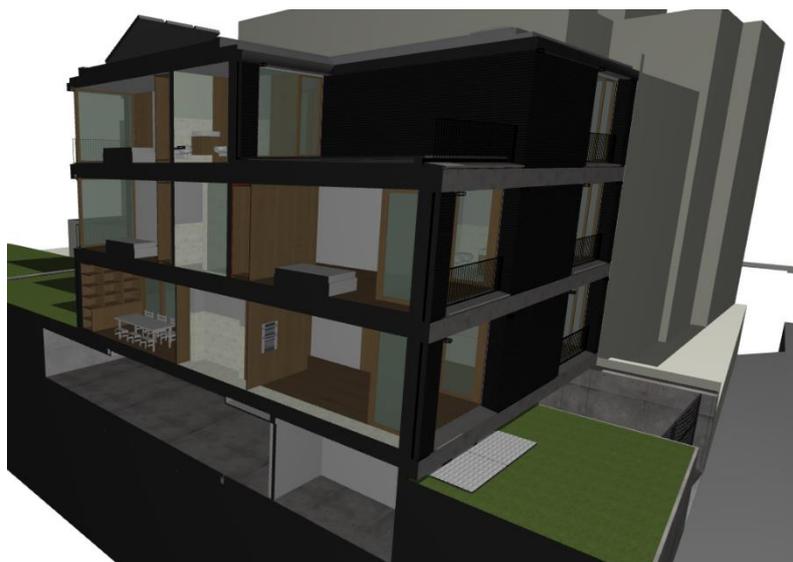


Figura 1: Projeto de Arquitetura em ArchiCAD [2].

2.1 Interoperabilidade entre ArchiCAD e Revit

As ferramentas BIM que abrangem as diferentes especialidades têm formas de trabalho diferentes e conseqüentemente diferentes formas de tratar os dados fazendo com que a representação do modelo virtual esteja adaptada a cada especialidade [3]. As diferentes formas de tratamento de dados consideradas pelas diversas ferramentas BIM levou à procura de uma linguagem comum de troca de informação. O *industry foundation classes* (IFC) é o formato de eleição para interoperabilidade em BIM, tendo sido desenvolvido por uma organização fundada em 1995 com o nome de *International Alliance for Interoperability* e que apresentou vários versões do formato IFC desde 1997 [4]. Este é um formato aberto que permite a troca de geometria, informações e relações associadas aos objetos existentes no modelo BIM. Foi assim considerado para efetuar a exportação e importação do projeto de arquitetura do ArchiCAD para Revit.

Na interoperabilidade explorada entre as especialidades de arquitetura e instalações de engenharia foi considerada a partilha de informação do *software* ArchiCAD para o Revit de modo a que fosse possível aceder a toda a informação relativamente ao projeto de arquitetura no software Revit.

Com o projeto de arquitetura já elaborado previamente em ArchiCAD, procedeu-se a um conjunto de iterações de opções de exportação disponíveis com o formato IFC no ArchiCAD. Estas iterações foram exploradas ao nível das diferentes opções de *translator* existentes no ArchiCAD e que permite escolher um conjunto de opções que melhor se adequam ao *software* de destino para o qual se pretende exportar. De notar que opções de exportação consideradas em ArchiCAD foram realizadas com a versão 2×3 do formato IFC. Após a exportação das diferentes opções consideradas foi realizada a importação de cada uma destas para Revit. As tabelas 1 e 2 sumarizam os erros detetados nas diferentes opções utilizadas durante o processo de interoperabilidade ArchiCAD para Revit. Nesta fase de troca de dados entre as duas ferramentas BIM utilizadas, considera-se que os erros de interoperabilidade são extremamente importantes uma vez que uma pequena alteração ao projeto original de arquitetura poderá levar

a erros graves de interpretação do mesmo em Revit e como tal suscitar a produção de vários erros na realização do projeto de instalações. Embora o somatório dos erros de exportação e importação de qualquer uma das opções utilizadas, apresentada nas tabelas 1 e 2 pareça ser algo elevado, este somatório de número de erros não se revelou significativo. Uma análise cuidadosa ao projeto de arquitetura após a importação deste em Revit e tendo como elemento de comparação o mesmo projeto em ArchiCAD mostrou que os erros apresentados por ambas as ferramentas não eram de grande importância, e como tal não colocavam em risco a correta leitura do projeto de arquitetura quando importado para Revit. Também foi observado que propriedades base dos objetos tais como as categorias-tipo foram mantidas, contudo estas não tiveram uma relevância acentuada para o desenvolvimento o projeto de instalações.

Tabela 1: Erros associados às opções de interoperabilidade na exportação para IFC.

Exportação de ArchiCAD para IFC							
Modelo Completo				Elementos visíveis			
General Translator	Data Exchange with Revit	Exchange Autodesk MEP	Data Exchange with Revit	Exchange Autodesk Structure	General Translator	Data Exchange with Autodesk Revit MEP	Data Exchange with Autodesk Revit Structure
76	79		76		76	79	76

Tabela 2: Erros associados às opções de interoperabilidade na importação IFC

Importação de IFC para Revit							
Modelo Completo				Elementos visíveis			
General Translator	Data Exchange with Revit	Exchange Autodesk MEP	Data Exchange with Revit	Exchange Autodesk Structure	General Translator	Data Exchange with Autodesk Revit MEP	Data Exchange with Autodesk Revit Structure
3	1		3		3	1	3

2.2 Implementação Revit das Instalações hidráulicas e aspiração central

Após a importação do projeto de arquitetura para Revit, procedeu-se à elaboração do projeto de instalações em Revit. O principal objetivo da implantação BIM do projeto de instalações previamente realizado em AutoCAD foi o de estabelecer uma comparação entre as duas lógicas de trabalho, explorando as vantagens e inconvenientes que advêm da utilização da lógica BIM pelas especialidades de engenharia.

Em ambiente Revit foram exploradas as ferramentas existentes no toolbar *systems* onde se encontram as instalações. Os principais comandos utilizados foram: *Pipe*, *Pipe Fitting*, *Pipe Accessory* e *Plumbing Fixtures*. Cada um dos comandos existentes em Revit apresentam objetos paramétricos com propriedades *standard* que podem ser editadas e modificadas de modo a ajustar cada elemento à realidade do projeto em estudo. Nos casos em que os elementos selecionados no mapa de trabalhos e quantidades apresentaram propriedades demasiado diferentes, foi considerada a modelação de objetos paramétricos em ambiente Revit. Além destas duas opções foram também exploradas outras duas opções para obtenção dos elementos das instalações, tendo-se, no entanto, revelado de pouca aplicabilidade. Uma destas opções foi a obtenção de objetos paramétricos através de bibliotecas *online* de objetos, onde os diferentes fabricantes colocam os seus produtos disponíveis para serem utilizados pela equipa projetista sem esta ter de proceder a quaisquer alterações. Esta forma de obtenção, embora tenha óbvias vantagens tanto para o produtor como para a equipa projetista, não se revelou muito relevante no caso de estudo uma vez que os elementos disponibilizados *online* são ainda reduzidos e difíceis de obter através de uma pesquisa rápida. A outra opção que revelou aplicabilidade prática reduzida foi a de utilizar um *software* externo de modelação dos elementos e de seguida proceder à sua importação para Revit. Esta forma de trabalho não é uma opção a considerar em trabalhos futuros uma vez que os objetos importados a partir do *software* externo utilizado não puderam ser geometricamente parametrizados.

O procedimento utilizado para implementação das águas e abastecimento que se revelou mais eficiente foi o seguinte:

- Implantação de todos os equipamentos relativos às instalações.
- Desenho de todas as tubagens.
- Implantação de todos os acessórios.

Na elaboração das águas de abastecimento foram consideradas todas as propriedades relativas ao sistema de tubagem escolhido. Todas as propriedades relativas a diâmetros, tipos de juntas e isolamento foram configuradas, consultando inicialmente fichas técnicas de produto de forma a proceder a uma correta implementação. Embora poucos elementos se encontrassem modelados em bibliotecas de objetos *online*, sempre que foi possível foram usados objetos paramétricos existentes fornecidos pelos produtores uma vez que estes oferecem a vantagem de já estarem modelados.

O procedimento adotado para elaboração das águas residuais e pluviais foi o seguinte:

- Desenho de todos os tubos de queda;
- Implantação de todo o equipamento.
- Implantação das restantes tubagens.

Durante a implementação verificou-se que o desenho prévio de todas as tubagens verticais relativas às águas residuais e pluviais, foi a forma de evitar conflitos posteriores entre os diversos objetos paramétricos considerados. Todas as propriedades do sistema escolhido foram consideradas recorrendo à modelação dos elementos.

Mostra-se na figura 2 uma casa de banho com a completa implantação das instalações hidráulicas.



Figura 2: Casa de banho implementada em Revit.

Na implementação do projeto de instalações foi também considerada a aspiração central com a seguinte ordem de procedimentos:

- Estudo do número de condutas verticais a usar a partir do alcance das mangueiras de aspiração.
- Implantação de todos os equipamentos.
- Desenho das condutas.

Na realização da aspiração central foi considerado o tipo de juntas possíveis de serem utilizadas a partir do sistema de condutas escolhido recorrendo assim à modelação destas.

De todos os elementos utilizados ao longo dos projetos de instalações hidráulicas e aspiração central poucos foram os equipamentos obtidos a partir de bibliotecas de objetos. Destes os mais notórios correspondem às bacias de retrete, lavatórios e banheiras Duravit. Os elementos Duravit foram os únicos existentes no mapa de trabalhos e quantidades que foram possíveis encontrar online modelados pela própria empresa produtora.

Todos os restantes objetos com a exclusão das tubagens foram modelados em Revit através de *component families*. A modelação por *component families* foi escolhida uma vez que os

elementos são modelados externamente ao projeto através de *templates* específicos pré-configurados pelo Revit. Estes objetos paramétricos modelados como *component families* foram posteriormente importados para o projeto e duplicados consoante o número de repetições do mesmo objeto ao longo do projeto.

Apenas as tubagens foram modeladas como *system families* uma vez que neste caso só se procedeu à simples adaptação dos parâmetros existentes na tubagem standard Revit.

Os procedimentos seguindo a ordem de implementação acima mencionada provaram ser os mais eficientes devido ao tempo ganho e que de outra forma seriam mais demorados. Foi apenas no caso das águas residuais que a colocação prévia dos equipamentos mostrou-se ser ineficiente, devido ao facto dos tubos de queda terem condutas verticais previamente definidas. Assim, se colocados depois dos restantes equipamentos iriam provocar incompatibilidades e erros devido às inclinações mínimas e máximas das condutas horizontais, obrigando o utilizador a colocar os tubos de queda fora do local definido para tal. Mostra-se na figura 3 um corte do projeto de instalações em que é possível observar os projetos de águas residuais e de abastecimento bem como equipamento relativo ao sistema de aspiração central.

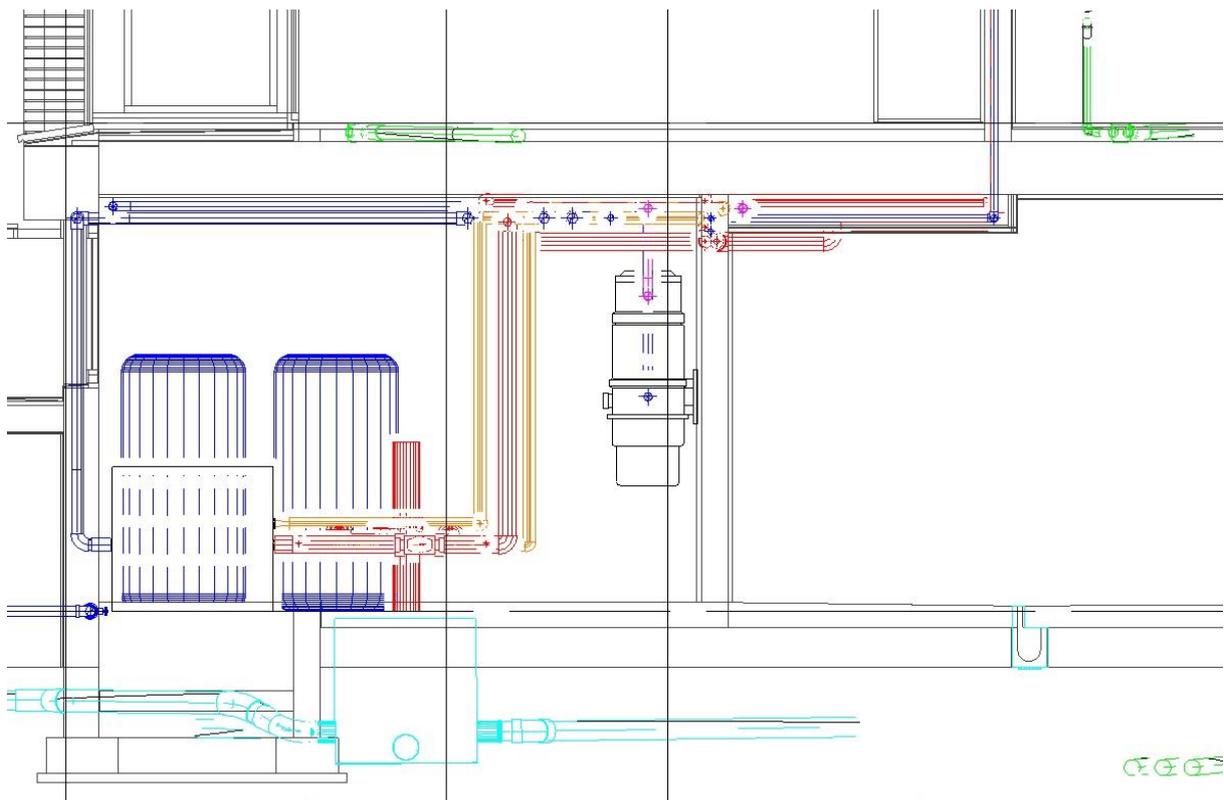


Figura 3: Conjunto de instalações numa secção em corte

Observa-se na figura 4, em ambiente Revit, todo o conjunto de instalações desenvolvidas, bem como o projeto de arquitetura.

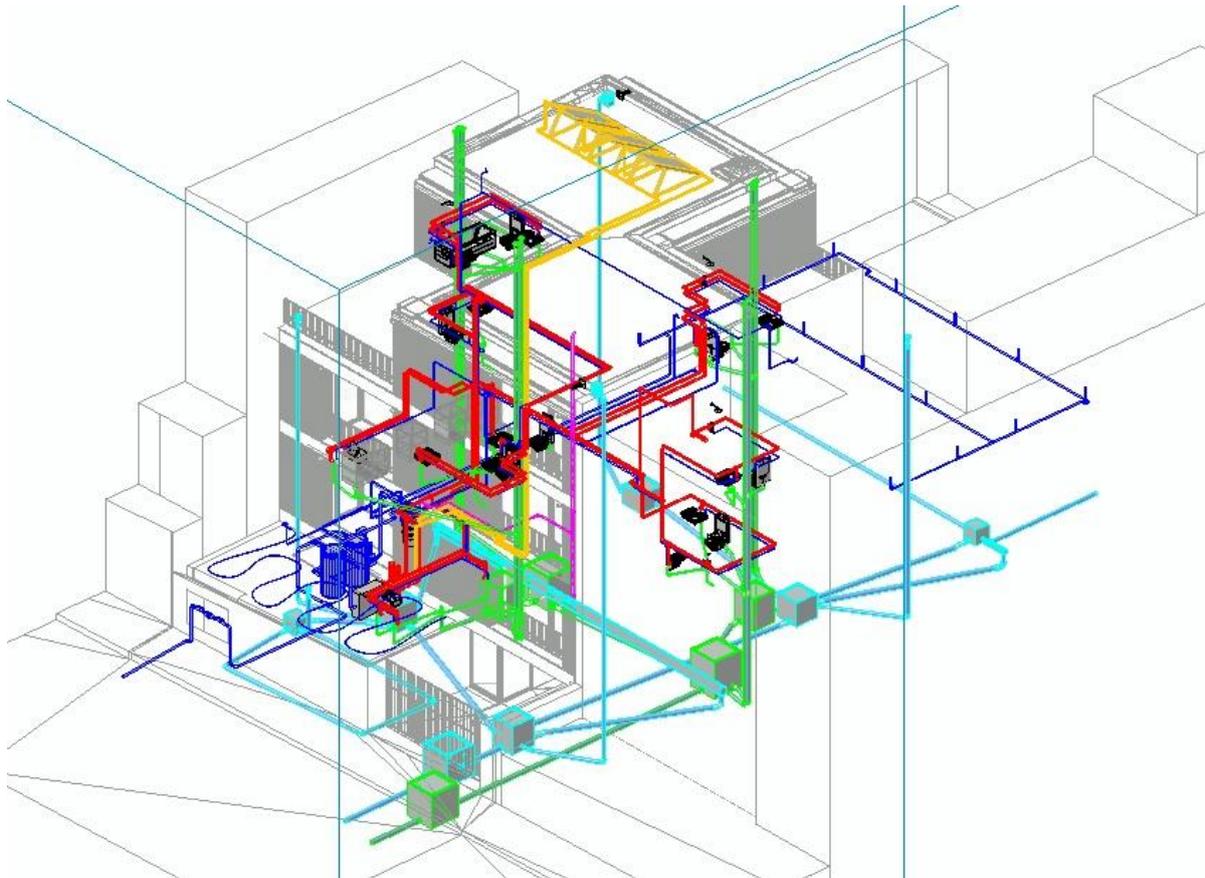


Figura 4: Vista 3D do projeto de arquitetura com o conjunto das instalações implementadas

3. Análise de resultados e conclusões

Com a execução em Revit do projeto das instalações hidráulicas e de aspiração central foram verificadas algumas dificuldades ao realizar os procedimentos estudados, das quais se destacam as principais:

- Dificil obtenção de objetos paramétricos em bibliotecas.
- Dificuldades na modelação e parametrização dos vários objetos.
- Lentidão de implementação associada a restrições e incompatibilidades verificadas pelo *software*.

A juntar a estas poder-se-á também considerar todo um conjunto de dificuldades sentidas na aprendizagem de modelação paramétrica que é necessário que exista em Revit bem como as restrições de *hardware* que poderão existir.

Não desconsiderando as dificuldades sentidas existe um conjunto de vantagens que foram sendo reveladas ao longo de todo o processo, indicando-se de seguidas as principais:

- Facilidade de obtenção de projeto de arquitetura sem ser necessário novo desenho deste apresentando vantagens de visualização como é exemplo a ocultação de categorias-tipo de elementos pretendidos;

- Detecção fácil de erros, omissões e incompatibilidades entre os projetos de arquitetura e instalações.
- Facilidade em proceder a alterações ao projeto de instalações desenvolvido.
- Leitura de projeto facilitada através da existência de várias opções de visualização existentes em Revit.

Com o desenvolvimento Revit do projeto de instalações verificou-se que após, um certo esforço inicial de exploração da forma de trabalho em Revit, o trabalho de modelação paramétrica e implantação dos vários objetos torna-se substancialmente mais simples e rápido. O desenvolvimento do projeto em Revit trouxe inúmeras vantagens quando comparadas com o projeto em formato CAD, uma vez que todos os objetos desenhados em Revit têm um significado físico virtual correspondente ao real. Estes objetos, que no seu todo formam o projeto de instalações, partilham entre si um conjunto de relações e regras que permitem a obtenção das vantagens supramencionadas.

Referências

- [1] Alastir Watson, "Digital buildings - Challenges and opportunities" , *Advanced Engineering Informatics*, vol.25, pp.573-581, 2011.
- [2] M. C. Gonçalves and P. Rocha, "BIM case study - Housing plumbing infrastructures" in *8th AECEF Symposium - New actions and roles of civil engineers: sustainability and energy (2015)*, Porto, Portugal, pp.133-138.
- [3] M. Venugopal, C. M. Eastman, R. Sacks, J. Teizer, "Semantics of model views for information exchanges using the industry", *Advanced Engineering Informatics*, vol.26, pp.411-428, 2012.
- [4] S. M. F. Pinho, "O modelo IFC como agente de interoperabilidade", Tese de Mestrado, Porto, FEUP, Portugal, 2013.
- [5] P. J. M. Rocha, "Implementação BIM num projeto de instalações de um edifício unifamiliar - Abastecimento de águas, águas residuais e pluviais e aspiração central", Tese de Mestrado, Porto, FEUP, Portugal, 2015.

FERRAMENTA BIM PARA O DIMENSIONAMENTO DE POÇOS DE FUNDAÇÃO

Cláudio Gomes ⁽¹⁾, Diogo Ribeiro ⁽²⁾, Rui Gavina ⁽³⁾, Bruno Costa ⁽⁴⁾ e André Santos ⁽³⁾

(1) ISEP/ISEPBIM, Porto

(2) CONSTRUCT-LESE, ISEP/ISEPBIM, Porto

(3) ISEP, Porto

(4) CONSTRUCT-LESE, FEUP, Porto

Resumo

Este artigo centra-se no desenvolvimento de uma ferramenta BIM para o dimensionamento expedito de fundações semi-profundas, do tipo poços de fundação, com base no método do Bloco Rígido. Para o efeito, foi desenvolvido um programa de cálculo, utilizando a Interface de Programação de Aplicações (API) da plataforma BIM, Autodesk Revit. A interação entre o programa de cálculo e o modelo BIM é feita em ambiente Revit, a partir de uma interface gráfica intuitiva por intermédio de *modeless forms*, permitindo a manipulação do modelo enquanto é efetuada a introdução de parâmetros de cálculo. O detalhamento do poço em peças desenhadas é feito automaticamente pelo programa Revit por intermédio da criação de um objeto autónomo que inclui diversas propriedades avançadas. Com base no caso de um pavilhão metálico é demonstrada a implementação desta ferramenta automática na procura da solução ótima para os poços de fundação, e que possibilita uma redução do tempo de análise e dos erros no seu detalhamento comparativamente às ferramentas tradicionais.

1. Introdução

O aumento da complexidade arquitetónica das construções, a diversidade de materiais aplicados, o recurso a técnicas de construção mais especializadas e a necessidade do uso de diferentes ferramentas computacionais de apoio ao projeto, têm lançado novos desafios ao nível da gestão da informação entre os vários intervenientes durante o ciclo de vida de uma construção. Esta nova realidade tem tornado visíveis as debilidades associadas aos procedimentos tradicionais do projeto de estruturas, que revelam ser fragmentados e dependentes de um fluxo de informação baseado em documentos escritos. Desta forma tornam-se frequentes os erros e omissões que originam o aumento dos pedidos de esclarecimento,

atrasos, o aumento dos custos em projeto e em obra e eventuais atritos entre intervenientes [1]. Neste contexto surge a tecnologia BIM, que tem sido disseminada na indústria AEC e que em muito tem contribuído para uma considerável diminuição destes problemas. O BIM pressupõe não só a representação geométrica das construções em modelos virtuais, facilmente adaptáveis a alterações nos projetos e a deteção de incompatibilidades, mas também a organização no modelo de toda a informação relevante para o ciclo de vida de uma construção e uma alteração profunda no uso e comunicação da informação [2].

Na maioria dos projetos é requerido um controlo de custos e prazos bastante rigoroso, exigindo da parte dos projetistas o máximo compromisso entre a segurança, a economia e a rapidez em dar respostas. Isto implica que a equipa de projeto crie e analise diferentes cenários estruturais e controle em tempo útil a estimativa de custos de cada um deles, permitindo o atempado planeamento e orçamentação das obras. Os programas de cálculo correntes encontram-se preparados, para com algum automatismo, auxiliar o engenheiro de estruturas a chegar a uma solução otimizada no que diz respeito à definição de formas das soluções mais tradicionais em betão armado e aço. No entanto, no que se refere a fundações especiais, como é o caso dos poços de fundação, existem lacunas, sobretudo na perspetiva da obtenção da solução mais económica e da sua integração eficiente no fluxo de projeto.

Este trabalho incide no desenvolvimento de uma ferramenta BIM direcionada para o dimensionamento expedito de poços de fundações em ambiente Revit. Esta ferramenta, desenvolvida na linguagem de programação C#, assenta num conjunto de rotinas que incorporam uma metodologia analítica de dimensionamento de poços de fundação, o Método do Bloco Rígido, e incorpora uma interface gráfica avançada que permite ao utilizador obter uma solução otimizada do poço, além da geração automática das peças desenhadas.

2. Metodologia de dimensionamento de poços de fundação

O dimensionamento de poços de fundação é geralmente realizado por meio de duas metodologias distintas: os métodos numéricos, baseados num modelo numérico de elementos finitos, e os métodos analíticos, mais ou menos simplificados, e baseados em expressões semi-empíricas com campos de aplicação limitados.

Os métodos analíticos são geralmente mais eficientes, quer na rapidez da aplicação, quer pelo facto de permitirem muito boas aproximações ao comportamento real da estrutura, uma vez que na maioria das situações são validados experimentalmente. Por outro lado, uma vez que o dimensionamento deste tipo de fundação é geralmente baseado num processo iterativo, em que são sucessivamente alteradas as dimensões do poço, os métodos analíticos tornam-se mais apelativos e eficientes.

Existem inúmeros métodos analíticos direcionados para o dimensionamento de poços de fundação [3], no entanto, no âmbito do presente trabalho, foi utilizado o método do Bloco Rígido [4, 5].

O método do Bloco Rígido é particularmente adequado ao dimensionamento de poços de fundação com uma profundidade inferior a 4 m e submetidos a ações aplicadas na sua face superior [4]. Relativamente a outros métodos analíticos o Método do Bloco Rígido tem como principais vantagens: i) permitir o cálculo das tensões atuantes na base e nas faces laterais do bloco para qualquer solicitação exterior; ii) prever a possibilidade de a resultante das forças atuantes na base do bloco estar localizada no interior ou exterior do núcleo central, iii) considerar a deformabilidade do terreno de fundação.

A verificação da segurança do poço de fundação proposta por Delesques [5] envolve as tensões actantes e resistentes do terreno, sendo realizada separadamente na base e nas faces laterais do maciço para cada uma das direções ortogonais. Para a verificação da segurança por rotura do terreno é necessário satisfazer a seguinte condição:

$$\sigma_{\text{ref},i} \leq \sigma_{\text{adm}} \quad (1)$$

em que $\sigma_{\text{ref},i}$ é a tensão de referência instalada na face i do poço ($i = 1$ a 3), ou seja, na base ou nas faces laterais, e calculada a partir da seguinte expressão:

$$\sigma_{\text{ref},i} = \frac{3 \sigma_{\text{max}} + \sigma_{\text{min}}}{4} \quad (2)$$

onde σ_{max} é a tensão máxima instalada na face i do bloco e σ_{min} é a tensão mínima instalada nessa face, e σ_{adm} é a tensão admissível do solo de fundação.

O método do Bloco Rígido admite o comportamento elástico do solo sendo a sua deformabilidade simulada por intermédio de molas dispostas nas direções vertical (na base) e horizontal (nas faces laterais do poço). A rigidez das molas nas direções vertical e horizontal é definida através de um coeficiente de Winkler que traduz a compressibilidade horizontal (k_h) e vertical (k_v) do terreno, respetivamente, e com valores assumidos constantes em profundidade. Este método despreza ainda o atrito entre o solo e a fundação, quer na base quer nas faces laterais do bloco, pelo que as tensões no terreno são normais à base e às faces laterais do poço.

Na Tabela 1 são apresentadas as expressões analíticas do Método do Bloco Rígido que permitem calcular, para os cenários em que a resultante das forças está localizada no interior e no exterior do núcleo central, os seguintes parâmetros: a dimensão da base do poço à compressão (z), a excentricidade da resultante das forças atuantes em relação ao seu centro geométrico (e_x), os valores máximo e mínimo das tensões atuantes na base (p_F) e faces laterais (p_L) do poço, o ângulo de rotação (θ) e o deslocamento horizontal do poço (δ). Caso a excentricidade e_x seja inferior a $a/6$ a resultante está localizada no interior do núcleo central. Importa referir que o maciço, com dimensões em planta $a \times b$ e altura h_1 , encontra-se solicitado por um conjunto de ações aplicadas ao nível do seu centro de gravidade, designadas por T , N e M_o , em que T e N são as ações de cálculo na direção vertical, incluindo o peso próprio do poço, e horizontal, respetivamente, e M_o o momento fletor na direção paralela ao plano de solicitação.

Tabela 1: Cenários de cálculo dos poços de fundação através do Método do Bloco Rígido.

		Resultante das forças no interior do núcleo central	Resultante das forças no exterior do núcleo central
Diagrama de corpo livre			
Dimensão da base à compressão (z)		a	$3 \left(\frac{a}{2} - e_x \right)$
Excentricidade (e_x)		$\frac{M_0}{N} \left[\frac{1}{1 + \frac{k_h}{k_v} \left(\frac{h_1}{a} \right)^3} \right]$	$M_0 = \frac{\left(\frac{k_h}{k_v} \right) N h_1^3}{54 \left(\frac{a}{2} - e_x \right)^2} + N e_x$ (resolução de equação 3º grau em ordem a e_x)
Tensão na base (pF)	Valor máximo	$\frac{N}{a b} + \frac{6 M_0 a}{b \left(\frac{k_h}{k_v} h_1^3 + a^3 \right)}$	$\frac{2 N}{b z}$
	Valor mínimo	$\frac{N}{a b} - \frac{6 M_0 a}{b \left(\frac{k_h}{k_v} h_1^3 + a^3 \right)}$	0
Tensão nas faces laterais (pL)	Valor máximo	$\frac{T}{b h_1} + \frac{6 \left(\frac{k_h}{k_v} \right) M_0 h_1}{b \left(\frac{k_h}{k_v} h_1^3 + a^3 \right)}$	$\frac{T}{b h_1} + \frac{\left(\frac{k_h}{k_v} \right) N h_1}{b z^2}$
	Valor mínimo	$\frac{T}{b h_1} - \frac{6 \left(\frac{k_h}{k_v} \right) M_0 h_1}{b \left(\frac{k_h}{k_v} h_1^3 + a^3 \right)}$	$\frac{T}{b h_1} - \frac{\left(\frac{k_h}{k_v} \right) N h_1}{b z^2}$
Ângulo de rotação (θ)		$\frac{M_0}{k_v \left(\frac{b a^3}{12} + \left(\frac{k_h}{k_v} \right) \frac{b h_1^3}{12} \right)}$	$\frac{2 N}{9 \left(\frac{a}{2} - e_x \right)^2 b k_v}$
Deslocamento horizontal (δ)			$\tan(\theta) h_1$

3. Desenvolvimento de *Add-In* no programa Revit

Para o desenvolvimento do *Add-In* recorreu-se ao programa Microsoft Visual Studio 2013 [6], o qual foi configurado para compilar, executar e testar o código produzido em ambiente Revit [7]. O recurso a esta solução, alternativamente às macros disponibilizadas pelo programa Revit, facilita a criação de interfaces gráficas, oferecendo a possibilidade de usufruir das funcionalidades de ajuda à escrita de código disponibilizadas pelo Visual Studio e agiliza a distribuição da ferramenta de cálculo entre diferentes utilizadores.

Em conjunto com o *Add-In* foi também desenvolvida uma família em Revit parametrizada e representativa do poço de fundação e que possibilita o armazenamento das informações geométricas e não geométricas, incluindo os dados de entrada e os parâmetros provenientes do cálculo.

As características desta família são alteradas pelo próprio *Add-In* de forma automática sendo classificada com o código A1010 do sistema *Unifomat*, correspondente ao item *Standard Foundations* incluído na secção *Foundations/Substructures* [8]. As propriedades da família atrás especificadas permitem atribuir-lhe o nível de desenvolvimento LOD 300.

3.1 Interface gráfica

A interface gráfica implementada é do tipo *modeless form* e é constituída por um formulário que permite ao utilizador seleccionar no Revit a fundação a dimensionar, introduzir os dados requeridos para o cálculo e visualizar os resultados do dimensionamento (Figura 1). A utilização deste tipo de *forms* tem como vantagem permitir ao utilizador interagir com o programa sem a necessidade de o encerrar, ao contrário das *modal forms* [9]. Desta forma é possível operar o Revit em todas as suas funcionalidades e simultaneamente visualizar e interagir com a interface gráfica, tornando a sua utilização mais simples e intuitiva.

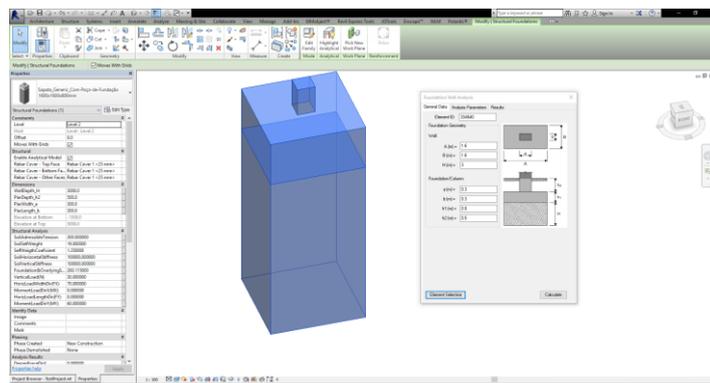


Figura 1: Interface gráfica do tipo *modeless form* em ambiente Revit.

O formulário incluído na interface está dividido em 3 secções: uma secção de dados gerais para introdução de informação geométrica do poço (Figura 2a), uma secção de parâmetros de análise para introdução de dados respeitantes às características mecânicas do solo e das cargas atuantes na sapata (Figura 2b), e uma secção para visualizar os resultados do cálculo (Figura 3), em particular, os valores das ações e tensões atuantes no terreno, os valores dos deslocamentos e rotações do poço, as verificações de segurança e ao fator de eficiência do dimensionamento do

poço. Após o cálculo, todos os dados são sincronizados com os parâmetros do elemento de fundação selecionado.

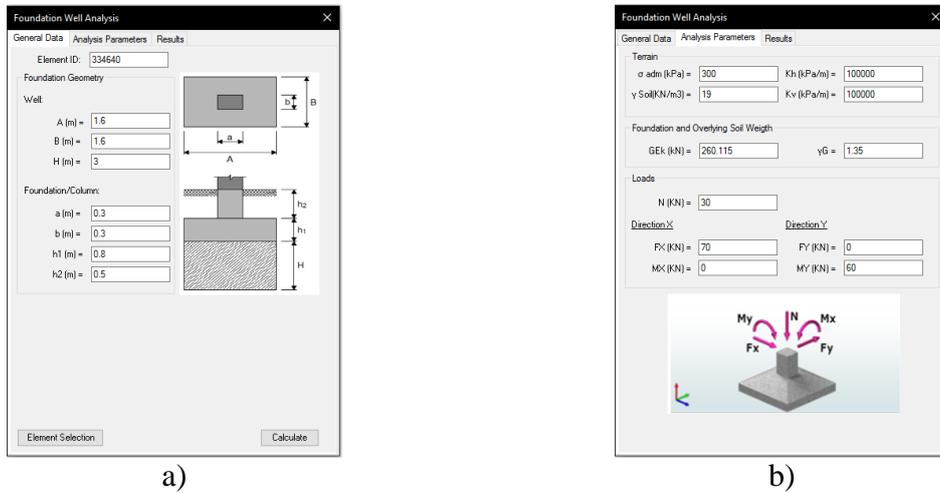


Figura 2: Interface gráfica: a) dados gerais; b) parâmetros da análise.

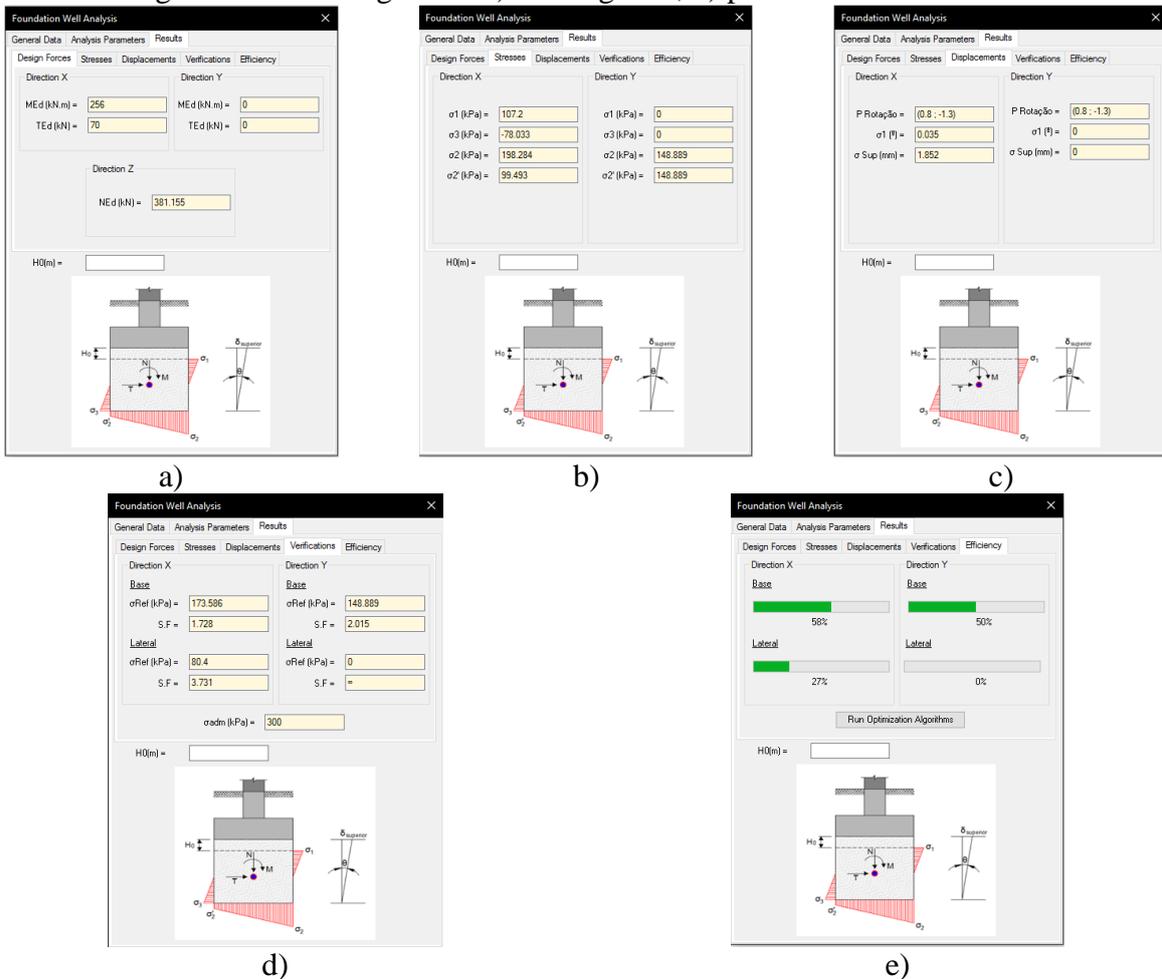


Figura 3: Interface gráfica de resultados: a) valores de cálculo das ações; b) valores das tensões na base e faces laterais; c) deslocamentos e rotações; d) verificações de segurança e coeficientes de segurança; e) fatores de eficiência.

3.2 Aspectos de utilização

O *Add-In* desenvolvido traz inúmeras vantagens na perspetiva do utilizador, nomeadamente: i) a incorporação do dimensionamento automático de um tipo de fundação geralmente não incluída nos programas de cálculo automático e muito utilizada na construção em Portugal, num fluxo BIM; ii) fornecer ao projetista uma ferramenta de cálculo expedita incorporada num programa de modelação sem recorrer a um software intermediário, como por exemplo o Excel; iii) obter peças desenhadas do poço de fundação de forma dinâmica e automática; iv) otimizar o dimensionamento dos poços de fundação; v) a possibilidade de incorporar propriedades avançadas no objeto Revit, sobretudo de dados recolhidos em obra e relacionados com aspetos de execução, ensaios, monitorização; vi) garantir a centralização da informação relevante de projeto, reduzindo os erros e omissões decorrentes da duplicação de dados e passagem incorreta de informação entre diferentes intervenientes.

Apesar das muitas funcionalidades já implementadas o *Add-In* desenvolvido apresenta algumas limitações, nomeadamente, estar programado para utilizar apenas poços de fundação retangulares, não permitir gravar ou pesquisar características dos solos numa base de dados, o reduzido automatismo na introdução das ações de cálculo, a falta de diferenciação em grandezas físicas dos dados gravados nos parâmetros da família Revit o que obriga a que todos eles sejam parâmetros do tipo numérico, e a utilização de um único método de dimensionamento do poço de fundação.

3.3 Rotinas

A ferramenta *Add-In* foi desenvolvida recorrendo à linguagem de programação C# que é uma linguagem orientada a objetos. Deste modo as rotinas de cálculo foram naturalmente agrupadas por diferentes classes representativas das propriedades da fundação (geométricas e não geométricas), as metodologias de cálculo de poços de fundação e a interação da interface gráfica com o programa Revit enquanto evento externo.

A forma de organização do código foi concebida para flexibilizar ao máximo a interação entre as várias rotinas. Assim, na prática, após o utilizador selecionar um determinado elemento os dados de entrada do formulário aparecem previamente preenchidos com a informação já existente no elemento, além de após o cálculo o *Add-In* avaliar se já existe, ou não, um tipo de família com as características indicadas no formulário. Caso exista, o tipo de família do elemento selecionado é modificado, caso não exista, é criada uma nova família com as características pretendidas que são atribuídas ao elemento. Outro modo de o utilizador interagir com o *Add-In* é modificar os parâmetros ou o tipo de família de um determinado elemento e ordenar o seu cálculo. Todos os dados do formulário são atualizados a partir dos valores dos parâmetros do elemento e é feito o cálculo.

As formas de interação descritas são visualizadas através das classes principais *Foundation*, *CalculationMethods* e *ExtEventInteractionHandler* (ver Figura 4).

A primeira é responsável por referenciar todas as propriedades geométricas e não geométricas do poço, a segunda é responsável por aplicar o método do Bloco Rígido com base nas expressões apresentadas na Tabela 1, e a terceira é responsável por permitir a interação da *form* com o Revit enquanto evento externo.

No caso da terceira classe principal, saliente-se que, como o *Add-In* é constituído por uma *form* representada por uma classe fora do contexto do API Revit, as eventuais alterações nos conteúdos do documento Revit são negados. Deste modo a classe *ExtEventInteractionHandler* é chamada a intervir com a função específica de integração do código no API Revit, uma vez que deriva da classe *ExternalEvents*.

O encadeamento do código que o *Add-In* segue é iniciado quando o utilizador clica no botão *Element Selection* e seleciona um elemento (Figura 2a). Os parâmetros do elemento são lidos pela rotina *ReadElementParameters* da classe *ExtEventInteractionHandler* e expostos no formulário. Em seguida o utilizador procede às modificações que entender e após o clique no botão *Calculate* (Figura 2a) o *Add-In* assume a informação contida no formulário e a transponha à rotina *CalcRigidBlockMethods* da classe *CalculationMethods* para proceder ao cálculo segundo o método do Bloco Rígido. Esta rotina serve-se de 4 outras rotinas, a *CalcEccentricity* para cálculo da excentricidade, a *CalcDesignForces* para a determinação dos esforços de cálculo, a *CalcDisplacements* para o cálculo dos deslocamentos e finalmente da *CalcVerificationsAndEfficiency* para a verificação da segurança e eficiência. A rotina *PolyThirdSquare* faz parte também da classe *CalculationMethods* e serve para resolver um polinómio de terceiro grau no caso da resultante das forças estar fora do núcleo central. Aplicado o método do Bloco Rígido a classe *ExtEventInteractionHandler* é chamada novamente a intervir, e através da rotina *SelectOrCreateFamilySymbol*, decide se atribui um tipo de família já existente ou cria um novo com base nas dimensões introduzidas. A classe *Foundation* existe com o intuito de referenciar todos os valores envolvidos e que dizem respeito à sapata e serve como veículo à sua transmissão entre as rotinas das outras classes.

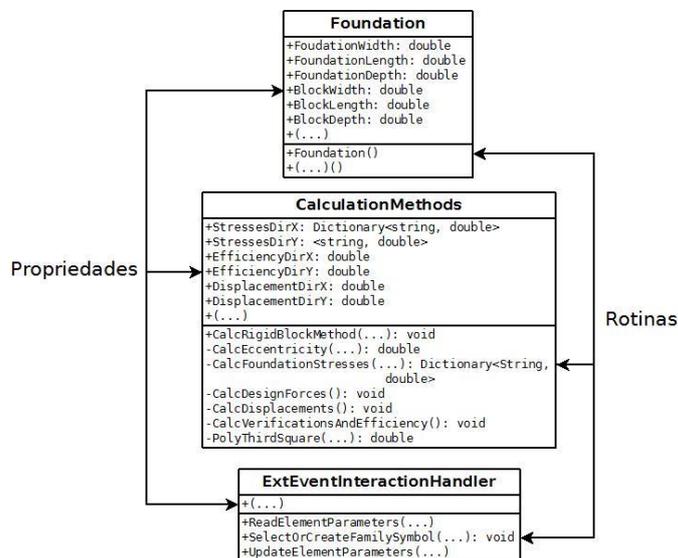


Figura 4: Estrutura do *Add-In*: classes principais e propriedades.

4. Aplicação da ferramenta ao dimensionamento das fundações de um pavilhão metálico

4.1 Descrição

O pavilhão metálico é composto por uma estrutura porticada constituída por perfis metálicos comerciais, laminados a quente. O edifício encontra-se localizado na periferia de Vila Real a 1000 m de altitude, possuindo uma área de implantação de $16 \times 36 \text{ m}^2$ e uma altura de 9 m.

A estrutura da nave industrial é constituída por 7 pórticos afastados entre si de 6 m, cujos pilares são perfis metálicos HEB 550 e vigas asna IPE 360. A ligação entre os pórticos nas faces laterais e na cumeeira da cobertura é realizada por intermédio de vigas de travamento HEB 220. O contraventamento dos pórticos é realizado através de cantoneiras do tipo $L120 \times 120 \times 10$ dispostas em cruz de Santo André. A estrutura que acolhe as cargas rolantes é constituída por vigas de caminho de rolamento IPE 600 apoiadas em consolas curtas IPE 240 escoradas com perfis do mesmo tipo. A cobertura inclinada com duas águas é constituída por madres materializadas em perfis metálicos UNP 160 que apoiam as chapas do tipo sandwich como revestimento.

O solo de fundação é dotado das seguintes características: peso específico 19 kN/m^3 , tensão admissível igual a 300 kPa , ângulo de atrito interno igual a 30° , e um comportamento elástico caracterizado por um coeficiente de Winkler vertical e horizontal igual a 100000 kN/m^3 .

A Figura 5 apresenta uma planta, um alçado lateral e um corte da estrutura analisada.

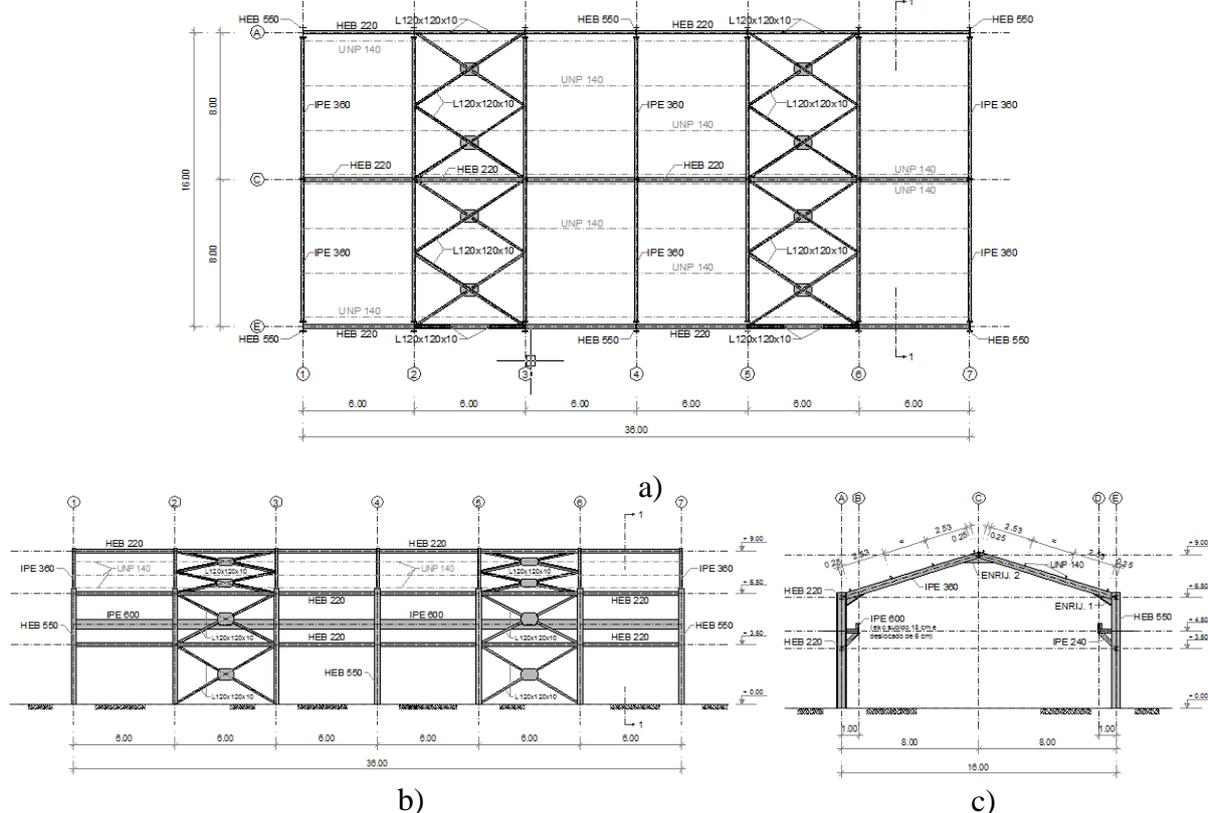


Figura 5: Pavilhão metálico: a) planta da cobertura; b) alçado lateral; c) corte transversal.

4.2 Modelo numérico

O modelo de análise estrutural foi desenvolvido no programa Autodesk Robot Structural Analysis [10]. Na Figura 6 ilustra-se a perspetiva tridimensional do modelo numérico desenvolvido.

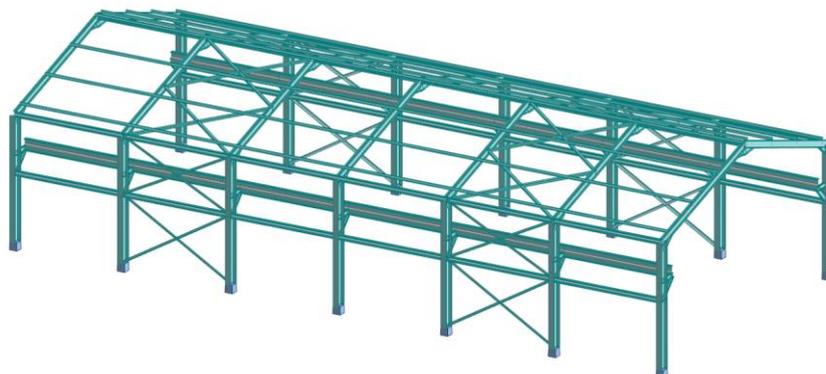


Figura 6: Modelo numérico.

Os diversos elementos estruturais foram simulados numericamente com recurso a elementos finitos de barra com 6 graus de liberdade por nó. As barras de contraventamento foram dotadas de ligações rotuladas à restante estrutura e foram assumidos encastramentos para os nós de apoio dos pilares dos pórticos. Relativamente às ações atuantes na estrutura, para além do peso próprio estrutural foram consideradas as cargas devidas à restante carga permanente e à sobrecarga que atuam na cobertura, ao vento atuante nas duas direções principais do edifício, em cada um dos sentidos, à neve e à carga rolante. Foram calculadas as combinações de ações de acordo com a norma EN 1990 [11] contemplando os estados limites últimos de rotura do terreno (GEO) e de equilíbrio (EQU).

4.2 Resultados

Os resultados obtidos da análise estrutural conduziram à seleção das reações apresentadas na Tabela 2, correspondentes às combinações de ações C1 a C8, como as mais condicionantes para o dimensionamento dos poços de fundação.

Tabela 2: Valores dos esforços na base dos pilares para 8 combinações de ações em estados limites últimos.

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kN.m)	MY (kN.m)	MZ (kN.m)
C1	-25.02	-13.73	-54.73	12.25	-6.2	0.67
C2	10.43	-57.57	348.94	122.6	-23.37	3.16
C3	6.73	78.91	227.85	-310.15	0.97	-0.15
C4	2.88	-78.7	155.5	293.91	-3.07	0.47
C5	-28.52	-52.61	250.42	95.06	-29.48	3.23
C6	36.26	6.96	-1.37	-2.01	27.14	-0.18

O *Add-In* foi aplicado ao caso prático com base na introdução manual dos esforços associados a cada combinação de ações em estado limite último, por meio de um processo iterativo baseado no ajuste das dimensões da sapata e do poço de fundação (ver Figura 7).

	A	B	H	h1	Factor de Segurança - Direcção X		Factor de Segurança - Direcção Y		Eficiência - Direcção X		Eficiência - Direcção Y	
					Base	Lateral	Base	Lateral	Base	Lateral	Base	Lateral
C1	1.20	1.20	2.00	0.80	3.47	5.27	3.73	7.88	29%	19%	27%	13%
	1.50	1.50	2.00	0.80	3.08	7.52	3.26	11.30	32%	13%	31%	9%
	1.20	1.50	2.00	0.80	3.33	6.58	3.38	9.04	30%	15%	30%	11%
	1.20	1.60	2.00	0.80	3.29	3.30	7.02	9.53	30%	14%	30%	10%
	1.20	1.50	3.00	0.80	2.65	10.69	2.65	13.87	38%	9%	38%	7%
C2	1.20	1.50	2.00	0.80	1.00	80.40	0.78	1.61	100%	1%	128%	62%
	2.00	2.00	2.00	0.80	1.56	110.15	1.25	3.64	64%	1%	80%	28%
	2.00	2.00	3.00	0.80	1.33	120.56	1.21	4.84	75%	1%	83%	21%
	1.50	2.00	3.00	0.80	1.18	115.27	1.05	3.63	85%	1%	95%	28%
	2.00	1.50	3.00	0.80	1.18	90.42	1.09	4.27	85%	1%	91%	23%
C3	1.50	2.00	3.00	0.80	1.40	57.20	1.10	2.00	72%	2%	91%	50%
	2.00	2.00	3.00	0.80	1.53	64.34	1.25	2.67	65%	2%	80%	37%
C4	1.50	2.00	3.00	0.80	1.58	204.11	1.21	2.06	63%	0%	83%	48%
	2.00	2.00	3.00	0.80	1.70	226.74	1.36	2.75	59%	0%	73%	36%
C5	1.50	2.00	3.00	0.80	1.32	13.64	1.21	4.22	76%	7%	83%	24%
	2.00	2.00	3.00	0.80	1.45	15.34	1.36	5.63	59%	7%	73%	18%
C6	1.50	2.00	3.00	0.80	2.05	9.06	2.16	44.86	49%	11%	46%	2%
	2.00	2.00	3.00	0.80	2.03	10.22	2.16	59.81	49%	10%	46%	2%

Figura 7: Resumo dos principais resultados do processo iterativo de cálculo baseado no ajuste das dimensões da sapata e do poço de fundação.

O processo iterativo teve início com uma sapata de dimensões 1.20×1.20×0.8 m e com um poço de fundação de profundidade 2 m. Para a combinação de ações C1 chegou-se às dimensões de uma sapata de 1.20×1.50×0.8 m e o poço de fundação com uma profundidade de 2 m. Esta foi a solução que apresenta valores dos fatores de eficiência mais próximos em ambas as direções, na base e nas faces laterais do poço (ver Figura 7). Com base nesta solução partiu-se para o cálculo para a combinação de ações C2 e constatou-se que a mesma não cumpria as verificações de segurança exigidas, como atesta um dos correspondentes valores do fator de eficiência superior a 100%. Assim, por meio de iterações sucessivas, chegou-se à solução ótima de uma sapata de 1.50×2.00×0.8 m e um poço de fundação com 3 m de profundidade, como atestam os fatores de eficiência (ver Figura 7). Esta solução foi depois testada com sucesso para as restantes combinações de ações (C3 a C6), pese embora se tenham tentado sapatas de dimensões diferentes com o intuito de atingir uma solução mais otimizada, no entanto, tal não foi verificado com se demonstra nas diversas tentativas ilustradas na Figura 7.

A Figura 8 exemplifica os resultados obtidos através do *Add-In* para a solução encontrada, ou seja, uma sapata com dimensões 1.50×2.00×0.8 m e o poço de fundação com 3 m de profundidade, e para a situação em que está sujeita às ações da combinação C6.

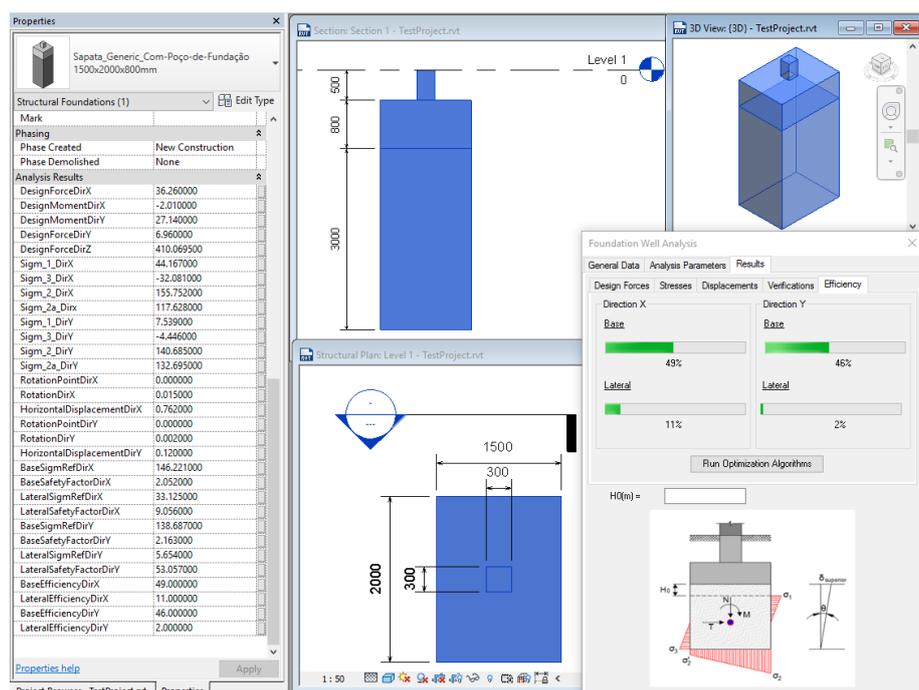


Figura 8: Aspeto dos resultados apresentados pelo *Add-In*.

5. Conclusões e desenvolvimentos futuros

O presente artigo realiza a descrição de uma ferramenta BIM para o dimensionamento de poços de fundação assente numa metodologia analítica de dimensionamento baseada no método do Bloco Rígido. Para o efeito foi desenvolvido um *Add-In* no programa Revit, programado com base na linguagem por objetos C# e assente numa interface gráfica interativa e de simples utilização.

A aplicação desta ferramenta ao caso das fundações de um pavilhão metálico permitiu comprovar a sua eficiência e robustez tendo em vista a obtenção de soluções mais económicas e cumprindo os requisitos regulamentares estabelecidos pelos Eurocódigos. Acresce que o recurso à ferramenta BIM desenvolvida possibilita aos projetistas tomarem decisões mais sustentadas e menos baseadas na experiência, permitindo a criação de múltiplos cenários com brevidade e viabilizando a solução mais adequada.

Por último, importa salientar os trabalhos em curso, ou a realizar no futuro, ao nível do desenvolvimento da ferramenta BIM apresentada, nomeadamente: i) evoluir o *Add-In* e a família Revit de modo a possibilitar a utilização de parâmetros associados a grandezas físicas e respeitando as diretivas do IFC, viabilizando, deste modo, a interoperabilidade com outros programas; ii) a ligação ao programa de cálculo de estruturas Autodesk Robot tendo em vista a importação automática dos esforços na base dos pilares do modelo numérico; iii) a aplicação de algoritmos avançados de otimização, em particular os algoritmos genéticos e as redes neuronais, perspetivando a busca de soluções mais otimizadas, e iv) o desenvolvimento de uma aplicação Android para telemóvel, que permitirá aceder remotamente à ferramenta

desenvolvida, possibilitando uma tomada de decisão mais rápida e eficiente, e particularmente útil no contexto de reuniões de projeto ou em obra.

Referências

- [1] Eastman, C.; Teicholz, P.; Sacks, R.; Liston, K. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*. Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc, 2011.
- [2] Azhar, S. *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*. *Leadership Manage*, 15/06/2011, 241–252.
- [3] Freitas, M. (2005) – Apontamentos de Fundações Encastradas no Terreno – Poços de Fundação. Unidade curricular de Fundações e Estruturas de Suporte do Mestrado Integrado em Engenharia Civil. FEUP, Porto.
- [4] Salas, J. (1980) – Geotécnia y cimientos III. Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la geotécnia. Volume 1. Editorial: Rueda. Espanha.
- [5] Delesques, R. (1983) - *Calcul des Fondations*, Rubrique du Praticien. *Construction Métallique*, nº 3. France.
- [6] Microsoft Visual Studio (2015) - Visual Studio Homepage, specifications and features. URL: <https://www.visualstudio.com/vs/> (consultado em outubro de 2016).
- [7] Autodesk Revit (2015) - Autodesk Web Page, My First Plugin Training. <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=20132893> (consultado em outubro de 2016).
- [8] BIM Forum (2016) – Level Of Development Specification, For Building Information Models, Version 2016 August 25.
- [9] Microsoft Developer Network (2016) – Visual Basic Concepts, Modal and Modeless Dialog Boxes. [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa263470\(v=vs.60\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa263470(v=vs.60).aspx) (consultado em outubro de 2016).
- [10] RSA (2015) - Manual do Robot Structural Analysis Professional 2015. URL: <http://help.autodesk.com/view/RSAPRO/2015/ENU/> (consultado em outubro de 2016).
- [11] EN 1990 (2009) - Eurocódigo: Bases para o projeto de estruturas. Comité Europeu de Normalização (CEN). Bruxelas, Bélgica.

DESENVOLVIMENTO DE UM SOFTWARE PARA A DETERMINAÇÃO E MITIGAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Luís Sanhudo ⁽¹⁾, João Poças Martins ⁽²⁾

(1) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

(2) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Resumo

Com a crescente consciencialização em torno do tópico “sustentabilidade” ao longo dos últimos anos, este conceito começou a ser aplicado à maioria dos sectores económicos da nossa sociedade, com a Indústria da Construção em particular a ter um impacto considerável nas denominadas “acções sustentáveis”. No entanto, embora tenham sido realizados esforços para quantificar a sustentabilidade de um edifício, a complexidade do termo e o seu método de avaliação pouco expedito, desafiam a sua fácil avaliação.

Considerando os enormes benefícios oferecidos pelo *Building Information Modelling* (BIM) na utilização de modelos ricos em informação, os obstáculos previamente enunciados serão abordados propondo um *software* em Dynamo – linguagem de programação visual (VPL) associada ao Autodesk Revit – que estabeleça uma ligação com o modelo BIM do edifício. Desta forma, o *software* contribui para a actualização desta avaliação, simplificando os seus termos, facilitando os seus cálculos e auxiliando na escolha dos créditos a perseguir.

No entanto, visto a sustentabilidade ser um tema muito amplo, neste artigo a certificação *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), mais especificamente os créditos relacionados com a gestão do escoamento superficial de águas pluviais, serviram de exemplo, possibilitando a retirada de conclusões que possam ser adaptadas à certificação no geral.

1. Building Information Modelling

Nos últimos anos, a capacidade para analisar e representar informaticamente modelos tridimensionais de edifícios tem vindo a aumentar significativamente. Mais recentemente, o aparecimento do *Building Information Modeling* (BIM) introduziu enormes alterações na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), transformando um setor altamente

baseado em software de desenho assistido por computador (CAD) num sector dependente de uma correta geração, gestão, e transferência de informações entre os seus intervenientes.

Consequentemente, hoje em dia a indústria incentiva a análise do modelo digital não apenas como uma representação tridimensional do edifício, mas também como um protótipo virtual. Neste, é possível simular condições reais com vista a obter informação vital para o alcance da eficiência exigida pelos investidores. Com este objetivo, a modelação paramétrica tem-se mostrado extremamente eficaz na criação de modelos flexíveis e adaptáveis que facilitem a combinação destes modelos digitais com ferramentas de análise, otimização e automação. Assim, o uso destas ferramentas de simulação e análise computacional, acompanhadas por um leque de técnicas de otimização, permitem a análise de vários critérios de desempenho simultaneamente. Isto permite obter um espectro de soluções que satisfaçam um conjunto de objetivos pré-definidos, que a equipa de projeto pode avaliar e comparar nas fases preliminares do projeto. Desta forma, este artigo pretende explorar esta tecnologia aliada ao tema da sustentabilidade na construção.

2. Sustentabilidade na Indústria da Construção

No final do milénio, a sustentabilidade tornou-se num dos temas mais debatidos no Mundo mas, discutivelmente, um dos menos compreendidos. Com a crescente consciencialização em torno deste tópico, o conceito de “sustentabilidade” começou a ser aplicado à maioria dos sectores económicos, com a indústria da construção em particular a ter um impacto considerável nas ações sustentáveis da nossa sociedade [1]. Isto levou à criação de normas de construção, certificações e sistemas de avaliação destinados a mitigar o impacto dos edifícios no meio ambiente através do *design* sustentável [2]. Desta forma os edifícios apresentariam um melhor impacto ambiental e social na comunidade envolvente e, em simultâneo, adquiriam novas vantagens económicas para o proprietário, nomeadamente sobre a forma de *marketing*.

Criadas na década de 1990, estas ferramentas tiveram um crescimento exponencial no início dos anos 2000 como comprovado pelas 17 ferramentas apresentadas por Haapio e Viitaemi [3], das quais apenas cinco se encontram entre as 26 revistas por Khasreen *et al.* [4]. Este crescimento é habitualmente atribuído aos sistemas de pontuação fortemente influenciados pelo tipo de construção em estudo [5] e às situações climáticas, culturais e legais dos diversos países [1]. Ou seja, apesar dos conceitos base e as necessidades avaliadas serem semelhantes, devido a todas estas vastas diferenças, atualmente diversos países possuem dezenas de certificados, resultando em centenas espalhadas pelo mundo. Neste artigo o certificado *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) foi escolhido como representante destas ferramentas, servindo de exemplo para o estudo da automatização deste tipo de certificados.

O LEED é um sistema voluntário, baseado no sistema de classificação estabelecido pelo *United States Green Building Council* (USGBC) para avaliar a sustentabilidade ambiental de um edifício [6]. Após a sua introdução em 2000, a difusão no mercado e a popularidade do LEED tem vindo a aumentar em todo o mundo [7]. Ao longo da sua história de 16 anos, este certificado manteve-se um ponto de referência do *green design* [8], exibindo uma *check list* periodicamente atualizada, composta por vários créditos relacionados não só com o impacto ambiental do

edifício, mas também com o seu impacto social e económico. Entre estes créditos um dos temas recorrentes é o escoamento superficial de um edifício, que serviu de exemplo neste artigo.

O escoamento superficial tem, nas últimas décadas, manifestando-se como uma das principais causas de problemas no meio urbano, em grande parte devido ao incremento percentual de população mundial residente em cidades [9]. Como tal, as áreas urbanas são continuamente expandidas não só em termos de espaço, mas também de densidade provocando o aumento das superfícies impermeáveis que, por sua vez, tem inúmeras consequências para as infraestruturas da cidade bem como para o ambiente natural envolvente [10]. Consequentemente, a infiltração diminui e a pressão sobre as infraestruturas de águas pluviais aumenta, criando problemas em áreas urbanas tais como [11]: poluição dos recetores naturais de água; inundações; *deficit* de reposição de água subterrânea; redução do fluxo base da água; entre outros. A proliferação de superfícies impermeáveis permite que a água chegue aos órgãos de armazenamento naturais mais rapidamente elevando os picos de escoamento superficial, o que resulta em profundas alterações no curso de água e na degradação de *habitats* naturais. Além disso, dependendo do uso do solo dentro da bacia, nutrientes, substâncias tóxicas, materiais em suspensão, entre outros poluentes, podem ser transportados por terra para cursos de água naturais, tornando o escoamento superficial numa potencial fonte de poluição [12]. Com a intenção de remover e aproveitar o escoamento superficial, as *Low-Impact Development (LID) Best Managing Practices* (BMP) devem ser implementadas.

De facto, atualmente o escoamento superficial é reconhecido como um recurso que deve ser usado para benefícios sociais, ambientais e económicos. Assim, as LID-BMP tipicamente têm como objetivo armazenar esta água por longos períodos de tempo, filtrando-a e reutilizando-a ou, simplesmente, eliminando-a por evaporação e infiltração com o volume restante sendo lentamente libertado para um recipiente natural. Com este propósito as LID-BMP devem ser implementadas o mais cedo possível num projeto, por forma a integrar estas medidas o mais facilmente possível com a paisagem natural e o plano de construção local [13].

Por fim, devido à complexidade do conceito de sustentabilidade e ao método de avaliação pouco expedito associado a estes certificados, o tempo e custos necessários para os adquirir podem ser tão elevados que obscurecem as possíveis vantagens a serem adquiridas. Desta forma, neste artigo, os conceitos acima mencionados são aplicados no desenvolvimento de um *software* BIM, que procura oferecer uma forma rápida, fácil e intuitiva de automatizar créditos LEED ligados ao controlo do volume do escoamento superficial.

3. StormWater Runoff

O *software* criado, intitulado “StormWater Runoff”, tem dois objetivos:

- Determinar automaticamente o escoamento superficial de qualquer edifício, independentemente do seu uso;
- Corrigir o escoamento previamente determinado através da concepção e proposta automática de soluções utilizando LID-BMP.

Para funcionar correctamente este *software* foi equipado com as exigências encontradas nos créditos LEED e o Método Racional. Desta forma, o utilizador encontra no programa um objectivo adequado e conciso a atingir, ao mesmo tempo que dispõe dos meios para o alcançar. Na criação deste *software* foram utilizadas várias ferramentas BIM, nomeadamente o Revit, o Dynamo (linguagem visual de programação) e o Dyno (*software* que serve de interface a aplicações criadas usando Dynamo).

O utilizador final é representado principalmente como um profissional ligado à indústria da AEC, como por exemplo um arquiteto, engenheiro, proprietário, entre outros; no entanto, o *software* também poderá ser utilizado por uma pessoa menos especializada, sem qualquer ligação à indústria da AEC. Este segundo utilizador é uma parte essencial do *software*.

No site oficial do LEED, é sugerida a contratação de profissionais credenciados e o uso de manuais LEED, com o objectivo de identificar quais os créditos a serem perseguidos para atingir um determinado patamar da certificação. O custo desta tarefa por si só pode ultrapassar os 10.000€, dependendo dos prazos, do nível de certificação, da complexidade do projeto e da calendarização [14]. No entanto, utilizando o programa proposto, este custo pode ser consideravelmente reduzido através da introdução de uma mínima quantidade de informação, permitindo ao utilizador distinguir créditos relacionados com o escoamento superficial que possam ser facilmente obtidos. Assim, este *software* foi desenvolvido para se comportar como um programa técnico com foco na obtenção de conhecimentos específicos da AEC, utilizando uma simples e intuitiva interface e uma linguagem adequada a um utilizador não especializado. No entanto, embora sejam tomadas medidas para abranger o utilizador comum, também é possível especificar mais detalhadamente a maioria dos *inputs*, a fim de alcançar um escoamento com maior precisão. Este aspecto do programa é conseguido não só através do uso de bases de dados XML de fácil acesso e edição, mas também através da funcionalidade *override*. Esta funcionalidade destina-se a utilizadores mais experientes, que pretendem utilizar este *software* como uma ferramenta de precisão, cujo propósito é substituir os valores médios armazenados na base de dados por valores calculados pelo utilizador. Assim, como objectivo final subjacente ao *software*, este programa permite ao utilizador reunir todas as informações necessárias para validar qualquer um dos 62 créditos relacionados com a quantidade de escoamento superficial do LEED V4, somados dos 20 créditos da versão LEED V3, que ainda são possíveis de adquirir. Por fim, este *software* pode ainda ser utilizado para justificar decisões tanto nas fases iniciais do projecto, como na fase de construção ou manutenção.

Como já mencionado, para o *software* funcionar é necessária muito pouca informação. De facto, os *inputs* estão limitados a algumas variáveis relacionadas com a precipitação local, à utilização do edifício e preferências do utilizador que indicam as prioridades no cálculo das LID-BMP. As restantes informações são obtidas a partir do modelo Revit. No entanto, como já indicado, para eficazmente alcançar um edifício sustentável é necessário considerar e incorporar as questões da sustentabilidade numa fase preliminar do projecto. Assim, o modelo do edifício pode ainda estar pouco desenvolvido o que torna o *Level of Development* (LOD) do modelo um conceito fulcral na conceção deste *software* [15]. Desta forma, conseguiu-se alcançar os objectivos iniciais do programa utilizando apenas as áreas horizontais do edifício em estudo. No entanto, para um correcto desempenho do programa, estas áreas têm que se encontrar devidamente categorizadas, com cada elemento a corresponder a uma das seguintes categorias

do Revit: *Roofs, Floors e Topography*. Isto resulta numa especificação mínima de LOD 200 ou, se possível, LOD 300 para alcançar uma maior precisão nos resultados indicados pelo *software*.

3.1 Arquitectura do Programa

O *software* desenvolvido divide-se em duas partes: “Initial Runoff” e “LID-BMP”. Na primeira parte, “Initial Runoff”, o utilizador encontra um conjunto de *inputs* necessários ao correcto funcionamento do *software*. Estes *inputs* são introduzidos no Dyno e enviados para o programa através da ligação entre o Dyno e os *input nodes* (algoritmos gráficos que substituem as típicas linhas de código no Dynamo) do Dynamo. De salientar os *override inputs*, uma vez que, como é possível constatar na Figura 1 onde se encontra ilustrado o fluxograma do programa, estes alteram drasticamente o funcionamento do software. De facto, para obter o escoamento inicial, o *software* extrai informações do modelo Revit e da base de dados, utilizando uma enorme quantidade de computação para o fazer. No entanto, se o utilizador substituir os valores predefinidos, o *software* não requer a informação armazenada na base de dados, excluindo esta ligação.

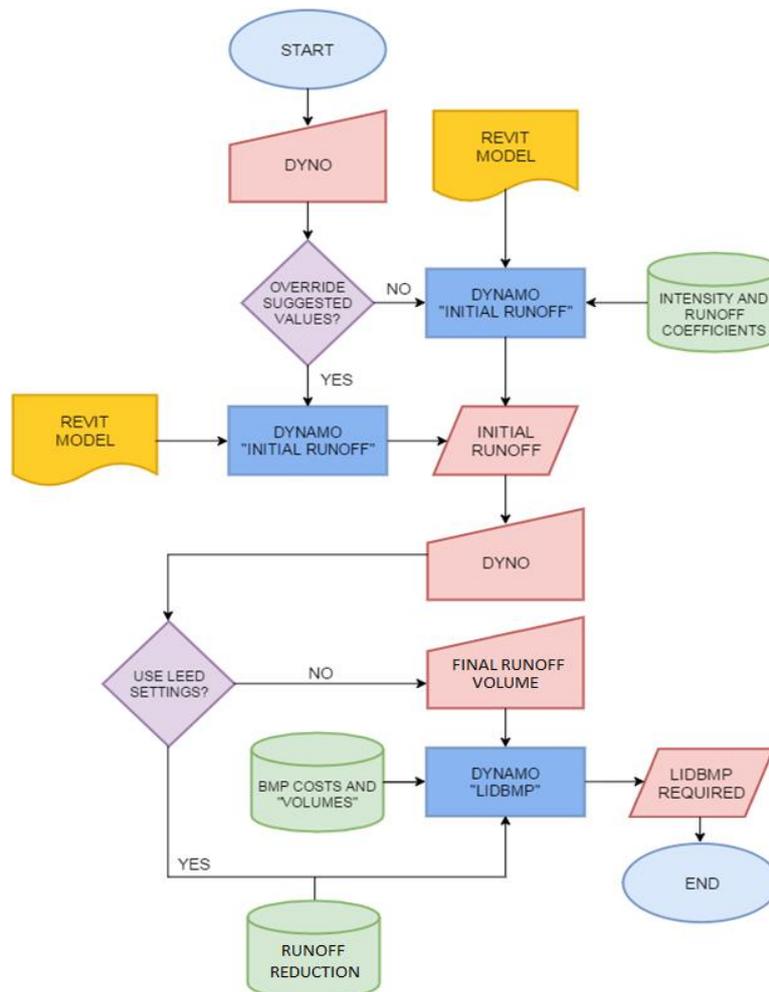


Figura 1: Arquitetura do programa.

Utilizando ou não esta função, se todos os *inputs* forem correctamente introduzidos, esta primeira parte permite calcular o volume total de escoamento superficial, utilizando para isso o

Método Racional em conjugação com as curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) relativas à zona em estudo [16]. Os valores destas curvas são obtidos através da ligação a uma base de dados independente, que pode ser expandida para acomodar informação relativa a qualquer país mas que, para o presente artigo, inclui apenas informação relativa a Portugal. Obtido o valor do escoamento inicial, o utilizador pode agora utilizar a segunda parte do programa: o "LID-BMP". Esta segunda parte calcula os vários LID-BMP disponibilizados pelo *software* (*cisterns, green roofs, permeable pavement, rain barrels, rain gardens e swales*) para alcançar o crédito LEED escolhido ou atingir um determinado volume de escoamento superficial final. Na primeira opção o *software* calcula o escoamento a ser mitigado através dos requisitos LEED, enquanto que na segunda fá-lo através da subtração do escoamento final desejado pelo inicial. Uma vez determinado o escoamento a ser eliminado, o *software* calcula múltiplas soluções para alcançar o escoamento final. Obviamente, estes cálculos dependeram dos restantes *inputs* introduzidos, nomeadamente os que se encontram relacionados com a prioridade atribuída às várias variáveis do cálculo. Adquirida a melhor solução, o *software* exhibe os LID-BMPs necessários, respectivas áreas ocupadas e custos individuais.

4. Caso de Estudo

No âmbito deste artigo, é fulcral o desenvolvimento de um caso de estudo que permita uma melhor compreensão das capacidades e restrições do *software* criado. Este capítulo foca a criação e descrição do modelo paramétrico usado juntamente com o programa, o executar deste *software* e, por fim, a análise dos resultados obtidos. Assim, este capítulo visa contextualizar a utilidade do programa "StormWater Runoff" na indústria da AEC, validando a capacidade de produzir valores rigorosos de escoamento superficial e de gerar automaticamente soluções ambientalmente favoráveis para o corrigir.

O modelo BIM estudado baseia-se no Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Porto, Portugal. Como demonstrado pela Figura 2, o modelo em estudo apresenta dois corpos principais dispostos em "T".

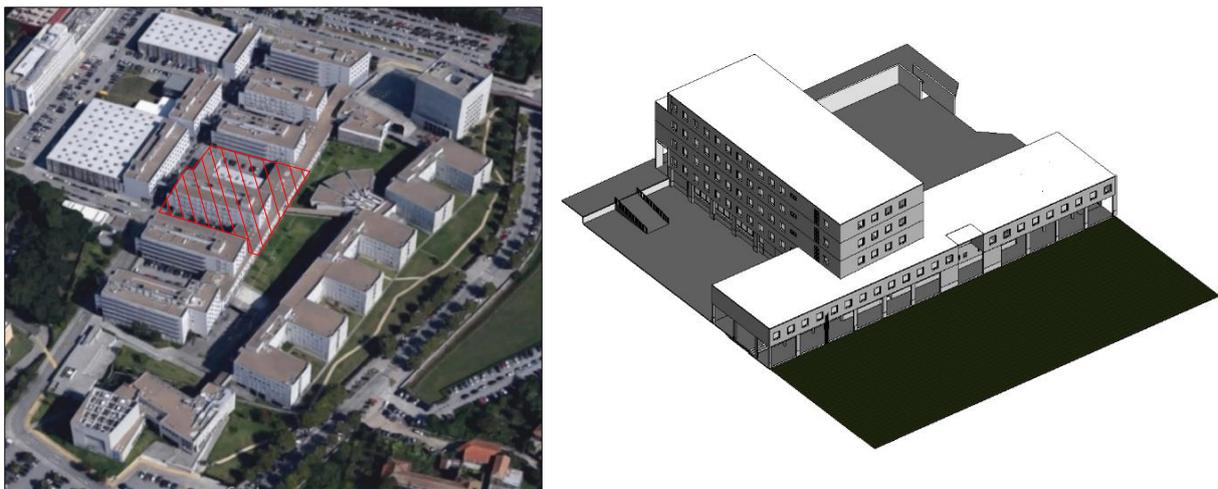


Figura 2: Departamento de Engenharia Civil da FEUP.

4.1 Construção do Modelo

Considera-se que o modelo apresenta um nível de detalhe superior ao exigido pela tarefa de verificação a realizar, dado que os únicos elementos paramétricos que realmente precisam estar corretamente modelados pertencem às seguintes categorias do Revit: *Topography*, *Roofs*, e *Floors*; ou seja, às categorias que possam contribuir para o escoamento superficial. Como tal, usando as propriedades do Revit, foi possível constatar que existem 29 elementos em categorias de interesse: 1 *Topography*, 5 *Roofs* e 24 *Floors*. A enorme quantidade de pisos deve-se ao facto de as escadas exteriores estarem categorizadas como *Floors*. Foi também possível obter as respectivas áreas, totalizando cerca de 2115 m² de *Topography*, 1883 m² de *Roofs* e 8213 m² de *Floors*. Estes valores serão utilizados como validação de vários resultados do *software* na secção 4.6.

4.2 Formulação do Problema

As capacidades do programa têm como propósito completar os seguintes objetivos:

- Obter o atual escoamento superficial criado pelo Departamento de Engenharia Civil com a devida precisão para ser utilizado na segunda parte do *software*;
- Executar a segunda parte do programa com o objectivo de alcançar o crédito "LEED O+M: Schools" através da implementação de infra-estruturas LID-BMP;
- Calcular a área e os custos associados às LID-BMP implementadas no objectivo anterior.

Como tal, o primeiro passo é identificar a utilização associada a cada categoria do modelo Revit, por forma a obter o respectivo coeficiente de escoamento (CE) superficial armazenado na base de dados [16]. Posteriormente, a zona pluviométrica do edifício (obtida pelas curvas IDF) deve ser identificada juntamente com o período de retorno e a duração da chuvada. Após a execução da primeira parte do *software*, os resultados obtidos são introduzidos na segunda parte como *inputs*. Estes incluem o escoamento superficial inicial, as áreas de cada categoria, os respectivos CE, e ainda a intensidade e duração da tempestade. De seguida, é seleccionado o crédito LEED a obter e as prioridades a contabilizar na escolha da melhor solução de LID-BMP.

4.3 Condições Iniciais – Primeira parte do programa

Como já referido, os primeiros *inputs* a serem seleccionados são o uso das várias categorias ou, em alternativa, o valor do CE a servir de *override*. No que diz respeito aos *Roofs*, o valor indicado na base de dados [16] é de 0,85, obtido do intervalo entre 0,75-0,95. Contudo, para compensar o facto de o telhado ser plano (diminui significativamente o CE superficial), o valor de 0,80 foi o utilizado como *override*. De seguida, os *Floors* adoptaram o uso do solo *Business* com um CE de 0,75, uma vez que, o edifício é maioritariamente constituído por escritórios e secretariados. Por último, a *Topography* adquiriu o uso *Lawn*, com um CE de 0,20.

Em seguida, os *inputs* relacionados com a chuvada (duração, período de retorno e zona pluviométrica) têm de ser determinados. Começando pelo período de retorno, e segundo a bibliografia LEED sugerida [17], o valor escolhido foi 10 anos. Este valor encontra-se também de acordo com o *Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais* [18], Artigo n.º 210, que indica um período de retorno mínimo de 5 anos. A duração seleccionada foi de 10 minutos. Este valor está novamente de

acordo com a bibliografia LEED e o regulamento Português que, no Artigo n.º 128, indica um intervalo entre 5 e 15 minutos, dependendo da inclinação da superfície. Sendo o local bastante nivelado, foi selecionado o valor médio. Por último, consultando as zonas pluviométricas Portuguesas, foi selecionada a zona A. Todos estes *inputs* podem ser vistos na Figura 3.

4.4 Condições Iniciais – Segunda parte do programa

Na segunda parte do *software* a maioria dos *inputs* necessários são adquiridos após a execução da primeira parte. Desta forma, esses valores não podem ainda ser discutidos. No entanto, os *inputs* relativos aos LID-BMP e às prioridades a serem tidas em conta durante o cálculo podem já ser definidos. Assim, o *software* tem como objectivo tentar alcançar o crédito "LEED O+M", usando para isso a combinação mais barata dos seguintes LID-BMP: *Rain Barrels* (máximo de 10), *Permeable Pavement* e *Green Roofs*. Todos estes *inputs* encontram-se na Figura 3.

4.5 Análise e Discussão dos Resultados – Primeira parte do programa

Nesta secção os resultados obtidos a partir do *software* serão apresentados e amplamente discutidos a fim de provar a exactidão e usabilidade do programa. Como tal, na Figura 3, é possível observar um volume de escoamento inicial de aproximadamente 50405 litros, e ainda outros valores necessários para o correcto funcionamento da segunda metade do *software*.

Destes valores, alguns podem ser rapidamente determinados como correctos através de uma simples comparação entre os resultados obtidos e a informação armazenada no modelo Revit e na base de dados. Por exemplo, por análise da Figura 2, facilmente se conclui que os elementos das categorias *Roofs* e *Topography* contribuem em toda a sua extensão para o volume de escoamento. Como tal, comparando as áreas do Revit presentes na secção 4.2 com as obtidas na Figura 3, é possível deduzir que estas áreas se encontram correctas. Além disso, também é compreensível que a área apresentada pelo *software* referente aos *Floors* seja inferior à exibida na secção 4.2, visto grande parte da categoria não ser atingida pela chuva. Finalmente, comparando os CE apresentados na Figure 4.3 (indicados como "RC"), com o coeficiente que foi *overridden* e os que estão presentes na base de dados [16], evidencia-se que estão correctos.

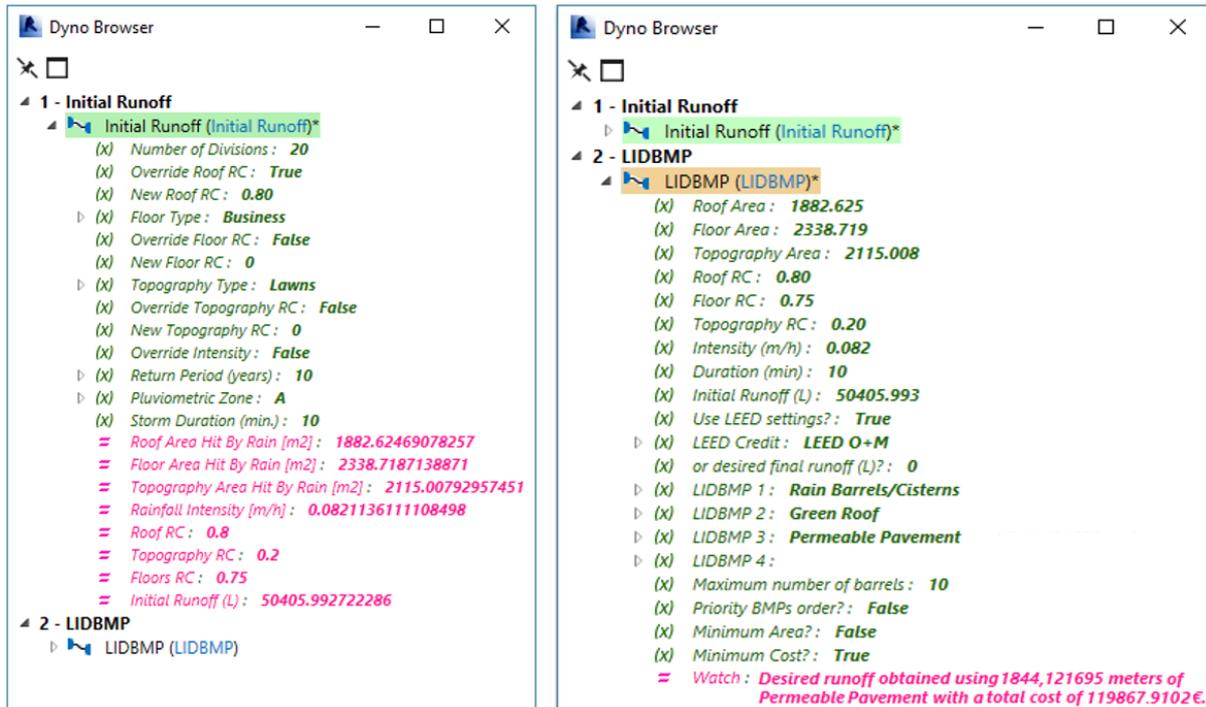


Figura 3: *Inputs* (a verde) e resultados (a rosa) da 1.^a (esq.) e 2.^a (dir.) partes do programa.

No entanto, as conclusões acima mencionadas não validam por si só o volume de escoamento superficial inicial. Assim, o valor real deve ser calculado manualmente, através das equações 1 e 2 do Método Racional, respectivamente para determinar a intensidade da chuvada e o volume de escoamento superficial (a primeira equação deriva das curvas IDF de Lisboa, Portugal):

$$I = a \times t^b = 290.68 \times 10^{-0.549} = 82.116 \text{ mm/h} = 0.0821 \text{ m/h} \quad (1)$$

$$Q = A \times C \times I = (1882.625 \times 0.80 + 2338.719 \times 0.75 + 2115.008 \times 0.2) \times 0.082 \\ = 3683.141 \times 0.082 = 302.018 \text{ m}^3/\text{h} = 302017 \text{ L/h} \rightarrow 50336 \text{ L} \\ \approx 50406 \text{ L} \quad (2)$$

De salientar que a diferença entre o escoamento obtido manualmente e o valor exibido pelo software é devido ao *software* trabalhar com números de quinze dígitos (resultando em nove casas decimais) enquanto que os cálculos manuais utilizaram apenas três casas decimais.

4.6 Análise e Discussão dos Resultados – Segunda parte do programa

Na segunda parte, o software tenta alcançar o crédito "LEED O+M" usando a combinação mais barata dos seguintes LID-BMP: *Rain Barrels*, *Green Roofs*, e *Permeable Pavement*. Assim, o software indica a utilização de 1844,1 m² de pavimento permeável como a única LID-BMP necessária. Para validar este resultado três aspectos devem ser abordados:

O primeiro é a constatação de que o *Permeable Pavement* é de facto a medida mais barata. Analisando os custos presentes na base de dados do *software* [16], é possível concluir que com um preço de 65 €/m², este LID-BMP é o mais barato, resultando num total de 119867.9 €.

$$\text{Custo do Permeable Pavement} = \text{Custo} \times \text{Área} = 65 \times 1844.1 = 119867.9 \text{ €}$$

O segundo é a área ocupada. Ao analisar os *inputs* da segunda parte do *software*, é possível verificar que a área total introduzida referente ao *Floor* (única área relevante para o *Permeable Pavement*) é de 2338.719 m². Como tal, uma vez que os 1844.122 m² associados ao *Permeable Pavement* pelo programa são inferiores à área real disponível, este aspecto é também validado. O terceiro e último aspecto é a redução do volume de escoamento superficial necessário para o crédito “LEED O+M”. De facto, este crédito exige a redução de pelo menos 25% do volume de escoamento superficial inicial, ou seja, à mitigação de 12601.498 litros neste caso de estudo:

$$Q(\text{Permeable Pavement}) = A \times C \times I = 1844.122 \times (0.75 - 0.25) \times 0.082 = 75.609 \text{ m}^3/\text{h} = 75609 \text{ L/h}$$

$$V(\text{Permeable Pavement}) = 75609 \times 10 \text{ minutos} \times \frac{1}{60} = 12601.500 \text{ L} \geq 12601.5 \text{ L}$$

Com o objectivo de esclarecer este cálculo, deve ser mencionado que a subtração apresentada acima se traduz na subtração entre o CE da categoria *Floor* pelo CE do *Permeable Pavement*.

5. Conclusões

Os dois temas principais deste artigo, Sustentabilidade e BIM, foram combinados para automatizar créditos LEED. Embora o *software* criado concentre-se nos créditos relacionados com o escoamento de águas pluviais, procurou-se generalizar esta metodologia a outros créditos que poderão ser facilmente automatizados. Com efeito, considera-se que os créditos mencionados neste artigo são dos mais difíceis de automatizar visto existirem créditos relacionados com a orientação do edifício, a proximidade a serviços, entre outros, podem ser determinados utilizando apenas a informação armazenada no modelo Revit.

A relevância do *software* foi também comprovada na exibição das suas capacidades no caso de estudo, e através dos factos referentes à importância das certificações de sustentabilidade e à sua respectiva complexidade e custos. Este programa responde ainda à falta de *software* técnico destinado ao público geral, seleccionando cuidadosamente a linguagem aplicada e *inputs* necessários. Além disso, graças à utilização de bases de dados flexíveis e simples de modificar, o *software* encontra-se também equipado para responder a considerações mais técnicas da indústria da AEC podendo, eventualmente, ser utilizado como ferramenta de *design* no apoio à tomada de decisões nas fases preliminares do projeto.

Referências

- [1] T. Ebert, N. Essig, and G. Hauser, Green Building Certification Systems: Assessing Sustainability-International System Comparison-Economic Impact of Certifications: Walter de Gruyter, 2011.
- [2] S. Vierra, "Green Building Standards and Certification Systems," Green Building

- Standards and Certification Systems. October, vol. 27, 2014.
- [3] A. Haapio and P. Viitaniemi, "A critical review of building environmental assessment tools," *Environmental impact assessment review*, vol. 28, pp. 469-482, 2008.
 - [4] M. M. Khasreen, P. F. Banfill, and G. F. Menzies, "Life-cycle assessment and the environmental impact of buildings: a review," *Sustainability*, vol. 1, pp. 674-701, 2009.
 - [5] T. Saraiva, M. G. d. Almeida, and L. Bragança, "Analysis and selection of indicators for a sustainability assessment method for school buildings based on SBTool-PT," 2015.
 - [6] U. S. G. B. C. USGBC, "An Introduction to the US Green Building Council and the LEED Green Building Rating System," PowerPoint presentation on the USGBC website, 2005.
 - [7] J. H. Scofield, "Efficacy of LEED-certification in reducing energy consumption and greenhouse gas emission for large New York City office buildings," *Energy and Buildings*, vol. 67, pp. 517-524, 2013.
 - [8] J. Cidell, "A political ecology of the built environment: LEED certification for green buildings," *Local Environment*, vol. 14, pp. 621-633, 2009.
 - [9] U. N. D. P. UNDP, *Human Development Report 2007/2008 - Fighting climate change: Human solidarity in a divided world*: Palgrave Macmillan, 2008.
 - [10] J. C. Berndtsson, "Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review," *Ecological Engineering*, vol. 36, pp. 351-360, 2010.
 - [11] H. W. Thurston, "Opportunity costs of residential best management practices for stormwater runoff control," *Journal of water resources planning and management*, vol. 132, pp. 89-96, 2006.
 - [12] C. L. Arnold Jr and C. J. Gibbons, "Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator," *Journal of the American planning Association*, vol. 62, pp. 243-258, 1996.
 - [13] H. Jia, Y. Lu, L. Y. Shaw, and Y. Chen, "Planning of LID-BMPs for urban runoff control: The case of Beijing Olympic Village," *Separation and Purification Technology*, vol. 84, pp. 112-119, 2012.
 - [14] U. S. G. B. C. USGBC. (2016, Apr, 2016). LEED Certification Fees. Available: <http://www.usgbc.org/cert-guide/fees>
 - [15] B. Forum, "Level of Development Specification," ed, 2015.
 - [16] L. P. N. Sanhudo, "BIM assessment for Building Sustainability and automatic Rainwater Runoff calculation," Master in Civil Engineering, Civil Engineering, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
 - [17] U. S. E. P. A. USEPA, "Technical Guidance on Implementing the Stormwater Runoff Requirements for Federal Projects under Section 438 of the Energy Independence and Security Act ", O. o. Water, Ed., ed, 2009.
 - [18] d. Portugal. Leis, "Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e de Drenagem de Águas Residuais - Decreto-lei n.º 23/95, Agosto 23," T. e. C. Ministério das Obras Públicas, Ed., ed. Diário da República I Série-B, 1995, pp. 5284-5319.

Parte III

BIM na construção

INTEGRAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM APLICADAS A UM CASO DE ESTUDO – COORDENAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO

Tiago Gouveia ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾, João Pedro Couto ⁽¹⁾

(1) Universidade do Minho, Guimarães

(2) BIMMS – Building Information Modeling & Management Solutions, Porto

Resumo

A adoção do BIM nos procedimentos e metodologias de trabalho tem vindo a abranger transversalmente todos os intervenientes na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO).

O BIM 4D adiciona ao BIM 3D paramétrico a variável do tempo sendo possível incorporar no modelo um cronograma de tempo que permite simular e analisar as diferentes fases de execução da construção. A abordagem 4D integra também a deteção de conflitos entre as especialidades.

O BIM 5D acrescenta ao BIM 4D a variável custo, permitindo aos profissionais obter uma estimativa do custo total do projeto e também estudar virtualmente as várias soluções possíveis de forma a baixar o custo global do projeto.

O artigo incide sobre o trabalho realizado no âmbito da dissertação de mestrado do primeiro autor, que passa pela análise 4D e 5D de um empreendimento e que tem sido realizada em regime de estágio na empresa BIMMS. É pretendido através da análise 4D resolver de forma rápida e eficaz os problemas encontrados em obra e também otimizar o cronograma das atividades (otimizar o tempo). A análise 5D permite quantificar analisar várias soluções na perspetiva de otimizar o preço global do empreendimento, além e permitir o seu controlo ao longo do tempo. O projeto envolve duas fases: a primeira é a modelação 3D e a segunda é a análise 4D e 5D com base na modelação efetuada na primeira fase.

1. Introdução

O *Building Information Modelling* (BIM) é atualmente reconhecido como um importante desenvolvimento na indústria da arquitetura, engenharia e construção, estando conotado com

uma mudança no processo de execução dos projetos das diferentes especialidades. No atual contexto nacional, já se podem encontrar casos práticos de aplicação desta metodologia em gabinetes de projeto, no entanto, alguns entraves têm contribuído para uma lenta adoção destes novos procedimentos de modo mais generalizado [1].

O BIM representa um novo paradigma dentro da AEC, que encoraja a integração de todas as partes interessadas no projeto. Tem o potencial de promover uma grande eficiência e harmonia entre os intervenientes, algo que no passado era uma adversidade [2].

Em Portugal, já se podem encontrar algumas equipas projetistas que adotam o BIM nas diversas fases e com diferentes níveis de detalhe e trabalho colaborativo. Os construtores, apesar de estarem atentos à sua adoção globalizada e conscientes da sua generalização a prazo, ainda o têm testado em aplicações pontuais e em casos de estudo localizados.

Além das óbvias vantagens da modelação 3D, a aplicação do BIM à gestão de obra, em particular nas fases de orçamentação e de controlo da obra propriamente dito, assume cada vez mais relevância.

O BIM 4D adiciona ao BIM 3D paramétrico a variável do tempo. Desta forma, é possível incorporar ao modelo 3D um cronograma de tempo que permite simular e analisar as diferentes fases de execução da construção. Segundo alguns autores [3], o BIM 4D integra a extração de quantidades, as quantidades por localização pretendida, os recursos, níveis de produtividade, e custos de trabalho que dão o respetivo valor ao “I” de *Information* (Informação) requerido do BIM.

O BIM 5D acrescenta ao BIM 4D a variável custo, permitindo ao projetista obter uma estimativa de custo da obra e também estudar virtualmente variadas soluções de forma a baixar o custo global do projeto. Segundo [4], e baseado num estudo da Stanford University Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE), o uso de metodologias BIM indica que os benefícios são: o uso da tecnologia BIM reduz até 40% as alterações no orçamento e reduz também até 80% o tempo para gerar uma estimativa de custo [5].

O planeamento e o orçamento devem estar suportados por um modelo inicial necessariamente mais simplificado que por sua vez deverá evoluir para um modelo mais detalhado para controlo de tempos e custos ao longo da obra.

A elaboração de um orçamento pode determinar o sucesso e/ou o fracasso de uma empresa construtora. Um orçamento errado acarreta imperfeições, falta de credibilidade e prejuízos a curto e médio prazo. O orçamento, sendo a base de fixação do preço de um determinado projeto e ou empreendimento, é uma das mais importantes áreas no negócio da construção civil [6]. A interligação entre as ferramentas de gestão habitualmente utilizadas pelos construtores e as ferramentas BIM deverá fornecer, quer à fase de orçamentação, quer à fase de gestão de obra, vantagens de integração com os restantes intervenientes.

A elaboração deste trabalho pretende focar-se na integração de ferramentas BIM na gestão de obra, mais concretamente, no custo e no tempo, permitindo que o BIM seja o suporte destas

ferramentas analíticas e favorecendo a sua integração com as aplicações de Business Intelligence das organizações [7].

2. BIM – Building Information Modeling

A descrição iniciática do que é o BIM já não parece ter cabimento hoje em dia, de qualquer modo, de forma a integrar os conceitos que apoiarão o trabalho aqui realizado, apresentam-se de seguida as subáreas do BIM que mais interessam à gestão, em particular ao controlo do tempo (4D) e do custo (5D).

2.1 BIM 4D

Um dos vetores de desenvolvimento nas ferramentas BIM tem sido a introdução da dimensão tempo nos seus modelos. Em termos da produção na construção, esta dimensão, pode ser vista na perspetiva de um planeamento de atividades. Através da integração deste tipo de funcionalidade num modelo tridimensional BIM, surge o conceito BIM 4D [8].

Os modelos 4D foram inicialmente desenvolvidos em meados da década de 80 por grandes organizações envolvidas em construções complexas de infraestruturas, energia e processo de projetos onde os atrasos ou erros tinham impacto nos custos. Como a indústria AEC adotou ferramentas 3D, as organizações de construção construíram modelos 4D, manualmente, e combinaram (snapshots) de cada fase ou período de tempo no projeto. As ferramentas personalizadas e comerciais desenvolveram-se em meados da década de 90, facilitando o processo pela criação manual de modelos 4D com links automáticos de geometrias 3D, entidades ou grupos de entidades para atividades da construção. O BIM permite aos utilizadores criar, rever e editar modelos 4D com mais frequência. [9]

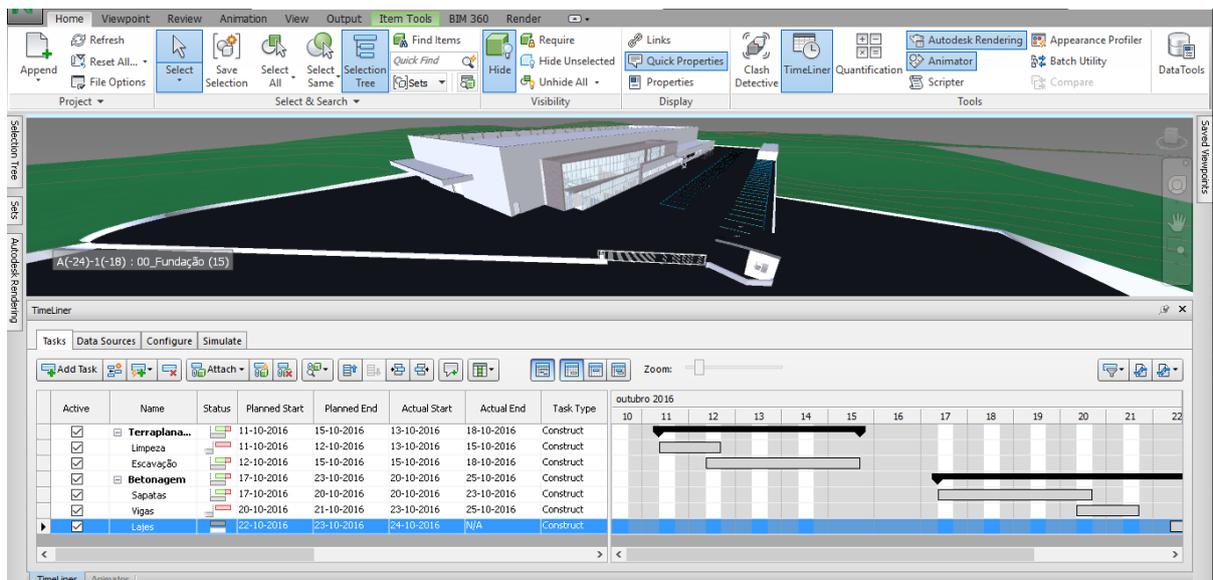


Figura 1: Modelo BIM 4D.

Os objetos no modelo devem ser agrupados de acordo com as fases de construção e ligados às respetivas atividades no calendário do projeto. Por exemplo, se uma plataforma de betão irá ser colocada em três fases de betonagem, então a plataforma deve ser detalhada em três secções, para que a sua sequência possa ser detalhada e ilustrada [9].

Os benefícios do uso da dimensão 4D nas ferramentas BIM são a melhor comunicação, o maior envolvimento das partes interessadas. A comparação de cronogramas e rastreio do progresso construtivo [9] além das simulações 4D, potencia o poder de decisão e de replaneamento bem como a análise e a deteção de conflitos [10].

2.2 BIM 5D

O BIM 5D significa o BIM 4D estendido com outra variável extra que é o custo quer da mão-de-obra quer dos outros componentes até à entrega de cada item. Com a ajuda do BIM 5D facilmente se compara o tempo de execução e o custo total de várias alternativas em termos de materiais a utilizar e tecnologia aplicada, o que pode promover a otimização do custo total do projeto [11].

Este custo pode ser estimado com base nos materiais, mão-de-obra, transportes, etc. Quanto maior for a informação incorporada em cada objeto mais fácil será o cálculo orçamental, mesmo que a meio do processo o arquiteto ou designer altere algum material [9].

A extração de quantidades é uma das tarefas chave no processo construtivo, sendo a base para decisões importantes, já que ao medir os elementos do edifício, essas quantidades, são usadas para estimar o seu custo [12].

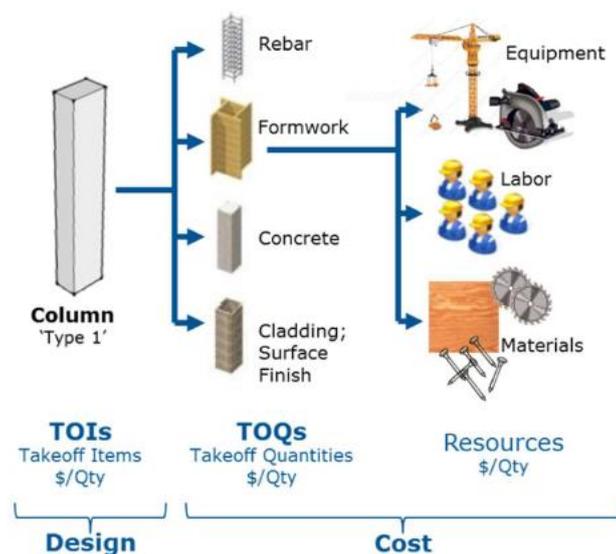


Figura 2: Processo BIM 5D [Trimble].

O uso de modelos 5D apresenta os seguintes benefícios: Redução do tempo despendido para extração de quantidades e orçamentação de semanas para minutos [13]; Atualização automática

do custo total do projeto quando ocorrem alterações no mesmo [14]; Maior controlo dos custos evitando as derrapagens de orçamento [15].

O sucesso de um projeto BIM 5D significa o crescimento da reputação da empresa, ajudando-a a obter futuros projetos. [14]

3. Caso de Estudo

3.1 Descrição geral dos trabalhos

O caso de estudo trata-se de uma ampliação de uma nave industrial. A intervenção passa por aumentar a área da zona de produção para o dobro e também intervir na zona de escritórios, com a construção de mais um piso e alteração e renovação do piso 0 existente.

O uso de ferramentas BIM pretende clarificar as alterações a fazer na nave, introduzindo uma perspectiva 3D combinada com a potencialidade de efetuar a extração de quantidades de forma quase instantânea e também integrar um diagrama Gantt, interligando cada elemento do mesmo com cada elemento do modelo, visando uma melhor compreensão do processo construtivo.

3.2 Modelação

A modelação implicou 3 fases: modelação da parte existente, demolição e modelação da ampliação a efetuar.

O processo de modelação iniciou-se pela parte estrutural. No processo inicial da modelação foi importante a importação de algumas plantas CAD, nomeadamente as que continham a grelha estrutural com a posição dos elementos. Toda a modelação estrutural foi efetuada com as plantas CAD como fundo, contribuindo para uma melhor interpretação do projeto e reduzindo os erros de modelação.

Quanto à modelação da parte arquitetónica, começou com um novo template Revit. A modelação teve novamente como base de suporte as plantas CAD existentes, e também a parte estrutural anteriormente modelada. O modelo estrutural foi carregado no novo template através de um link Revit. Uma parte importante no processo de importação do modelo estrutural é ter em atenção que ambos os modelos (arquitetónico e estrutural) têm o mesmo ponto de origem. Caso isso não aconteça, futuramente, quando exportamos os dois modelos para o *software* 4D/5D eles ficam desfasados.

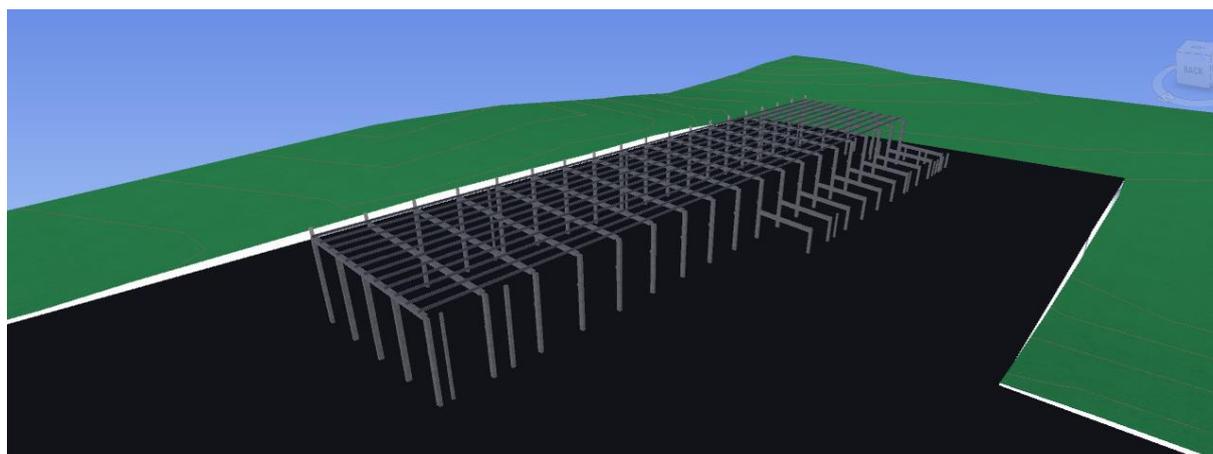


Figura 3: Parte Estrutural existente.

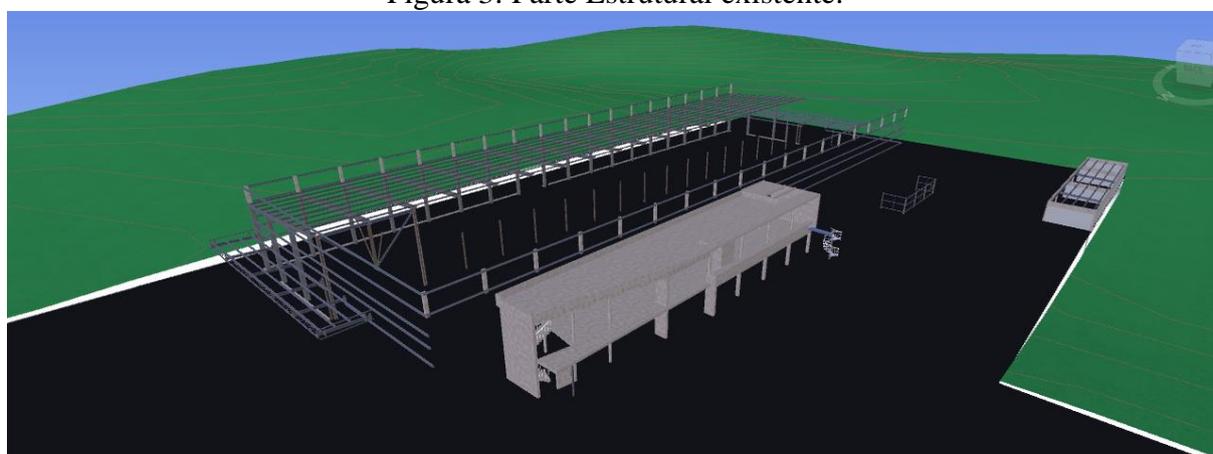


Figura 4: Parte Estrutural a construir.

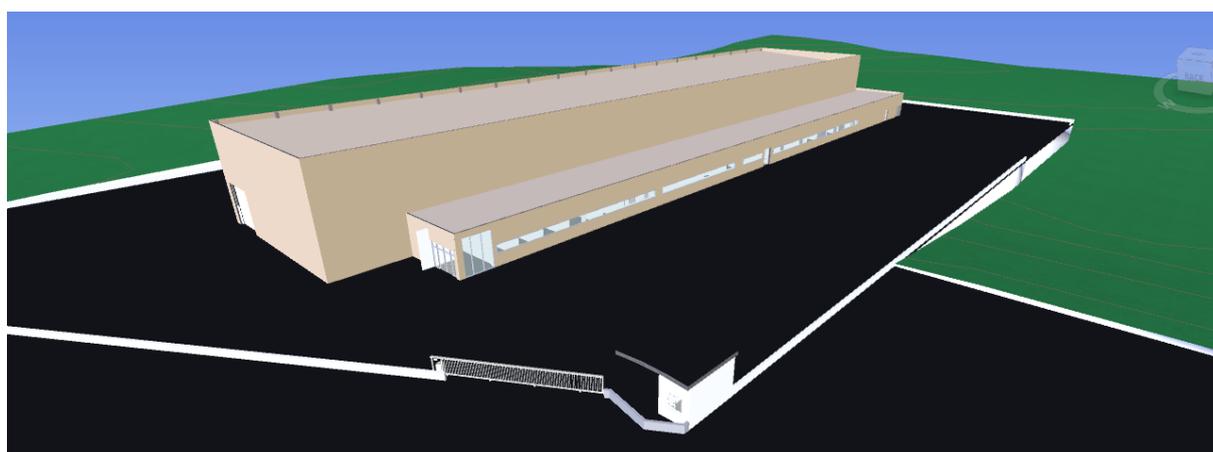


Figura 5: Parte Arquitectónica existente.

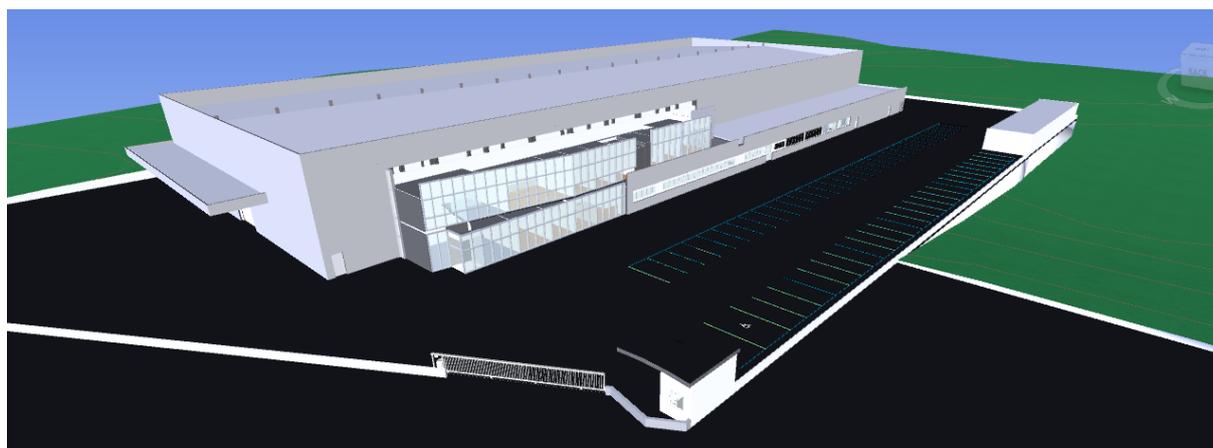


Figura 6: Parte Arquitectónica a construir.



Figura 7: Demolições Piso 0.

3.3 Extração de quantidades

A extração de quantidades foi efetuada recorrendo ao software Autodesk Navisworks Manage 2017. O uso de um software para extração de quantidades só é obviamente eficaz, se aliarmos uma boa modelação a uma análise de conflitos coerente.

As quantidades extraídas foram referentes às partes de nova construção (arquitetura e estrutura) e demolições. O posterior tratamento da extração foi efetuado no Microsoft Excel para uma melhor interface com o utilizador, recorrendo à função de exportação existente no Autodesk Navisworks.

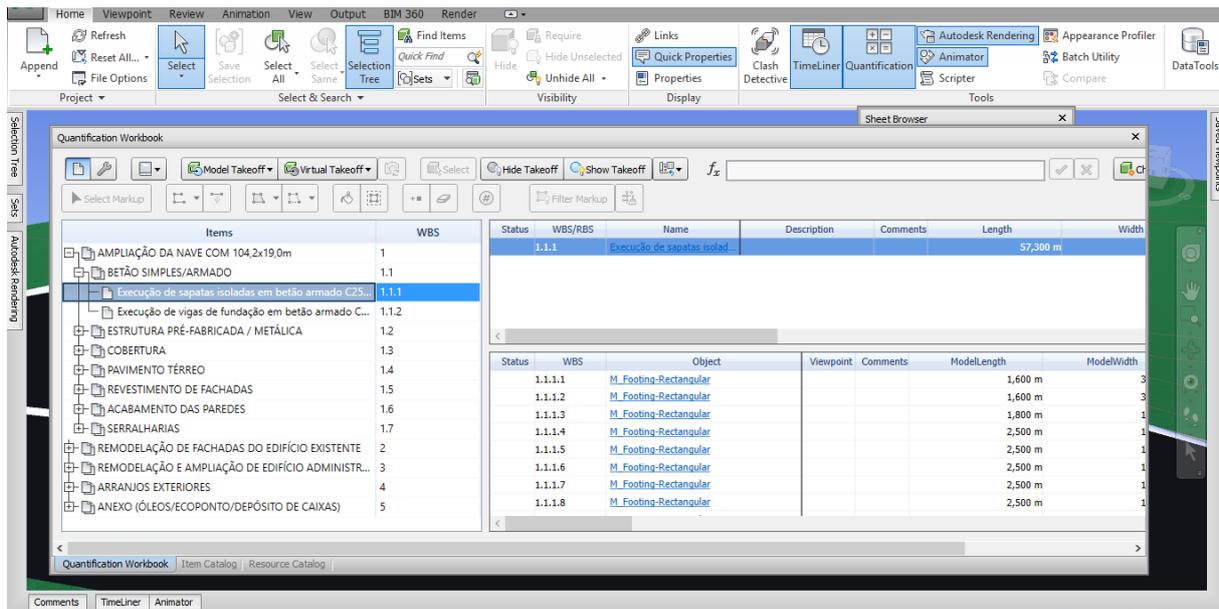


Figura 8: Extração de quantidades a partir do software Autodesk Navisworks Manage 2017.

A Figura 9 mostra as quantidades obtidas através do modelo Revit, e a comparação dessas mesmas quantidades com as do construtor. Como é possível observar, a percentagem de erro obtida é baixa, o que demonstra que o 4D e a introdução das ferramentas BIM para o processo de extração de quantidades podem ser substituídas pelo método tradicional. Como foi mencionado anteriormente, a fiabilidade dos números obtidos neste processo depende sempre de uma boa modelação.

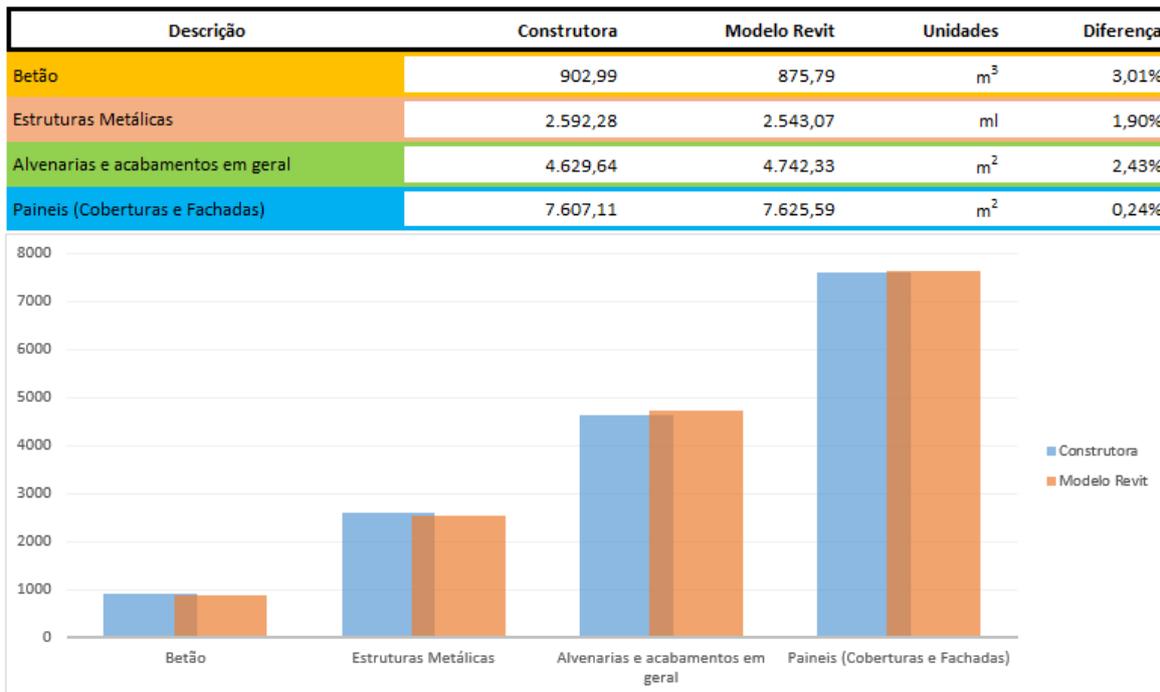


Figura 9: Quantidades obtidas pela construtora vs modelo Revit.

3.4 Detecção de conflitos

Foi realizada uma análise de conflitos entre as especialidades de arquitetura e estruturas. A tolerância desta análise teve como base uma tolerância de 3 cm, ou seja, todas as colisões entre 0 e 3 cm não foram consideradas. Isto leva à redução do número de colisões detetadas. Dependendo da análise, a tolerância de erro pode aumentar ou diminuir.

A maioria das colisões deram-se devido a erros de modelação. No tratamento e análise de cada colisão, o utilizador tem a capacidade de a aprovar ou rejeitar. Por fim poderá ser emitido um relatório final, em formato .XML, que é enviado para os responsáveis das especialidades, de forma a alterarem o modelo, eliminando o erro existente.

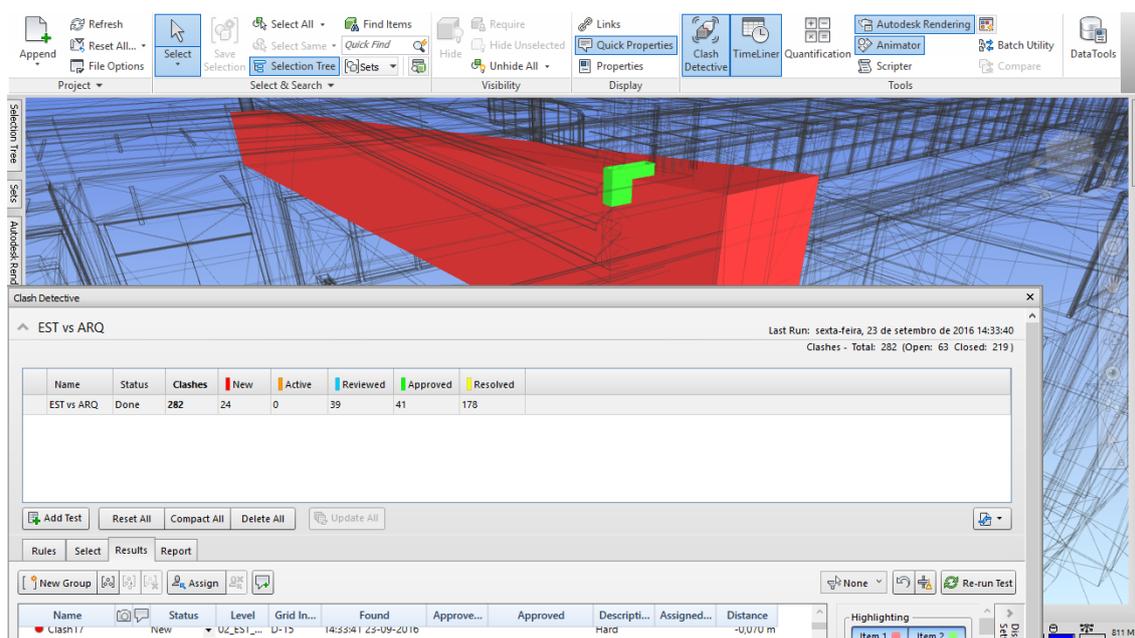


Figura 10: Exemplo de um conflito.

4. Conclusão

Nesta fase é possível concluir que o uso de ferramentas BIM oferece uma enorme vantagem aos profissionais da área da construção.

Em fase de projeto, é possível detetar antecipadamente conflitos, que no decorrer da obra iriam surgir. Este poder de os antever, traz ao construtor um acréscimo de segurança e eficácia, comparado aos que fazem dos métodos tradicionais a sua principal valência. Os profissionais que usam os métodos BIM como primeira escolha partem com avanço pelo facto de deterem esse conhecimento. Para efeitos de orçamentação, o uso destas ferramentas deve ser cuidadoso, pois erros de modelação podem conduzir a derrapagens orçamentais no decorrer da obra. Contudo, a extração de quantidades aliada a um modelo poderá ser uma mais-valia para um empreiteiro. Aliado a isso, temos o facto de poder percecionar tridimensionalmente o edifício, que por si só, já é uma enorme vantagem para ultrapassar obstáculos e ambiguidades relativas à obra.

Um modelo visualmente bonito, não é sinónimo de que seja útil. No começo de cada modelo deve-se definir qual a finalidade do mesmo. Desta forma, o uso de ferramentas BIM requer então profissionais capacitados, suportados por boas equipas de coordenação de projeto, sendo que esta fará a diferença entre um bom e um mau modelo.

Referências

- [1] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, "Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas," presented at the Encontro Nacional BETÃO ESTRUTURAL - BE2012, 2012.
- [2] S. Azhar, "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry," ed, 2011, pp. 241-252.
- [3] V. S. Trimble. (2016). 4D BIM. Available: <http://www.vicosoftware.com/what-is-4D-BIM/tabid/88206/>
- [4] S. Azhar, A. Nadeem, J. Y. N. Mok, and B. H. Y. Leung, "Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects," presented at the Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice, Karachi, Pakistan, 2008.
- [5] CIFE. (2007). Available: <http://cife.stanford.edu/>
- [6] I. Xavier, "Orçamento, plajenamento e custo de Obras," ed, 2008.
- [7] M. J. L. Venâncio, "Avaliação da Implementação de BIM - Building Information Modeling Em Portugal," FEUP, 2015.
- [8] A. Monteiro and J. P. Martins, "Linha de Balanço - Uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção," ed, 2011.
- [9] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors - 2nd Edition: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [10] A. U. Velasco, "Assessment of 4D BIM applications for project management functions," Master, University of Cantabria
Polytechnic University of Valencia, 2013.
- [11] I. Czmocha and A. Pekalaa, "Traditional Design versus BIM Based Design," Department of Structural Mechanics and Computer Aided Engineering, Faculty of Civil Engineering, Warsaw University of Technology Al. Armii Ludowej 16, 00-637 Warszawa, Poland, 2014.
- [12] A. Monteiro and J. P. Martins. (2013, A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design.
- [13] D. P. Smith, "BIM & the 5D Project Cost Manager," presented at the 27th IPMA World Congress, 2014.
- [14] H. Allison. (2010). 10 Reasons Why Project Managers Should Champion 5D BIM Software. Available: <http://www.vicosoftware.com/vico-blogs/guest-blogger/tabid/88454/bid/27701/10-Reasons-Why-Project-Managers-Should-Champion-5D-BIM-Software.aspx>
- [15] M. Azenha, J. C. Lino, and B. Caires, "Curso BIM: Interoperabilidade e regulamentação," ed, 2014.

APLICAÇÕES RECENTES NO USO DE BIM NA SEGURANÇA NA CONSTRUÇÃO

Alfredo Soeiro ⁽¹⁾, João Pedro Poças Martins ⁽¹⁾

(1) Universidade do Porto – FEUP, Porto

Resumo

A segurança na construção necessita de meios que permitam uma eficácia maior na prevenção de acidentes. As ferramentas empregues de modo corrente nas fases de concepção, projecto, contratação, construção e operação não têm sido suficientes para evitar acidentes. Numa sociedade desenvolvida é inaceitável que alguém tenha um acidente a trabalhar e muito menos que a consequência do acidente seja a morte. O BIM tem vindo a desenvolver-se rapidamente em termos de capacidades tecnológicas e de campo de aplicações. Como consequência tem havido investigação e aplicação explorando a adoção de ferramentas BIM para elevar o nível de prevenção de acidentes na construção. De facto a concentração e a gestão da informação usando as ferramentas BIM possibilitam outros níveis de apreciação das medidas de prevenção a seguir de modo a evitar acidentes na construção e de modo a avaliar os riscos existentes na construção ou na reabilitação. Este artigo propõe abordar os avanços constatados num âmbito internacional relativos à utilização de BIM envolvendo os aspectos seguintes:

- a) prevenção na fase de projeto (PTD, *Prevention Through Design*);
- b) simulação de fases da construção para análise de riscos;
- c) elaboração de contratos com garantias de níveis de prevenção;
- d) utilização de dispositivos móveis durante a execução da obra;
- e) uso de localizadores para controlo de operações;
- f) análise de medidas de prevenção durante as fases de operação e de manutenção.

1. Descrição Breve

A conjugação de BIM com a possibilidade de diminuir a ocorrência de acidentes na construção foi abordada por vários autores [1], [2], [3]. Apresenta-se neste artigo alguns casos de ensaios e de aplicações de programas BIM para prevenção de acidentes. No final tecem-se considerações sobre desenvolvimentos futuros, sobretudo com a intervenção dos intervenientes

nas actividades de coordenação e de prevenção de acidentes na construção. Os casos de estudo escolhidos abordam áreas diferentes do processo construtivo mas têm como característica comum a gestão de informação apoiada em ferramentas BIM. A gestão da informação de modo estruturado torna-se útil na prevenção por poder antecipar, registar ou evitar situações propiciadoras de causar acidentes na construção. De modo idêntico, esta necessidade de gerir a informação só beneficiará com a participação dos intervenientes directos na prevenção de acidentes como os coordenadores ou os técnicos de segurança. Outros intervenientes, como projectistas, fiscais, directores de obra, técnicos e agentes reguladores, são também relevantes na melhoria da qualidade da informação utilizada com as ferramentas BIM.

2. Casos de Estudo

2.1 Relatório Dodge Data & Analytics

O estudo de 2016 [4] aponta para benefícios nomeadamente no *Return on Investment* (ROI, Recompensa pelo investimento). Indica ainda que indústria tem abordado esta aplicação de modo superficial. O relatório indica ainda que nos EUA cerca de 70% das empresas de construção utilizam BIM mas não em fazem na área de prevenção de acidentes. As razões desta utilização prendem-se com diminuição de custos de mão de obra e de materiais, melhor planeamento com diminuição de prazos e oportunidades de fabrico fora do estaleiro.

Cerca de 43% das empresas que usam BIM realçam o benefício na prevenção de acidentes e na promoção dos níveis de segurança de operários e de equipamentos. Nalguns casos o uso de BIM permitiu lidar com obras complexas e tornarem-se mais competitivas elevando os níveis de segurança. Estes benefícios resultaram da identificação de riscos antes do início da obra. Nestes riscos incluem-se sobretudo a identificação de situações com conflitos de atividades e com regulamentação existente como as provenientes da OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*). A detecção de aberturas sem protecção ou de escadas sem guardas durante a construção foi fácil de identificar na análise 4D, combinando estrutura com o planeamento da obra. Outros exemplos de benefícios são os da simulação de escavações e de aterros com a identificação de cenários propícios a acidentes.

A combinação de utilização de dispositivos móveis, como *tablets*, *smartphones* ou outros dispositivos com GPS, podem beneficiar das ferramentas BIM na obra. Neste relatório só cerca de 12% das empresas que utilizam BIM é que fazem a combinação com os dispositivos móveis para identificação e resolução dos problemas em situações de risco.

Uma das vantagens apresentadas no relatório tem sido a utilização de ambientes de realidade virtual com apoio nos modelos BIM para formação dos trabalhadores e dos técnicos. Esta capacidade de simulação, além de permitir identificar riscos, fornece ambientes realísticos de obra para visualizar riscos e medidas preventivas mas sem ter necessidade de expor os intervenientes a perigos reais. Uma das particularidades foi apresentada pela Skanska que conseguiu introduzir nos modelos BIM o efeito da gravidade. Esta possibilidade permitiu identificar situações que apresentavam efeitos inesperados e condições que motivaram avaliações diferentes dos riscos. Estas análises permitiram verificar efeitos que tinham passado

despercebidos como queda de elementos e deslocações de elementos de prevenção que não estavam fisicamente ligados à estrutura ou ao edifício.

2.2 BIM for Zero Harm

Este caso de estudo é apresentado pela firma Balfour Beatty [5]. Apresenta as mudanças verificadas na empresa de construção na tentativa de usar ferramentas BIM com a prevenção de acidentes. Esta experiências foram desenvolvidas pelas equipas da empresa de *Loss Prevention* (Eliminação de perdas) e de *Technology and Process Development* (Desenvolvimento de tecnologia e de processos).

Neste caso, o objetivo é construir num ambiente sem riscos: *Zero Harm* (Danos Zero). A ideia é a mudar a cultura na empresa, criando condições para que a segurança da construção seja considerada quando se fazem escavações ou movimento de terras. Desenvolvendo modelos virtuais de escavações para a construção de modo a aplicar as normas em sessões de formação para técnicos e operários da empresa e para sub-empregados pode ser um modelo eficaz na prevenção de acidentes e na implementação de processos de construção mais seguros.

A capacidade de visualizar os processos e as práticas seguras usando modelos 3D ajudaram a Balfour Beatty a comunicar os meios e os métodos seguros para a realização de tarefas simples e complexas de modo a obter resultados de acordo com o objetivo *Zero Harm*.

Os riscos associados e os perigos envolvidos com operações como a abertura de valas e as escavações colocam questões como proteger património adjacente ou como evitar a exposição dos trabalhadores a um desmoronamento. Os modelos 3D permitem ao instrutor ensinar num ambiente virtual. Neste tipo de ambiente consegue-se simular práticas inseguras para análise dos formandos sem colocar em perigo esses mesmos formandos. Estas formações abrangem os directores de obra, técnicos, encarregados, técnicos de segurança e operários que podem visualizar as situações mais arriscadas e aprender a evitá-las. Esse resultado é obtido através de visualização, discussão e solução. As ferramentas utilizadas incluem Google Sktechup e Revit Autodesk.

2.3 Utilização de BIM 360

É uma ferramenta integrada de BIM que providencia algumas aplicações (apps) que podem ser usadas nos estaleiros [6]. Outras aplicações existentes de visualização como Tekla Bimsight ou Solibri Model Viewer poderão ter benefícios idênticos. O exemplo apresentado insere-se no grupo de aplicações disponíveis para equipamentos móveis que permitem, por exemplo, a verificação das medidas prescritas no plano de segurança relativas a cada local. Esta capacidade permite aplicações na área da implementação da prevenção de acidentes na construção. De facto a visualização do previsto nos planos de segurança para cada frente de trabalho e a confrontação com o executado permite aos responsáveis pelo controlo da execução encontrar não-conformidades em tempo real.

Esta capacidade de modelar o que se espera em cada local, requerido pelo plano de segurança e pelas medidas de prevenção, permite também a formação do pessoal e das equipas envolvidas. Esta formação e a sensibilização pode reduzir riscos de modo integrado com a produção. A

verificação dos equipamentos de segurança a utilizar em cada tarefa pode ser feita através do recurso de gestão do mapa de produção das medidas e dos equipamentos de segurança.

A aplicação permite que os operários, encarregados e outros operários consultem através dos dispositivos móveis as fichas de segurança associadas a cada tarefa ou função. As fichas de segurança são instrumentos valiosos para identificar riscos habituais em cada tarefa, para escolher as medidas preventivas relacionadas com cada um dos riscos e a empregar os equipamentos de proteção individual ou colectiva próprios para esses riscos. Ao contrário da utilização dos equipamentos móveis para verificação do plano de segurança verifica-se que o uso dos mesmos para análise das fichas de segurança tem uma componente mais genérica e fácil de utilizar por ser mais modular.

2.4 Hourigan

Neste caso de estudo a empresa de construção decidiu utilizar BIM para melhorar a segurança com três tipos de medidas [7]. A primeira medida tem a ver com a representação virtual do estaleiro e da obra para fazer participar os envolvidos na obra. O envolvimento passava pela contribuição dos operários e dos técnicos na identificação de riscos, na proposta de medidas de prevenção e da análise proposta para controlo da eficácia das medidas. Também servia para formar os construtores sobre as medidas de prevenção e sobre os processos de construção e equipamentos.

A segunda medida adoptada pela empresa foi baseada numa visualização 4D que permitia identificar riscos resultantes da montagem de estruturas provisórias, como andaimes ou guias, e de perigos resultantes da movimentação de cargas e de equipamentos. Esta análise sequencial das tarefas permitiu ensaios das medidas preventivas com indicação de custos e de eficácia.

A terceira medida permitiu uma análise detalhada de tarefas seleccionadas para análise em termos de prevenção de riscos. A análise de alternativas de execução para cada tarefa em termos de processos e de equipamentos possibilitou a consideração da hipótese que combinava nível de risco com custo e com preços. Estas simulações revelaram-se úteis para atingir os objectivos de nível de prevenção adequados.

2.5 Prevention through Design (PtD)

A prevenção de acidentes através do projecto (PtD) utilizando BIM na fase de projecto foi analisada estudada por vários investigadores [8]. Uma das vertentes dessa investigação baseia-se na aplicação das regras de segurança através de processos de decisão apoiados por ferramentas de inteligência artificial. De facto os algoritmos que analisam os modelos produzidos pelas ferramentas BIM tentam encontrar riscos potenciais de acidentes e propor medidas preventivas.

Tendo em atenção a combinação dos motores automáticos de decisão com as ferramentas BIM foi criada uma plataforma que propõe aos projectistas e aos construtores medidas preventivas para minimizar os riscos. A aplicação da plataforma foi feita para os riscos de queda que representam a causa para o maior número de acidentes mortais na construção.

O processo de decisão para proposta de medidas preventivas das quedas potenciais usando BIM tem quatro fases. A primeira consiste na parametrização das regras de escolha das medidas

preventivas. A segunda consiste na adaptação do modelo BIM para gerir a informação necessária para ser analisada pelas regras. A terceira fase é composta pela comparação das regras com a informação fornecida pelo modelo. A última fase serve para apresentar os resultados da aplicação das regras ao modelo BIM.

O último desenvolvimento consiste na combinação dos processos de decisão com simulação de modo a expandir a análise das consequências da aplicação das regras. A plataforma de análise baseou-se na ferramenta disponibilizada por TEKLA, nomeadamente TEKLA Structures [9]. A simulação das medidas obtidas pela verificação automática permitiu nesta plataforma verificar as implicações no planeamento da obra. Esta simulação melhorou o contexto de análise pelos gestores do projecto de modo a tomar as decisões que equilibrassem o impacto das medidas no custo e no prazo da obra.

2.6 Modelo MMPtD (Management Model for Prevention through Design) e BIM

O modelo MMPtD foi elaborado a partir duma tese de doutoramento que analisou as causas de cerca de 2000 acidentes mortais ou graves [10]. A análise permitiu identificar para cada uma das ocorrências quais as medidas que poderiam ter sido tomadas para eliminar ou aligeirar os riscos de acidentes. As conclusões mostraram que cerca de 60% dos acidentes poderiam ter sido evitados ou atenuados na fase antes do início da obra. Foram feitos guias de procedimentos para os intervenientes nas fases anteriores à abertura do estaleiro.

A interação com o modelo BIM da obra com as medidas preventivas elaboradas no modelo MMPtD foi feita através da associação com as diferentes tarefas que poderiam estar envolvidas em acidentes. Esta associação permite na fase de projecto e na fase de planeamento alertar os decisores para as medidas preventivas adequadas. A decisão de as empregar depende do julgamento dos projectistas ou dos directores de obra.

A vantagem da utilização do modelo em dispositivos móveis empregues pelos operários e pelos técnicos na obra permite abordar os riscos causadores de cerca de 40% dos acidentes na obra depois desta começar. Esta percentagem de 40% é obtida pelos resultados de vários estudos que estimam que cerca de 60% aos acidentes podem ser evitados com medidas tomadas antes do início da obra [11]. De facto cada responsável pela segurança ou encarregado ou técnico pode em qualquer altura e em qualquer tarefa verificar usando o modelo BIM, que contém a informação MMPtD, controlar os riscos presentes e as medidas preventivas existentes e as medidas sugeridas. As medidas deste guia para projeto foram especificadas de modo a poderem ser incluídas como regras em modelos de decisão automática envolvendo BIM. A implementação desta conjugação decorre com investigadores da Universidade de Recife, Brasil.

Esta possibilidade de relacionar o local de trabalho na obra com os riscos da tarefa a executar usando o modelo BIM que integra as recomendações do modelo MMPtD pode ser uma ferramenta poderosa na eliminação dos acidentes. Os trabalhadores são os maiores interessados em níveis adequados de segurança e são também os melhores defensores de níveis de prevenção aceitáveis. Por isso a possibilidade de poderem ser informados em tempo real através duma plataforma BIM, que incorpora o modelo MMPtD, dos riscos a evitar e das medidas preventivas respectivas poderá ser a estratégia ganhadora.

Esta associação da informação específica sobre riscos e acidentes com a tarefa a executar pode beneficiar da visualização da obra em modelo digital pelos executantes. Este benefício pode ainda se acrescido pela utilização de localizadores geoespaciais por cada operário. Esta geolocalização poderá ajudar os gestores de segurança a determinar se há necessidade de intervirem na execução da tarefa ao detectarem tarefas a serem executadas sem a existência de medidas preventivas adequadas. A intervenção dos responsáveis de segurança depois de alertados pelos geolocalizadores poderá ser substituída por programas de decisão que lidarão com os dados do modelo MMPtD, com as informações do BIM e com os registos das posições dos trabalhadores envolvidos.

3. Conclusões e desenvolvimentos futuros

A consideração destes casos de estudo leva a concluir que a utilização do modelo BIM para diminuir, ou eliminar, a sinistralidade nas obras pode ser uma ferramenta eficaz. Esta utilização pode variar entre a utilização na fase de preparação e de projecto até às operações de reparação e de manutenção.

O facto de haver estudos que mostram que cerca de 60% dos acidentes podem ser evitados antes das obras começarem leva a concluir que é nesta fase pré-obra que se deve concentrar o uso de ferramentas BIM para garantir medidas preventivas eficazes.

O projecto e a preparação da obra são propícios ao uso dos modelos BIM 3D, 4D ou 5D para evitar acidentes na obra. Durante a execução da obra também se apresentaram exemplos de como melhorar a prevenção de acidentes através da integração do modelo BIM com dispositivos móveis ou com geolocalizadores.

Um dos desenvolvimentos futuros poderá ser a utilização de “drones” que poderão constatar o desenvolvimento de cada tarefa e comunicar a um controlador, virtual ou real, os dados em tempo real. O modelo BIM poderá ser utilizado para comparar o modelo virtual desejável com o obra e verificar se há medidas preventivas que faltem. Poderá também servir para actualizar o modelo BIM virtual caso existam alterações ocorridas na obra devidas a intempéries, incidentes ou a má execução.

Outro desenvolvimento futuro na melhoria do uso de modelos BIM para melhorar a prevenção poderá ser a integração com dispositivos móveis que permitam um fluxo de informação em tempo real. Esta informação sobre os trabalhadores e sobre as tarefas poderá contribuir para uma avaliação integral da obra com possibilidade de intervenção atempada de modo a evitar acidentes.

Referências

- [1] K. Sulankiv, M. Kiviniemi, and T. Mäkelä. (2009, 03/05/2010). Building Information Model (BIM) promoting safety in the construction site process. SafetyBIM – research project 10/2007 – 2/2009. http://www.vtt.fi/files/projects/turvabim/turvabim_english.pdf, acedido em Setembro de 2016.
- [2] M. Kiviniemi, K. Sulankivi, K. Kahkonen, T. Makele, and M.-L. Merivirta, "BIM-based safety management and communication for building construction," VTT research notes, vol. 2597, 2011.
- [3] M. Yalcinkaya and V. Singh, "Patterns and trends in Building Information Modeling (BIM) research: A Latent Semantic Analysis," *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 68-80, 11// 2015. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.012>.
- [4] S. Jones, "Building a Safety Culture: Improving Safety and Health Management in the Construction Industry" Smart Market Report, Dodge Data and Analytics, Bedford, MA, USA, 2016.
- [5] Balfour Beatty, "Making BIM work for Balfour Beatty, Association for Project Safety, <https://www.aps.org.uk/sites/default/files/Balfour%20Beatty%20case%20study%20on%20BIM.pdf>, acedido em Setembro de 2016.
- [6] BIM360, "Autodesk BIM360", <http://bim360.com/>, acedido em Setembro de 2016.
- [7] Hourigan Construction, "3 Ways BIM Improves Safety in Construction", Blog, <http://www.houriganconstruction.com/hc-post/925/3-ways-bim-improves-safety-in-construction/>, acedido em Setembro de 2016.
- [8] S. Zhang, J. Teizer, J. Lee, C. Eastman, M. Venugopal, "Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules" *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 183-195, May 2012. doi: 10.1016/j.autcon.2012.05.006.
- [9] S. Zhang, J. Lee, M. Venugopal, J. Teizer, C.M. Eastman, Integrating BIM and safety: an automated rule-based checking system for safety planning and simulation, *Proceedings of CIB W099*, Washington D.C., August 24–26, 2011.
- [10] B. Vasconcelos, "Modelo de Prevenção de Acidentes na Fase de Concepção" Tese de Doutoramento, Porto, Universidade do Porto, Portugal, 2013.
- [11] M. Behm, Linking construction fatalities to the design for construction safety concept, *Safety Science*, Volume 43, Issue 8, pp. 589–611, October 2005, doi: 10.1016/j.ssci.2005.04.002.

UTILIZAÇÃO DO BIM NA GESTÃO DE SEGURANÇA DO ESTALEIRO DA CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DO MARÃO

Juliana Fernandes ⁽¹⁾, João Pedro Couto ⁽²⁾, Manuel Tender ⁽³⁾

(1) Mestranda MIEC UM, Braga

(2) Prof. Auxiliar UM, Braga

(3) PhD student UM, Braga

Resumo

A deficiente organização dos estaleiros é uma das causas dos acidentes de trabalho relativos à construção. A realização deste estudo foca-se na importância que um estaleiro gerido de uma forma otimizada, utilizando as tecnologias BIM, representa para um maior controlo da segurança no decorrer das tarefas de uma obra. Neste caso, relativo ao estaleiro da construção do túnel do Marão. Os objetivos principais consistiram em modelar o estaleiro da construção para assim obter uma visualização tridimensional do mesmo. Com esta visualização é possível manipular o estaleiro conforme as necessidades no decorrer da obra, ajudando a otimizar a ocupação do espaço, a gerir a circulação de viaturas e trabalhadores e gerir o armazenamento de materiais e equipamentos. Deste modo, é possível prever e prevenir eventuais comportamentos de risco que possam surgir, garantindo uma maior segurança aos intervenientes da empreitada. É importante referir que a modelação foi realizada após montagem dos estaleiros. Sendo assim, como resultado apresenta-se uma análise crítica relativamente à introdução do BIM na gestão dos estaleiros de construção, descrevendo a sua influência nos mesmos. Para o desenvolvimento deste trabalho recorreu-se à análise bibliográfica e ao estudo de caso.

1. Introdução

Building Information Modelling (BIM) é uma metodologia que está a ser implementada em Portugal. Apresenta-se como uma metodologia que obriga as pessoas a mudarem os hábitos, ou seja, abandonar métodos tradicionais para adotar métodos atuais e em desenvolvimento. Esta é uma das razões para os quais esta metodologia recebe resistência por parte dos trabalhadores, levando muitos profissionais a debater-se com a nova realidade e a deixar-se ultrapassar por quem já a conquistou.

A prática do BIM na gestão de estaleiros em Portugal é uma área em estudo que vem enaltecendo a importância da sua introdução no quotidiano da gestão dos estaleiros de construção.

Este estudo vem na sequência de uma dissertação em curso de Mestrado Integrado em Engenharia Civil pela Universidade do Minho. Tem como objetivo a gestão da segurança do estaleiro de construção do túnel do Marão, utilizando o BIM para minimização dos riscos associados às tarefas correntes nos estaleiros, contribuindo assim para o aumento da segurança e saúde de todos os intervenientes.

À construção de um túnel estão associados elevados riscos, muitos deles por atropelamento, que podem resultar em acidentes de trabalho graves, por isso, com este estudo pretende-se mostrar uma alternativa de gestão da segurança com vista a melhoria nesta área.

A ferramenta utilizada para a visualização 3D dos estaleiros de construção do túnel do Marão foi o *Autodesk Revit*. Foi utilizada esta ferramenta por haver um conhecimento prévio acerca do seu funcionamento. Com este método é possível a visualização em tempo real, desde que o modelo 3D esteja atualizado de forma a prevenir riscos futuros.

Relativamente a estudos concluídos sobre a implementação do BIM nos estaleiros, a informação encontrada não é nacional, contudo, noutros países da Europa, como a Inglaterra, Finlândia e Noruega, o BIM é já obrigatório para obras públicas. Para além destes, existem outros países em que já se faz do BIM um método obrigatório de trabalho.

Devido à necessidade de acompanhar o desenvolvimento do estaleiro a qualquer hora (mesmo no próprio estaleiro), tornou-se necessária a utilização de dispositivos informáticos portáteis, não só de um computador portátil, mas também de telemóveis ou *tablets*, que se tornaram ferramentas de trabalho e onde é possível uma visualização quando for necessário. Com isto, levantou-se a necessidade de estudar o impacto que estes dispositivos têm na saúde e segurança em estaleiros de construção [2]. O método utilizado para o desenvolvimento deste estudo foi a realização de inquéritos a funcionários do ramo da construção civil. Concluiu-se que o uso dos dispositivos móveis pode criar riscos na segurança e saúde dos utilizadores; contudo, os profissionais da construção concordaram que estes riscos podem ser gerados devido à sua utilização inadequada que pode conduzir à exposição ao perigo. Ficou também explícito que os resultados deste estudo vão dar a conhecer os potenciais perigos no uso dos dispositivos e ajudar a tomar medidas práticas para os combater, enquanto aumentam a produtividade, sem comprometer a segurança e saúde de quem os utiliza.

Para comprovar que utilizando o BIM se pode, efetivamente, otimizar os espaços dos estaleiros, Srinath S. Kumar e Jack C. P. Cheng [4] elaboraram um estudo em que criaram um modelo de estaleiro dinâmico. A partir daqui estudaram várias variáveis sendo uma delas o cálculo de quantas e quais as instalações que foram necessárias para colocar no estaleiro, assim como, o espaço que foi ocupado. Outra variável estudada foi a quantificação do espaço interior do edifício a construir para armazenamento de materiais respeitando certas regras de segurança. Para além disso, também foi otimizada a distância a percorrer entre instalações tendo em conta os obstáculos temporários e os equipamentos presentes no estaleiro. Com este estudo

concluíram que com o uso das ferramentas BIM é possível poupar tempo e recursos uma vez que todo o processo foi feito devido a cálculo automático.

Tao Cheng e Jochen Teizer [1] realizaram um estudo com o objetivo de relacionar a tecnologia de visualização e recolha de dados em tempo real para uma construção segura. Para tal, realizaram várias experiências para testar a aplicação de recolha de dados e tecnologia de visualização em tempo real em operações de construção. As experiências concentraram-se nas relações de proximidade entre trabalhadores e equipamentos como a simulação de violações na segurança. Centraram-se, também, em situações que podem ocorrer em ambientes de trabalho fechados e ao ar livre. Por exemplo, um trabalhador enfrenta o perigo de andar debaixo de uma carga elevada (Figura 1). Os resultados do estudo mostram que a informação relacionada tanto com a segurança como com as atividades de construção em estaleiros podem ser automaticamente monitorizadas e visualizadas em tempo real, concluindo que podem oferecer benefícios como a sensibilização para os perigos de cada situação, que podem ser visualizados e monitorizados quer no estaleiro de construção, quer noutra localização fora do mesmo.

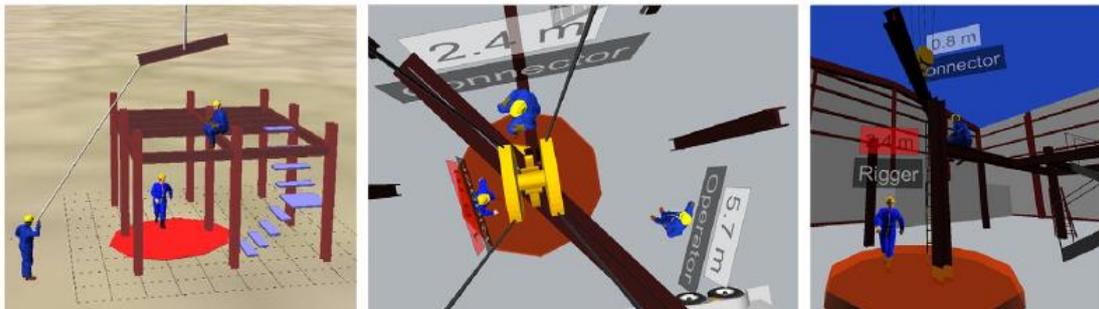


Figura 1: Trabalhadores debaixo de uma carga elevada (Fonte: [1])

Relativamente à utilização do BIM, baseado na verificação automática da segurança em planeamento da construção, Kristiina Sulankivi *et al.* [5] realizou um estudo com o objetivo de investigar como os problemas de segurança que estão, inconscientemente, estabelecidos no cronograma das tarefas de construção podem ser, de uma forma prévia, identificados automaticamente na fase de planeamento de um projeto. A metodologia adotada baseou-se num estudo de caso de um projeto de um edifício residencial situado na Finlândia em que a intenção foi identificar automaticamente as condições dinâmicas em que o edifício foi construído, identificar a sua localização num espaço 3D virtual e, de um modo interativo ou automático, fornecer soluções e visualizações de sistemas de proteção para mitigar os perigos identificados. Como resultado deste estudo, mostrou-se a utilidade da abordagem proposta na deteção e visualização de potenciais riscos de queda, em particular, durante a fase de planeamento de obra. Para além disso, recomendou-se que as estruturas temporárias e os métodos de proteção de segurança estejam incluídos durante o planeamento do projeto para melhorar a compreensão da segurança e a comunicação do mesmo. Este estudo demonstrou a viabilidade da integração da segurança no BIM como um método eficaz e prático para detetar e eliminar riscos relacionados com quedas.

Sendo a segurança uma das principais preocupações da indústria da construção, é importante estudar novos métodos que ajudem a minimizar fatores de risco presentes nesta área, por isso,

Salman Azhar e Alex Behringer [6] desenvolveram um estudo com o objetivo de investigar a eficácia das tecnologias BIM no desenvolvimento e implementação de um plano de segurança num estaleiro de construção. Para tal, recorreu-se a um caso de estudo onde foram realizadas simulações de planeamento 4D e desenhos em 3D para a identificação de perigos. Com este estudo obtiveram-se vários resultados, sendo que um deles concluiu que as ferramentas 4D e 3D são mais eficientes no planeamento e na gestão da segurança, em comparação com os desenhos 2D, por permitir simular as condições reais de trabalho (Figura 2). Para melhorar os métodos atuais concluiu-se que as tecnologias BIM podem ser utilizadas como novas ferramentas de planeamento de segurança colaborativa, devido ao facto de, através dos modelos BIM, projetistas, engenheiros e construtores poderem tomar medidas de proteção eficazes na fase de planeamento do projeto para eliminar ou minimizar os perigos nos estaleiros de construção durante a fase de obra. Concluiu-se que o BIM pode também ser usado durante uma investigação de acidente, por ser possível recriar a sequência de acontecimentos que o antecederam. Outra conclusão obtida diz respeito ao comportamento humano, em que este não pode ser mudado rapidamente. Pode concluir-se que as tecnologias BIM não devem ser consideradas como um método de resolução de todos os problemas de segurança e saúde nos estaleiros de construção, apenas vão ajudar a melhorar a situação de segurança, no entanto, a melhoria global poderá ser visível em várias décadas.



Figura 2: Simulação de escavação 4D retratando instalações de estacas-pranchas e tubo (Fonte: [6])

M. Natrop, Mahdavi A. e Martens B. [3] realizaram um estudo acerca do BIM nos estaleiros de construção, referindo-se à informação presente nos desenhos. O propósito do estudo é relativo à informação que aparece nos desenhos ou modelos e que não é necessária para desempenhar uma determinada tarefa, ou então, a informação que deveria estar presente e se encontra oculta. O objetivo do estudo foi gerar desenhos com informação que é apenas necessária para desempenhar uma determinada tarefa com recurso a um caso prático. Concluíram que fornecer desenhos com informação estritamente necessária para o desenvolvimento de uma tarefa específica a um trabalhador evita distrações com outros dados, aumenta a qualidade dos trabalhos e reduz a probabilidade de erros. Por último, concluíram que é essencial uma boa comunicação entre projetistas e trabalhadores presentes nos estaleiros.

2. Metodologia de estudo

A metodologia adotada centrou-se numa pesquisa relativa ao BIM nos estaleiros de construção e num estudo de caso referente à construção do túnel do Marão, de onde resultou a modelação dos estaleiros da obra de forma a perceber melhor o seu funcionamento e que, utilizando a visualização 3D, se pode prevenir riscos associados às tarefas da construção.

Para iniciar o modelo do estaleiro começou por se importar o ficheiro do formato *dwg* para o *Autodesk Revit* para se obter o terreno topográfico em 3D. De seguida, com base nos desenhos 2D disponibilizados, modelaram-se todas as instalações presentes no estaleiro. Recorrendo às famílias de objetos, carregaram-se máquinas, veículos e pessoas para conseguir obter uma perceção do espaço e mostrar que a circulação deles influencia o funcionamento do estaleiro.

3. Gestão da segurança dos estaleiros da construção

Os estaleiros de construção do túnel do Marão foram implementados em zonas ambiental e socialmente delicadas. Devido ao declive acentuado da zona, como demonstra a figura 3, juntamente com a permanente presença de grandes quantidades de água, poderia resultar em deslizamentos de terras conduzindo a soterramentos ou esmagamentos. Outro problema surgiu no acesso ao estaleiro nascente por se encontrar localizado junto a habitações.

Os estaleiros não eram de grandes dimensões, pelo contrário, pela obra em si, as dimensões eram bastante reduzidas. Com isto surgiram dificuldades na gestão do estaleiro, nomeadamente na gestão do espaço, por este ser exíguo para caminhos pedonais e para a circulação de veículos e pessoas, sendo necessário ter em consideração a conjugação de todos os fatores. Ainda em relação ao espaço, este também era pequeno para a montagem da oficina mecânica, de eletricidade, para as instalações do refeitório e vestiários e limitado para o estacionamento. Outras dificuldades encontradas são relativas à acumulação de lamas, que dificultaram o trânsito, e o levantamento de poeiras, que afetaram todos os utentes do estaleiro. Para além disso, outra consideração a ter foi o armazenamento de combustíveis em local protegido que poderia provocar danos para o ambiente.

Face ao prazo estabelecido, o estaleiro teve necessidade de suportar diversas tarefas em simultâneo, nomeadamente, atividades de escavação, revestimentos definitivos e infraestruturas enterradas, tendo sido um acontecimento único em Portugal. Devido a este último foram vários os fatores considerados para controlar o estaleiro uma vez que estiveram presentes grandes quantidades de equipamentos e recursos humanos.

Todos estes entraves provocaram situações de risco. Com a utilização do BIM na gestão da segurança nos estaleiros é possível um maior controlo dos mesmos, uma vez que com a visualização 3D e em tempo real é possível manipular o estaleiro e ver a melhor forma de conjugar todas as situações acima descritas evitando comportamentos de risco. Com o uso deste método é possível prever e prevenir atempadamente os perigos, conduzindo a uma gestão otimizada da segurança e saúde nos estaleiros.



Figura 3: Estaleiro nascente e ponte respetivamente. (Fonte: Teixeira Duarte).

Como se pode constatar, foram vários os fatores considerados para gerir a segurança do estaleiro da construção do túnel, tarefa esta bem-sucedida pois não houve ocorrência de acidentes graves.

4. Modelo do estaleiro

Embora esta modelação tenha ocorrido após a montagem do estaleiro, não deixa de ser vantajoso elaborar uma simulação 3D para diferenciar o método de gestão do estaleiro utilizado relativamente ao estudado neste trabalho. A figura 4 apresenta uma perspetiva geral do estaleiro nascente no local onde estava inserido.

Uma das vantagens desta metodologia é ser possível o reconhecimento mais eficaz do espaço antes de se colocarem os equipamentos, maquinarias e instalações necessárias para o decorrer dos trabalhos. Para uma melhor perceção da área do estaleiro em estudo apresentam-se as figuras 5 e 6, relativas ao modelo, de maneira a ser possível idealizar a distribuição das instalações e equipamentos. Para simplificação apenas estão apresentadas imagens do modelo do estaleiro nascente.

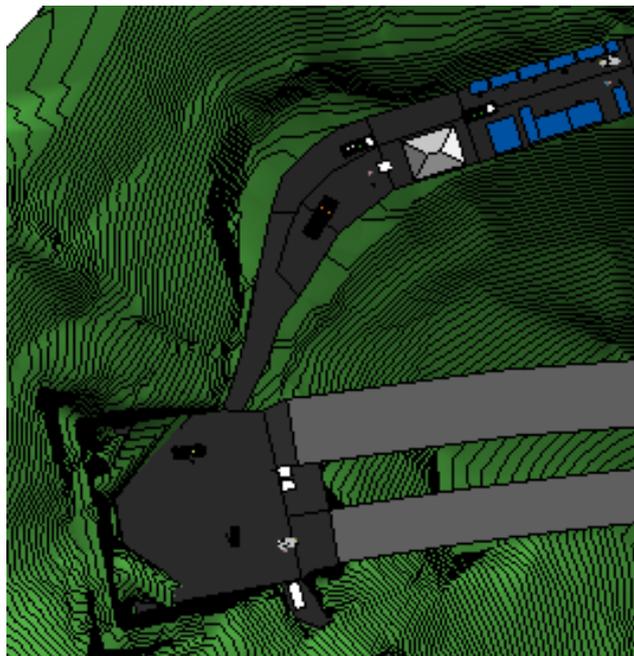


Figura 4: Perspetiva geral do modelo do estaleiro nascente.

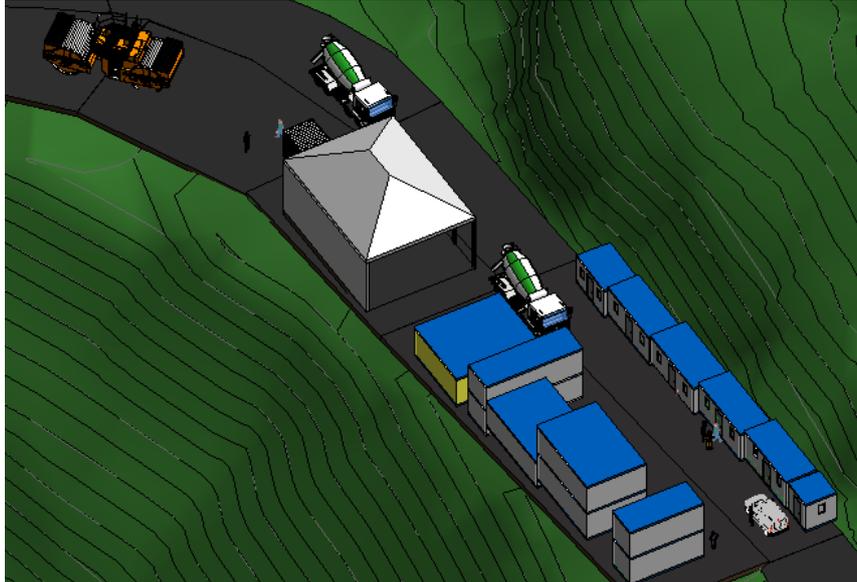


Figura 5: Distribuição das instalações e equipamentos do estaleiro nascente.



Figura 6: Distribuição das instalações e equipamentos do estaleiro nascente.

4.1 Análise de resultados e discussão

Como se pode verificar nas figuras 5 e 6, o estaleiro era bastante limitado em relação ao espaço, o que poderia provocar situações de risco na conjugação da circulação de máquinas e pessoas principalmente na zona onde estão montadas as instalações. Como era necessário precaução acrescida nestas situações diariamente, a exposição ao perigo era elevada, aumentando a probabilidade de ocorrência de fatalidades.

Os caminhos no estaleiro eram bastante estreitos, por isso, seria importante poder antever como se cruzariam os veículos de modo a não perturbar os trabalhos nem criar perigos. Neste modelo, foi criada uma simulação referente a esta situação, onde também, se encontram trabalhadores nas mediações (figura 7 e 8). Com a realização de simulações como esta, é possível visualizar

atempadamente como seria o cruzamento de veículos entre si e também entre veículos e pessoas nos estaleiros. Para cada situação, tornar-se-ia possível o estudo prévio de medidas e soluções a tomar para estes casos e a elaboração prévia de medidas de segurança, evitando decisões precipitadas no local. A gestão deste tipo de situações vem minimizar os perigos a todos os intervenientes, aumentando a segurança dos mesmos. Posto isto, verifica-se a necessidade de uma gestão cuidada e otimizada relativamente a este assunto.

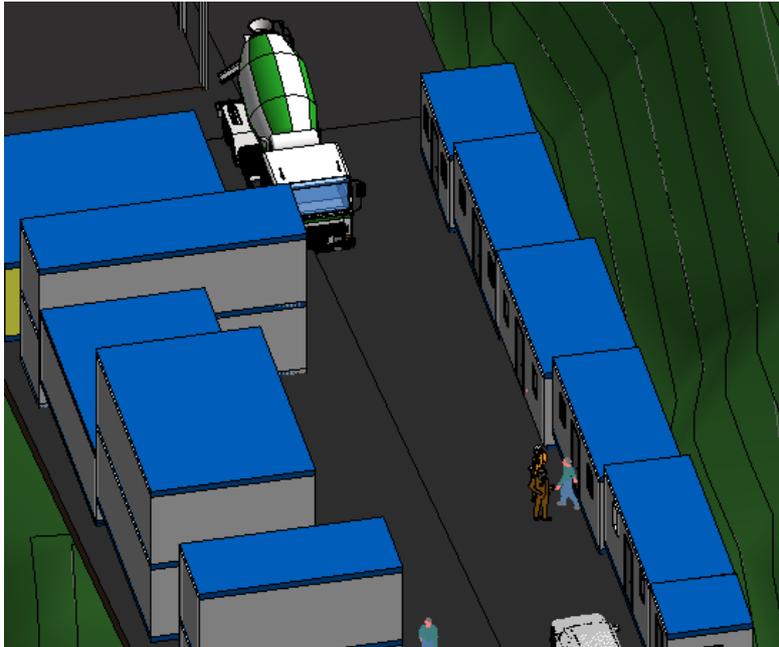


Figura 7: Circulação de máquinas e pessoas em simultâneo.

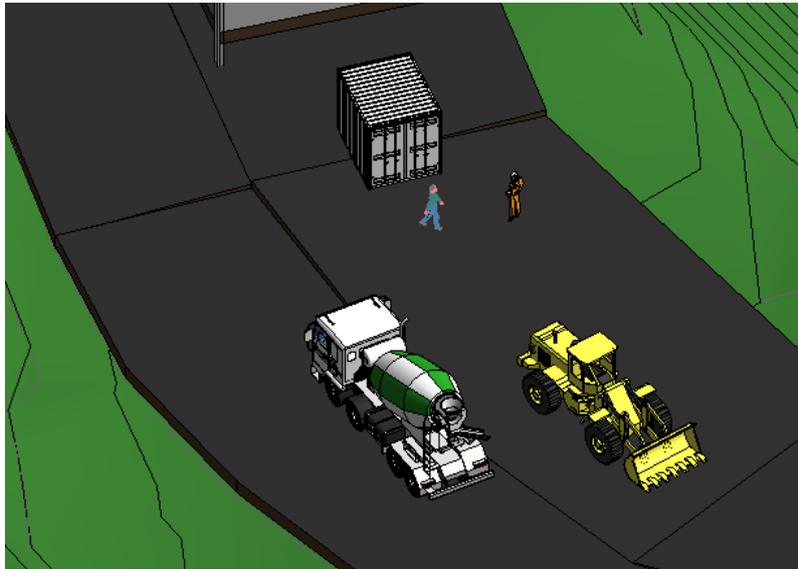


Figura 8: Cruzamento entre veículos.

Outros resultados que se podem retirar deste estudo são relativos aos equipamentos presentes nos estaleiros. Com um alinhamento correto das tarefas de determinada obra e com um modelo

tridimensional é possível colocar em estaleiro apenas os recursos de que essa tarefa careça, podendo visualizar-se a disposição dos mesmos oportunamente. Assim, evita-se o congestionamento nos estaleiros e previne-se eventuais situações de risco, aumentando, naturalmente, a segurança. Daqui pode, também, inferir-se que os custos podem ser mais controlados evitando derrapagens nos orçamentos.

Relativamente à simultaneidade das tarefas, as soluções e os mecanismos que se adotam para estas situações podem resultar numa incompatibilidade que pode ser detetada só no momento de execução conduzindo a desperdício de tempo e recursos, aumentando os custos. Com a metodologia BIM estes problemas podem ser evitados uma vez que é possível prever se a execução de uma determinada tarefa é compatível com outra, prevenindo os perigos e otimizando os custos das tarefas. Como há a possibilidade de simular as diferentes tarefas de uma obra em 3D é também possível visualizar se a sua conjugação é favorável.

Os métodos convencionais de gestão de estaleiros são morosos, dispendiosos e com mais probabilidades de erros humanos. Muitas vezes a informação não passa através dos vários intervenientes de um projeto, perdendo-se no meio de toda a documentação.

Para que tal não aconteça, a informação pode ser partilhada entre todos os intervenientes na obra, nomeadamente, dono de obra, coordenadores de segurança em obra e em projeto, projetistas e mesmo os próprios operários. A visualização é simples e informatizada, evitando os desenhos de grandes dimensões. Com esta partilha de informação é possível alertar todos os trabalhadores para a sua exposição aos riscos das obras. Para além disso, apresenta a vantagem de se poderem esclarecer dúvidas de execução e planeamento *in situ* evitando perdas de tempo que em obra podem ser valiosas.

É legítimo afirmar que com um ambiente de trabalho seguro os trabalhadores sentem-se mais confiantes para desempenhar as suas tarefas. Esta metodologia vem contribuir para oferecer essa confiança, uma vez que tudo é planeado e revisto atempadamente e atualizado automaticamente face às circunstâncias e condicionalismos concretos da obra, minimizando qualquer comportamento arriscado que possa surgir.

5. Conclusões

O bom planeamento de qualquer projeto é crucial para o desenvolvimento do mesmo, por isso, conclui-se com este estudo, que para obras de elevada envergadura e complexidade como foi a do túnel do Marão, o BIM apresenta-se como essencial na gestão dos estaleiros.

Relativamente à circulação de veículos e pessoas em simultâneo, concluiu-se que é possível planear como agir nestas situações, alertando todos os intervenientes para possíveis perigos. O estudo desta vertente tornou-se importante porque os atropelamentos são uma das principais causas de acidentes em estaleiros de construção. Para o caso desta obra em concreto, a investigação deste tema era relevante devido ao espaço do estaleiro ser limitado para caminhos pedonais e também pela ocorrência de conflitos entre veículos e peões que se tornou uma grande dificuldade na gestão do estaleiro.

Facilmente se pode inferir - e os resultados de vários estudos fundamentam isso mesmo - que as metodologias BIM são ideais para a otimização e controlo de tarefas das obras, possibilitando consequentemente uma melhor gestão e um maior controlo da obra e do estaleiro, especialmente se estes, em consequência do reduzido espaço disponível, primarem por uma densidade de constituintes significativa e potencializadora de conflitos e impactos na produtividade.

Outro fator importante na gestão da segurança utilizando o BIM é referente à tomada de decisões. A visualização 3D do estaleiro evita a tomada de decisões precipitadas relativas a uma determinada situação, impedindo a ocorrência de erros e aumentando a segurança nos estaleiros.

De uma forma geral, a conjugação de todas as áreas que foram estudadas neste trabalho contribui para uma gestão da segurança mais eficiente, uma vez que fornece a possibilidade de um maior controlo das movimentações do estaleiro, e através da escolha das melhores soluções de prevenção, evita comportamentos de risco.

Concluiu-se ainda que o ideal na gestão da segurança é a mesma ter início na fase de projeto, contando com a participação ativa de todos os intervenientes, situação que a utilização do BIM poderá ajudar a potenciar.

Pode assim concluir-se que o BIM é importante para que se prossiga a imposição de uma cultura de segurança transversal e integrada em todos os projetos de construção.

Referências

- [1] Cheng, T., & Teizer, J. (2013). "Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications," in *Automation in Construction*, vol. 34, pp. 3–15, November 2012. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.017>
- [2] Shah, R., & Edwards, J. (2016). "Investigation of health and safety impact from the “ Site BIM ” tools in the live construction sites", Vol. 6, No.2, June 2016. <http://dx.doi.org/10.6106/JCEPM.2016.6.2.001>
- [3] Léon A.H.M., & Natrop, M. (2015). "BIM on the construction site: providing information on task specific drawings," Netherlands organization for applied scientific research TNO & Solidu, 20 (November 2014), 97–106.
- [4] Kumar, S. S., & Cheng, J. C. P. (2015). "A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites," in *Automation in Construction*, vol. 59, pp. 24–37, August 2015. <http://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.008>
- [5] Sulankivi, K., Zhang, S., Teizer, J., Charles, M., Kiviniemi, M., Romo, I., & Granholm, L. (n.d.). "Utilization of BIM-based Automated Safety Checking in Construction Planning," Technical Research Center of Finland, School of Civil and Environment Engineering, Georgia Institute of Technology, Georgia Institute of Technology, Skanska Finland & Tekla Finland, 2013.
- [6] Azhar, S., Ph, D., & Behringer, A., B.S (2013). "A BIM-based Approach for Communicating and Implementing a Construction Site Safety Plan," Auburn University Auburn, Alabama & The Whiting-Turner Contracting Company Orlando, Florida, 2013.

UTILIZAÇÃO DO BIM 4D E 5D ENQUANTO METODOLOGIA AVANÇADA PARA O PLANEAMENTO, PREPARAÇÃO E MONITORIZAÇÃO DE OBRAS

Diogo Coelho ⁽¹⁾, João Pedro Couto ⁽²⁾, Dinis Leitão ⁽³⁾, João Morgado ⁽⁴⁾

(1) Universidade do Minho, Guimarães

(2) Universidade do Minho, Guimarães

(3) Universidade do Minho, Guimarães

(4) Construções Gabriel A.S. Couto, S.A., Vila Nova de Famalicão

Resumo

O estudo apresentado enquadra-se na dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil realizada em parceria com a empresa CONSTRUÇÕES GABRIEL A.S. COUTO, S.A, possibilitando ao autor estar envolvido no Projeto Júpiter da SAKTHI Portugal SP21.

O desenvolvimento deste artigo passa pela demonstração das vantagens da implementação das metodologias BIM no setor da construção. Contudo, terá maior incidência no BIM 4D e 5D, os quais permitem evitar atrasos no cumprimento de prazos e precaver possíveis derrapagens orçamentais. Primeiramente, proceder-se-á à avaliação da qualidade dos modelos recebidos, avaliando as incompatibilidades existentes entre os modelos. Posteriormente proceder-se-á à realização do 4D sendo necessário efetuar-se a monitorização da obra através do levantamento do que vai sendo executado ao longo de todo o período de construção. Contudo, dadas as características do *software* utilizado, proceder-se-á primeiramente à elaboração do BIM 5D e só depois o BIM 4D, sendo que nesta fase é necessário associar a todas as tarefas do mapa de trabalhos fornecido pela empresa, os recursos necessários à realização das mesmas. Já numa fase final será possível obter-se um conjunto de documentos, nomeadamente, o orçamento e o plano de trabalhos, os quais serão comparados com os mesmos documentos elaborados pela empresa através da metodologia tradicional.

1. Introdução

Durante muitos anos, o setor da construção foi um dos setores responsáveis pela evolução tecnológica. Contudo, esse estatuto foi-se perdendo com o passar dos anos, por consequência da crise económica que afetou este setor. Tratando-se da indústria mais afetado pela crise, foi importante encontrar e estudar novos métodos de trabalho por forma a reverter toda esta situação. Desta forma, têm estudados técnicas e formas de aumentar a competitividade,

melhorar o desempenho, aumentar a satisfação do cliente e aumentar os lucros [1]. A utilização de tecnologias de informação na indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) tem sido apontada como uma das opções para reduzir os desperdícios e ineficiências característicos do setor da construção [2]. De tal forma, esta indústria encontra-se numa fase de mudanças e desafios, destacando-se o crescimento na partilha de informação, a necessidade da implementação apropriada de práticas sustentáveis, as preocupações energéticas e a melhoria da produtividade através de práticas LEAN, optando-se por soluções de automatização e modernização. Contudo, nem sempre todos os desafios foram superados como era espetável devido aos projetos serem cada vez mais exigentes no que diz respeito aos custos e prazos da execução da obra [3]. Desta forma, torna-se imprescindível a colaboração eficiente dos vários intervenientes do projeto, isto é, desde os projetistas, proprietários, empreiteiros, subempreiteiros e outros participantes. Consequentemente, as tecnologias da informação e comunicação (TIC) têm vindo a crescer de forma exponencial nos últimos tempos, tentando oferecer as ferramentas certas para satisfazer as novas exigências do mercado [1].

O *Building Information Modelling* (BIM) é uma das tendências que têm vindo a ser introduzida no setor da construção sendo que passa, primeiramente, pela construção virtual do edifício num modelo digital, conhecido como BIM 3D. Esse modelo deve ser acompanhado com o maior número de informação possível, nomeadamente, geometria, relações espaciais, informação geográfica, quantidades e características dos elementos de construção, estimativa de custos, stock de materiais e cronograma de projeto [4]. Torna-se importante referir que esta metodologia apenas tira verdadeiros benefícios quando aplicado à totalidade do projeto, ou seja, não deve ficar-se apenas pela representação 3D do mesmo, mas também deve ser estendida ao planeamento (BIM 4D) e controlo de custos (BIM 5D) [1].

O BIM 4D conecta não só os aspetos espaciais como também os temporais do projeto, melhorando a confiabilidade dos cronogramas e minimizando os problemas de comunicação [5]. Basicamente consiste na combinação do modelo geométrico digital e das informações referentes ao planeamento da obra. A crescente adoção de metodologias BIM nas empresas de construção tem contribuído para um aumento no interesse em utilizar modelação 4D. Contudo, a adoção desta fase apresenta alguns obstáculos, tais como a necessidade de mecanismos para visualização do avanço das atividades internas, a existência de limitação na deteção de conflitos de espaço e tempo e a falta de análise de algumas informações do modelo [5]. Se ao BIM 4D lhe for adicionado a variável custo, esta metodologia fica conhecida como BIM 5D, sendo que a mesma incorpora os relatórios de quantidades e o respetivo orçamento baseado nas quantidades obtidos na dimensão anterior [6]. Esta fase do BIM é capaz de simular vários cenários para o cliente em tempo real através dos dados de custo e quantidades ligadas ao modelo BIM [7].

A realização desta dissertação tem como objetivo avaliar as vantagens e as desvantagens da implementação da metodologia BIM numa empresa do setor da construção, mais concretamente, a empresa Construções Gabriel A.S. Couto, S.A., para desta forma a própria empresa avalie internamente o interesse em implementar no futuro esta abordagem. Contudo, este trabalho estará mais centrado no BIM 4D e 5D, procurando-se elaborar todo o planeamento da obra e a avaliação dos custos da mesma. Tal como já se referiu anteriormente, a aplicação desta metodologia tira maiores proveitos quando aplicada à totalidade das dimensões existentes,

por exemplo, deve-se procurar que o 4D da metodologia BIM seja sempre que possível acompanhado pelo 5D, pois quando existem alterações ao nível das quantidades ou dos recursos necessários (4D), estas são refletidas automaticamente no orçamento, caso contrário isso não acontece. Adicionalmente, será feita uma avaliação dos documentos obtidos nas duas metodologias por forma a ser possível efetuar-se uma comparação.

Para finalizar, espera-se que a empresa perceba as grandes potencialidades da implementação desta metodologia neste setor e que seja possível verificar-se as grandes diferenças entre as duas metodologias avaliadas neste trabalho, esperando-se essencialmente uma redução dos prazos de execução de cada tarefa bem como uma poupança no orçamento final da obra.

2. Building Information Modelling - BIM

2.1 Definição

O BIM pode ser definido como sendo uma tecnologia de modelação e um conjunto de processos associados, com a finalidade de produzir, comunicar e analisar modelos de uma construção. Trata-se de uma metodologia de partilha de informação entre todos os intervenientes do projeto (arquitetos, engenheiros, empresa(s) de construção, dono de obra) passando por todas as fases do ciclo de vida do edifício (projeto, construção, manutenção, desconstrução). Porém, necessita de um modelo digital em três dimensões, o qual pode conter diversas informações relacionadas com o projeto, nomeadamente, características geométricas, propriedades (físicas e mecânicas), atributos, prazos, custo de construção, entre outras. Além disso, tem a capacidade para guardar informações paramétricas com relação entre os diversos elementos e ainda permite o apoio nos fluxos de trabalho entre as diferentes atividades relacionadas com o processo construtivo [3].

Esta metodologia permite efetuar uma simulação do projeto num ambiente virtual e como resultado é possível extrair-se com facilidade quantidades e propriedades dos materiais. Além disso, trata-se de um processo que engloba todas as especialidades num único modelo virtual permitindo uma colaboração mais precisa e eficiente quando comparada com o método tradicional. [4].

2.2 Dimensões BIM

A dimensão 3D desta metodologia permite a criação de um modelo tridimensional do projeto ligeiramente diferente do 3D convencional, visto que é possível atribuir a cada elemento as respetivas propriedades. Além disso, permite identificar possíveis conflitos numa fase inicial do projeto, sendo assim possível resolvê-los antes de iniciar a respetiva construção. Se ao modelo 3D lhe for associado a variável tempo, entra-se numa nova dimensão, conhecida como BIM 4D. Nesta fase do projeto é possível efetuar-se o planeamento e a organização da construção, visto que os programas aptos para trabalhar nesta dimensão apresentarem ferramentas que permitem a representação visual da utilização do espaço envolvente à obra durante o período de construção, permitindo ainda a colocação de componentes temporários, tais como, gruas, veículos e respetivos acessos. Ainda nesta dimensão é possível efetuar um planeamento, o qual pode sofrer alteração à medida que a obra vai avançando e se vai verificando derrapagens no prazo estipulado para a entrega da obra [8]. Na metodologia tradicional, habitualmente usa-se o diagrama de barras ou de redes para planear as atividades

de construção, contudo estes não consideram a configuração espacial relacionada com as atividades e nem permitem a criação de um vínculo entre as atividades e os elementos do respetivo modelo. Desta forma, os modelos BIM 4D trazem uma nova abordagem ao planeamento e controlo de obra, sendo considerado uma abordagem superior ao método tradicional, verificando-se mais melhorias ao nível da visualização, pois permitem clarificar a sequência de construção e diminuir a ambiguidade na perceção de constrangimentos espaciais, obtendo-se benefícios em termo de tempo e custos, como admitem vários estudos. De uma forma sucinta, o BIM 4D consiste na associação do BIM 3D com o método CPM (*Critical Path Methods*), sendo utilizado essencialmente como ferramenta de visualização e comunicação, visto que assinala os trabalhos já realizados e os que ainda falta executar. Contudo, torna-se complicado a utilização de modelos 4D no planeamento visto ser necessário modelos 3D e CPM's muito detalhados de modo a refletir a estrutura de tarefas que a obra na realidade tem que seguir [9]. Os gráficos de Gantt ainda continuam a ser uma das apostas no setor da construção relativamente aos métodos CPM, apesar de já serem conhecidas as suas limitações. Estes diagramas foram desenvolvidos com um único objetivo, nomeadamente, planear a carga de trabalhos, prazos e responsabilidades, sendo para isso suficiente. O grande problema reside em descreverem o processo numa única localização, não permitindo planear e monitorizar múltiplas equipas simultaneamente. Desta forma, a Linha de Balanço (LOD) surge como sendo uma solução face às limitações do método tradicional tendo a capacidade de responder a múltiplas localizações, representar de forma contínua as diferentes tarefas e ainda permite a visualização de dependências, movimentos de recursos e planeamento de equipas, possibilitando a medição da produtividade dessas equipas (Figura 1) [10].

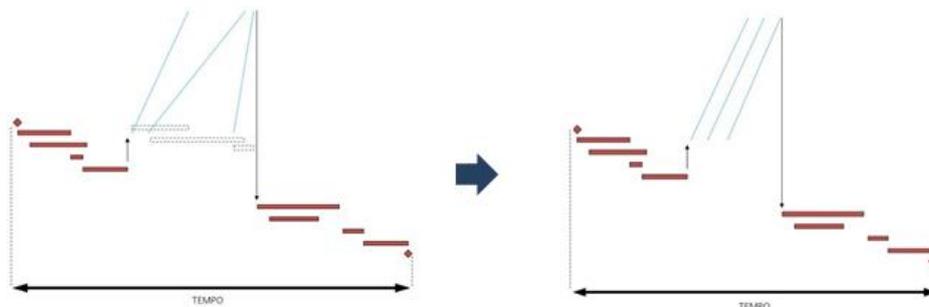


Figura 1: Comparação entre o Diagrama de Gantt e a Linha de Balanço.

De seguida, tem-se a dimensão 5D a qual corresponde uma evolução da dimensão 4D através da adição da variável custo, tornando-se possível prever e controlar os custos em todas as fases de construção. Com a evolução do modelo, as estimativas de custo são melhoradas consoante o aumento do nível de detalhe do mesmo. Adicionalmente, permite aos profissionais da AEC a análise de diferentes alternativas de custo em qualquer fase do projeto, sendo que a análise de custos extraídas do modelo 5D também pode ser utilizado para medir o desempenho financeiro do estado atual de construção. De forma sucinta, esta dimensão procura extrair as quantidades para execução dos elementos. No caso de um pilar, é necessário extrair as quantidades referentes à armadura, à cofragem, ao betão e ao revestimento final (Figura 3). Além da quantificação das áreas é necessário identificar os recursos envolvidos, tais como equipamentos, mão-de-obra e materiais. Nesta fase é possível determinar o custo de construção

do projeto através das quantidades *takeoffs* obtidas na dimensão anterior. Torna-se importante referir que todas as alterações efetuadas ao longo do projeto são refletidas nos valores obtidos inicialmente. Nesta fase é necessário avaliar todos os recursos necessários para realização de uma determinada tarefa sendo que o custo dessa mesma tarefa é influenciado pelo valor associado a cada recurso.

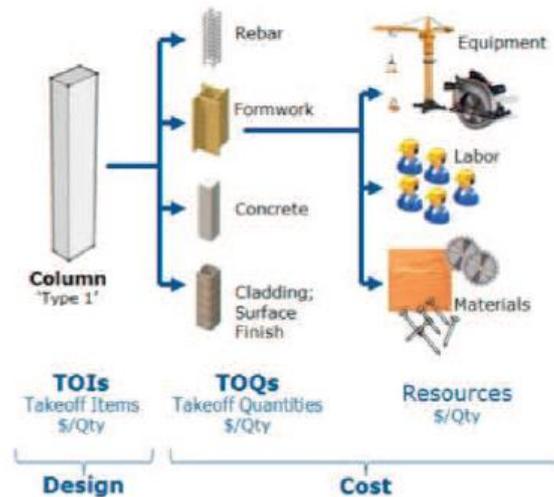


Figura 2: Processo utilizado no BIM 5D.

Na dimensão 6D, normalmente conhecida como *Facilities Management (FM)*, é possível gerir o ciclo de vida do projeto visto que até chegar a esta fase os projetistas criaram e atualizaram todos os modelos durante toda a fase de construção, podendo-se considerar que o modelo construído corresponde ao real, sendo atribuído a cada elemento todas as informações de operações e manutenções efetuadas. Desta forma, o modelo deverá ser capaz de dizer quando é que determinado elemento irá necessitar de manutenção [8].

3. Implementação BIM - Caso de Estudo

3.1 Projeto SAKTHI Portugal SP21

A empresa Construções Gabriel A.S. Couto S.A iniciou no mês de março de 2016, a construção das novas instalações da SAKTHI Portugal SP21. A mesma será construída no Parque Empresarial do Casarão, concelho de Águeda, tendo um prazo de execução de 340 dias a contar com a data da adjudicação, estando previsto o arranque da produção para 01 de fevereiro de 2017.

A nova unidade irá produzir componentes de segurança crítica para automóveis em ferro nodular, tais como sistemas de travão, transmissão, suspensão e motor.

Dado o curto período de execução da empreitada verificou-se a necessidade decorrer em paralelo a execução das estruturas de betão armado, bem como da preparação e fabricação da estrutura metálica, das estruturas e elementos referentes à chapa estrutural.

A construção da nova Unidade Industrial Júpiter desenvolve-se num terreno com aproximadamente 232 mil metros quadrados. A nave principal será concebida como uma estrutura porticada que se desenvolve em planta, num retângulo de 260x75 m², estando os pórticos espaçados entre si a uma distância de 10 metros, sendo garantida a entrada de luz natural a cada 20 metros, medida correspondente à distância entre os pórticos principais. Transversalmente, o edifício apresenta duas zonas laterais de 12,5 metros cada e uma zona central de 50 metros, com uma fiada de pilares ao eixo, perfazendo uma largura total de 75 metros. É de salientar que a geometria da empreitada foi adaptada às necessidades funcionais de exploração, havendo a necessidade de um pé direito de 26,5 metros na zona da fusão (fachada norte) e de 14 metros na zona de expedição (fachada sul).

A estrutura do edifício é constituída pelas fundações em betão armado, estruturas principais em perfis laminados e reconstruídos e chapas autoportantes entre os pórticos principais. A parte da estrutura metálica central será apoiada sobre os pilares circulares centrais enquanto a restante parte sobre os plintos de betão armado.

Assim sendo, pode-se admitir que a construção desta empreitada encontra-se dividida em 4 fases:

- Execução das fundações e pilares de betão armado, incluindo aplicação de chumbadouros.
- Montagem dos pórticos principais, pilares, vigas e travamentos.
- Montagem de cavaletes e calhas sobre a estrutura metálica para apoio da chapa estrutural.
- Montagem da chapa estrutural entre pórticos principais, com um comprimento de 20 metros cada.

Tendo em conta a entrega definida para os equipamentos, foi verificada a necessidade de se iniciar a empreitada a partir da fachada norte (zona da fusão) para a sul (zona de expedição). No entanto, essa tomada de decisão condicionou o desenrolar dos trabalhos, pois a zona junto à fachada norte corresponde à zona mais complexa da obra, quer em termos de estrutura de betão armado como também de estrutura metálica [11]. A figura seguinte mostra os modelos *Revit* criados pelos respetivos projetistas.

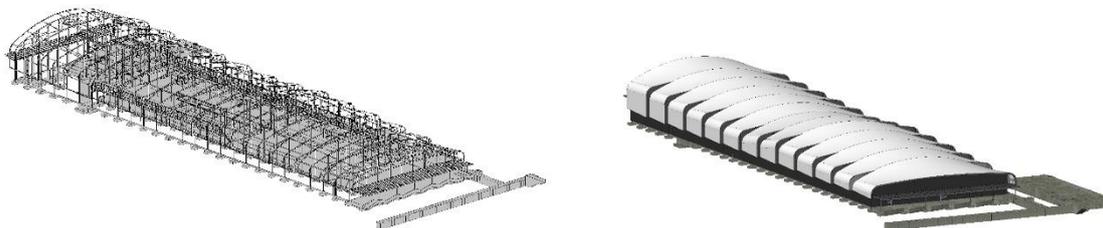


Figura 3: Edifício Júpiter– Estrutura (esq.) e Arquitetura (dir.).

3.2 Metodologia Utilizada

Numa fase inicial foi necessário proceder à recolha de toda a informação e/ou documentação necessária relativamente ao projeto, tendo esta sido disponibilizada pela empresa. Foram

disponibilizados documentos em formato PDF e DWG do projeto, bem como os respetivos modelos em *Revit* por especialidade, nomeadamente, modelo de arquitetura, estruturas e AVAC. No entanto, ao longo do desenvolvimento do projeto, o mesmo foi sujeito a várias revisões e/ou alterações, feitas pelas respetivas equipas de projeto, por forma a aproximar-se o mais possível do resultado final pretendido e também corrigir algumas incoerências encontradas entre as diferentes especialidades. Apesar das várias informações recebidas, é importante referir que para este trabalho achou-se por bem centrar nas especialidades mais importantes da obra e as que apresentam um maior volume de obra, nomeadamente, Estruturas, Arquitetura e AVAC. Além disso, tendo em conta o tempo de execução e a dimensão da obra, optou-se por tratar apenas da nave principal da obra, mais propriamente, o Edifício Júpiter.

Recolhida toda a informação procedeu-se à análise dos modelos recebidos de forma a avaliar a forma de modelação usada por cada equipa de projeto. Posteriormente, com o auxílio de um *software* de coordenação (*Solibri Model Checker*), avaliou-se a qualidade dos modelos através da análise das incompatibilidades entre os diferentes modelos e além disso verificou-se até que ponto os modelos se encontravam parametrizados, isto é, avaliou-se se os modelos apresentavam informações referentes à geometria e propriedades dos elementos e também se estes se encontravam classificados. Posto isto, deu-se início à implementação do BIM 4D e 5D para o projeto em estudo.

Antes de iniciar qualquer trabalho no *software Vico* foi necessário elaborar alguns trabalhos prévios, nomeadamente, atualização do mapa de trabalhos e quantidades (MTQ) fornecido pela empresa, documento que serviu de base ao processo de concurso. No MTQ foi necessário acrescentar algumas colunas e linhas de trabalho para adicionar dados que são necessários fornecer ao *software*, nomeadamente, linhas para definir todos os recursos necessários para cada tarefa, desde de mão-de-obra, materiais e equipamentos e colunas para adicionar a esses recursos os respetivos rendimentos e preços unitários. Nesta fase foi necessário a utilização do *software* disponibilizado na plataforma online denominado por Gerador de Preços da CYPE, que permite retirar os recursos associados a cada recurso, bem como os respetivos rendimentos e preços unitários [12]. Porém, foi necessário proceder a alguns ajustes dos valores correspondentes aos rendimentos e preços unitários de cada recurso porque como foram retirados diretamente do CYPE não correspondem na integra aos valores reais que serviram de base ao cálculo do valor total de cada tarefa. No entanto, se se fosse a trabalhar da forma mais correto ter-se-ia de utilizar os valores reais dos rendimentos calculados pela empresa. Após colocados todos os recursos e respetivos rendimentos e preços unitários, falta só proceder à classificação das tarefas e respetivos recursos, como manda o *software*. O *Vico* prevê a classificação em 6 níveis, desde do *Code 1* ao *Code 6*, sendo que as classificações utilizadas em cada um desses níveis é ligeiramente diferente. Do nível 1 ao 4, inclusive, utiliza-se a classificação *Unifomat II*, sendo que os *Codes 1, 2, 3 e 4* correspondem aos *Levels 1, 2, 3 e 4* dessa classificação, respetivamente. O *Code 5* diz respeito à tabela 22 do sistema de classificação *Omniclasse* e por fim, o *Code 6* consiste num sistema de classificação desenvolvido pelo aluno, em que a primeira letra do código diz respeito ao tipo de recurso em questão, sendo que foi definido que a letra L correspondia à mão de obra (*Labor*), o E corresponde aos equipamentos e o M aos materiais.

Finalizado e organizado o respetivo MTQ pode-se tratar da importação do mesmo para o *software* utilizado, nomeadamente, *Vico Office*, sendo assim possível trabalhar as dimensões 4D e 5D do BIM. Tendo em conta o funcionamento do programa, inicialmente procedeu-se à realização do 5D do BIM, responsável pela associação da variável custo ao projeto. Neste caso faz-se a associação direta das quantidades à respetiva tarefa, calculando automaticamente o custo associado a essa tarefa, sendo possível no final obter um orçamento da obra, o qual é comparado com elaborado pelo método tradicional. Posto isto, pode-se dar início à elaboração do BIM 4D, responsável pela associação da variável tempo ao modelo 3D. Nesta fase do trabalho é possível retirar do *software* o planeamento da obra através do método da linha de balanço, sendo elaborado a partir dos dados fornecidos pela empresa. Neste caso, o planeamento elaborado pela empresa foi feito através do método CPM, mais concretamente, num diagrama de barra, como dita a metodologia tradicional. Porém, semanalmente é feito um levantamento do executado em obra para perceber a evolução da obra, funcionando como ferramenta de monitorização de obra.

3.3 Softwares Utilizados

A metodologia BIM exige a utilização de vários *softwares* de modo a cobrir todos as dimensões BIM existentes e ainda assim, dentro da mesma dimensão é possível utilizar uma panóplia de *softwares* que não apresentam grandes diferenças entre si.

Neste caso, a escolha passou pela utilização de programas que apresentam uma maior utilização ao nível mundial, evidenciem maiores potencialidades e aqueles que o aluno já apresenta algum conhecimento. Assim sendo, optou-se pela utilização do *Revit 2015 e 2016* para a modelação em 3D, o *Vico Office 5.1* para trabalhar a dimensão 4D e 5D do BIM, o *Solibri Model Checker v9.6* para a avaliação da qualidade de modelos funcionando como *software* de coordenação e por fim, o *Tekla BIM Sight* como visualizador.

4. Resultados Obtidos

Dentro das responsabilidades assumidas, foi possível tirar diversos resultados através do uso da metodologia BIM no caso de estudo em análise. Apesar deste trabalho se encontrar mais centrado no BIM 4D e 5D foram realizados outros trabalhos associados ao BIM 3D, tendo estes sido executados numa fase inicial do trabalho. Posto isto, com a realização deste trabalho procedeu-se inicialmente à deteção das incompatibilidades entre os vários modelos existentes em obra (estrutura, arquitetura e AVAC), antecipando a deteção de alguns erros de projeto. Procedeu-se então à importação em ifc dos modelos para o *software Solibri Model Checker* de modo a efetuar-se a análise das incompatibilidades. Isto só é conseguido porque este *software* permite a compatibilização de todas as especialidades num único modelo e a partir das regras associadas a esse programa é possível verificar as incompatibilidades existentes sendo que algumas colisões merecem maior atenção comparativamente a outras. No que diz respeito à avaliação da qualidade dos modelos, o aspeto que mereceu mais atenção foi o facto que a modelação das condutas enterradas do sistema de AVAC encontravam-se modeladas tendo em conta o diâmetro interior. Em consequência, fez com que numa análise preliminar se concluísse que não existiam incompatibilidades entre o modelo de Estruturas e o de AVAC, sendo que tal não estava certo. Desta forma, foi necessário proceder a uma segunda análise em que se teve

em consideração o diâmetro real da tubagem. Neste caso, além de ser necessário ter em conta o diâmetro exterior, também é preciso ter em atenção o diâmetro da tubagem na zona da campânula. Além das incompatibilidades associadas aos elementos estruturais e as tubagens de ventilação, também foram verificadas colisões entre elementos constituintes do modelo de AVAC e de Arquitetura, nomeadamente, conflitos entre difusores e portas/portões (Figura 4).

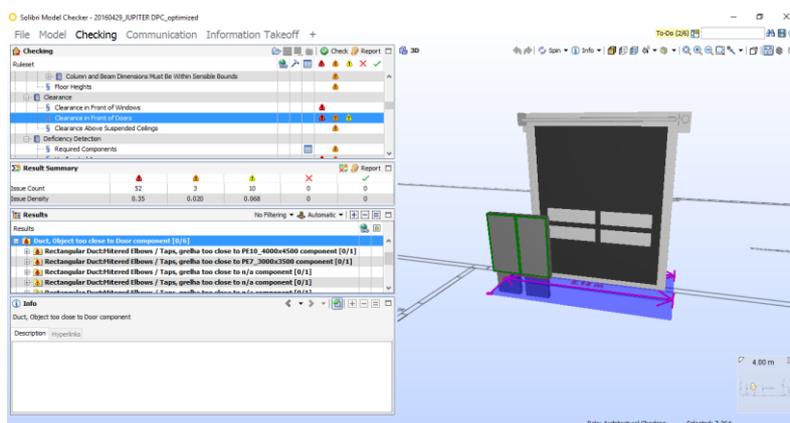


Figura 4: Incompatibilidades entre o modelo de Arquitetura e o de AVAC.

Ainda associado de certa forma ao BIM 3D procedeu-se à extração de algumas quantidades no *Revit* que serviram como comparativo aos valores apresentados pelos subempreiteiros, como por exemplo, quantificação da estrutura metálica, tal como se pode ver na figura seguinte. É importante referir que a extração destas quantidades se tratou de uma situação específica.

ARTIGOS	DESIGNAÇÃO	UN	SAKTHI	GASC		GASC		GASC	
			Contrato	PE 14.03.16	PE 09.06.16	PE 16.06.16	PE 20.07.16		
			MQT	REVIT	REVIT	REVIT	REVIT	REVIT	
2.2.7	AÇO PARA ESTRUTURAS METÁLICAS E MISTAS								
2.2.7.1	Elementos metálicos com esquema de pintura tipo 1 sem proteção ao fogo (ambiente C4)		844.178,96	838.734,00	839.982,00	846.144,00	843.492,00		
2.2.7.1.1	Perfis laminados de secção aberta em aço S355JO	kg	310.353,57	293.826,00	292.578,00	297.804,00	297.336,00		
2.2.7.1.2	Perfis reconstituídos soldados em aço S355JO	kg	430.013,76	427.284,00	430.872,00	430.872,00	430.872,00		
2.2.7.1.3	Perfis tubulares em aço S355J2H	kg	103.811,63	117.624,00	116.532,00	117.468,00	115.284,00		
2.2.7.2	Elementos metálicos com esquema de pintura tipo 2 com proteção ao fogo R60 (ambiente C4)		494.740,99	484.926,00	489.138,00	489.138,00	489.138,00		
2.2.7.2.1	Perfis laminados de secção aberta em aço S355JO	kg	428.334,35	418.860,00	424.398,00	424.398,00	424.398,00		
2.2.7.2.2	Perfis reconstituídos soldados em aço S355JO	kg	40.567,18	40.404,00	37.674,00	37.674,00	37.674,00		
2.2.7.2.3	Perfis tubulares em aço S355J2H	kg	25.839,46	25.662,00	27.066,00	27.066,00	27.066,00		

Figura 5: Quantificação da estrutura metálica.

Semanalmente procedeu-se à criação de vista 3D do executado em obra através do levantamento semanal dos novos elementos que vão sendo executados. A passagem dessa informação para o modelo pode ser feita de várias formas, ou através da alteração da fase do elemento ou então através da criação de um novo parâmetro e a esse associar-se uma gradação diferente. Este último método foi mais utilizado para a cobertura porque neste caso pretendia-se fazer uma distinção para cada elemento que a constitui, nomeadamente chapa BT114 (verde), barreira pára-vapor (amarelo) e SkinZip (laranja), tal como é possível verificar na imagem seguinte (Figura 6).

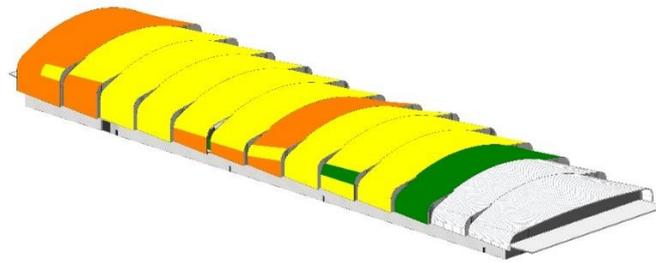


Figura 6: Executado Cobertura a 19/09/2016 (Revit)

Além dos 3D referentes à cobertura, também são elaborados todas as semanas vistas referentes ao levantamento da estrutura metálica, bem como das estruturas em betão armado (sapatas, plintos, pilares, entre outros). No entanto, para estes casos apenas se diferenciava os elementos que já se encontravam executados através da alteração da fase em que o mesmo se encontrava, ou seja, o elemento passava de uma fase com designação *New Construction* para *Existing*, sendo que a cor associada a cada uma dessas fases é o cinza e o verde, respetivamente. Através desta alteração de fases é possível de uma forma rápida distinguir os elementos executados em obra comparativamente com os que ainda faltam concluir, tal como mostra a figura seguinte.

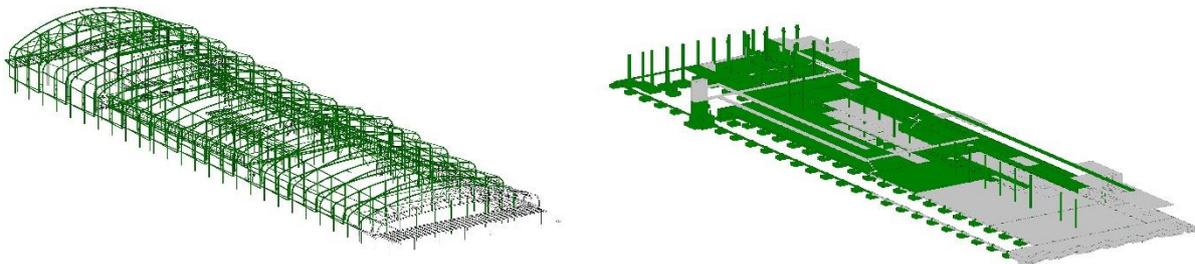
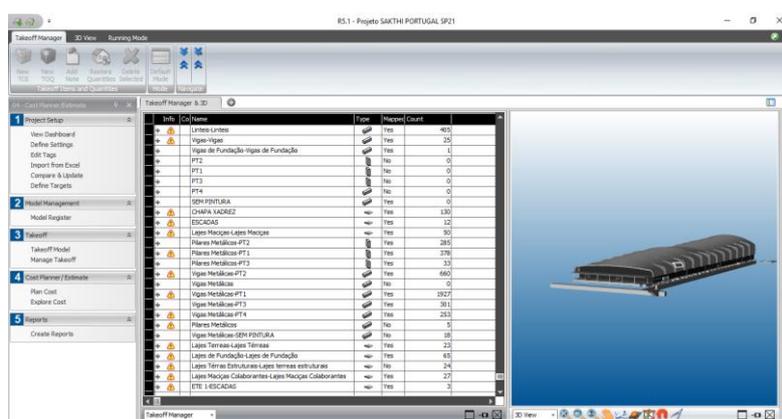


Figura 7: Executado Estrutura Metálica (esq.) e Betão Armado (dir.) a 19/09/2016 (Revit).

Aquando a importação e ativação dos modelos no Vico é possível verificar todas as quantidades existentes, podendo estas ser organizadas de forma diferente. No entanto, o objetivo passa sempre pela agregação do maior número de informação num único parâmetro, isto é, pretende-se por exemplo agrupar todas as sapatas num único ícone, sendo que, também se pretende que a política adotada na organização das quantidades se adapte o mais próximo possível ao articulado da obra, para assim ser mais fácil organizar toda a informação para o orçamento que será elaborado na 5ª dimensão do BIM (Figura 8). No entanto, a organização da informação foi diferente de modelo para modelo. No caso da especialidade de estruturas, procurou-se agrupar elementos iguais na mesma categoria, isto é, juntar todas as sapatas da obra num único tópico. Isto só foi possível porque o Revit tem a capacidade de criar novos parâmetros, o que permitiu a criação de um parâmetro Vico 01, igual ao que aparecia quando se escolhia de que forma se pretende organizar a informação no Vico. Quando ao modelo de arquitetura e de AVAC, a informação foi organizada tendo em conta o nome e tipo de família.



The screenshot displays the Takeoff Manager 8.3D software interface. The main window is titled 'R5.1 - Projeto SAKTHI PORTUGAL SP21'. The interface is divided into several sections: a top menu bar, a left-hand navigation pane with categories like 'Project Setup', 'Model Management', 'Takeoff', and 'Reports'; a central table of quantities; and a 3D model view on the right.

Info	Co	Type	Meq	Count
União Lintéis		Yes		403
Vigas Vigas		Yes		25
Vigas de Fundação Vigas de Fundação		Yes		0
PT2		No		0
PT1		No		0
PT3		No		0
PT4		No		0
SPR 2017/UKA		Yes		0
CHAFIA MADREZ		Yes		130
ESCADIAS		Yes		36
Lajes Metálicas Lajes Metálicas		Yes		14
Placas Metálicas PT1		Yes		283
Placas Metálicas PT2		Yes		33
Vigas Metálicas		Yes		660
Vigas Metálicas		Yes		0
Vigas Metálicas PT1		Yes		3927
Vigas Metálicas PT3		Yes		361
Vigas Metálicas PT4		Yes		293
Placas Metálicas		No		5
Vigas Metálicas SPR 2017/UKA		No		38
Lajes Metálicas Lajes Metálicas		Yes		232
Lajes de Fundação Lajes de Fundação		Yes		45
Lajes Simil Concreto-Lajes Simil Estruturas		No		24
Lajes Metálicas Colaborantes Lajes Metálicas Colaborantes		Yes		27
ETE 1 ESCADIAS		Yes		3

Figura 8: Quantidades obtidas a partir da importação dos modelos para o Vico.

Contrariamente ao habitual, e conforme referido, neste *software* a parte referente ao BIM 5D necessita de ser elaborada numa fase anterior ao BIM 4D, visto que para a realização do planeamento é necessário a quantificação de todas os recursos necessários a todas as tarefas. Assim sendo, foi necessário trabalhar o articulado por forma a colocar todos os recursos nas diferentes tarefas, bem como os respetivos rendimentos e preços unitários de cada recurso. Nesta fase, as quantidades associadas a cada recurso são feitas através da associação direta das quantidades do modelo o que permite, caso haja atualização e/ou revisão do projeto, fazer de forma automática a alteração das quantidades. Preenchidos todos esses critérios pode-se dar por concluído a primeira versão do orçamento elaborado através da metodologia BIM. Contudo, é importante salientar que o mesmo pode sofrer alterações à medida que se vai tratando do BIM 4D pois caso se verifique necessidade de recorrer a mais mão-de-obra, material e/ou equipamento para uma determinada tarefa por forma a garantir o cumprimento dos prazos, o ajustamento no BIM 5D é feito de forma automática. Na tabela seguinte pode-se verificar as diferenças existentes entre os valores obtidos no mapa de quantidades através da metodologia tradicional e da metodologia BIM.

Tabela 1: Comparação dos valores do Mapa de Quantidades obtidos através da metodologia tradicional e da metodologia BIM.

Mapa de trabalhos e quantidades			
Code 1	Designação	Valores totais	
		Metodologia Tradicional	Metodologia BIM
A	Substruture	1.284.479,85 €	1.452.290,64 €
B	Shell	2.953.608,14 €	2.325.533,05 €
C	Interiors	1.264.475,72 €	957.265,55 €
D	Services	974.787,62 €	1.268.570,48 €
E	Equipment & furnishings	71.151,94 €	110.840,29 €
F	Special construction & demolition	2.435.458,90 €	1.850.738,98 €
G	Building sitework	23.965,93 €	24.085,78 €
Total		9.007.928,11 €	7.989.324,77 €

5. Conclusões

O BIM surge como sendo um novo paradigma dentro do setor das AEC, o qual incentiva uma interação entre todas as especialidades existentes num projeto de construção, permitindo um aumento da eficiência de todas as partes interessadas.

Através da construção de modelos virtuais parametrizados consegue-se extrair quantidade de forma automática, evitando-se a ocorrência de erros, tal como se verificou aquando a importação dos modelos para o *Vico* e através das tabelas de quantidades obtidas a partir do *Revit*. Quanto ao BIM 4D e 5D, estas dimensões têm fortes potencialidades, pois nesta fase procura-se associar os elementos de forma automática aos recursos, e no caso de haver uma revisão do projeto, basta atualizar o respetivo modelo e as alterações são efetuadas automaticamente. Numa das revisões do projeto verificou a necessidade de construir uns muros que não estavam contabilizados no projeto inicial numa determinada zona da obra. Caso se estivesse a utilizar a metodologia tradicional, para quantificação desses novos muros seria necessário avaliar as dimensões e calcular à mão as respetivas quantidades. Em contrapartida, a metodologia BIM faz isso de forma automática, isto é, atualizando-se o modelo, o próprio programa faz uma leitura das diferenças entre o modelo inicial e a atualização, quantificando de forma automática essas alterações.

Quando se compara as metodologias na parte do 5D verifica-se que na metodologia BIM avalia-se e contabiliza-se todos os recursos associados a uma determinada tarefa contrariamente ao método tradicional que apenas tem em consideração a quantificação da tarefa e não dos recursos. Além disso, nesta metodologia o orçamento gerado é de fácil leitura em qualquer país visto que se encontra classificado com uma classificação mundial. Adicionalmente, também se

pode verificar que a aplicação desta metodologia trás diversas vantagens na deteção de incompatibilidade, pois é possível detetá-las de uma forma rápida e numa fase antecedente ao início da empreitada, o que permite uma resolução prévia dos problemas. Além disso, permite a produção automática de informação. Apesar disso, esta metodologia apresentou algumas limitações e/ou problemas relativamente a este caso de estudo, os quais são relacionados com a organização das quantidades e com a importação do modelo de AVAC para o *software*. Este último problema está relacionado com a incompatibilidade entre o *Revit 2016* e o *software Vico* instalado. Desta forma, foi necessário exportar o modelo em formato ifc e daí importar para o *Vico*, o que também trouxe algumas limitações na organização da informação.

Nesta situação em concreto, a empresa encontra-se a avaliar as vantagens e desvantagens da implementação desta metodologia, tornando-se importante salientar que a implementação BIM passa por vários estágios, sendo que o ritmo de trabalho e aprendizagem numa fase inicial é bastante lenta comparativamente com investimento necessário. Porém, à medida que a empresa vai evoluindo neste ambiente, a aprendizagem terá um aumento exponencial retirando-se mais benefícios da sua implementação.

Referências

- [1] A. R. F. Poças, “Planeamento e controlo de projetos de construção com recurso ao BIM,” Universidade do Minho, 2015.
- [2] J. Patacas and N. Cachadinha, “Metodologia para suporte da colaboração na indústria AEC baseada em BIM e em interoperabilidade,” pp. 1–12, 2012.
- [3] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012, pp. 24–26, 2012.
- [4] S. Azhar, “Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry,” vol. 11, no. Bazjanac 2006, pp. 241–252, 2011.
- [5] D. M. de Brito and E. de A. M. Ferreira, “Avaliação de estratégias para representação e análise do planeamento e controlo de obras utilizando modelos BIM 4D,” *Ambient. Construído*, vol. 15, no. 4, pp. 203–223, 2015.
- [6] A. C. M. Barbosa, “A Metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia,” Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2014.
- [7] P. Smith, “Project cost management with 5D BIM,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 226, no. October 2015, pp. 193–200, 2016.
- [8] Out-Low.com, “Building Information Modelling.” [Online]. Available: <http://www.out-law.com/en/topics/projects--construction/projects-and-procurement/building-information-modelling/>. [Accessed: 25-Aug-2016].
- [9] A. Monteiro and J. P. Martins, “Linha de Balanço- Uma nova abordagem ao planeamento e controlo de actividades de construção,” 2011.
- [10] ndBIM Virtual Building, “Uma metodologia avançada de planeamento potenciada pelo BIM,” 2015. [Online]. Available: <http://ndbim.com/index.php/pt/component/k2/item/4-uma-metodologia-avancada-de-planeamento-potenciada-pelo-bim>. [Accessed: 23-Sep-2016].
- [11] C. Rito, R. Poças, and T. Couto, “Em foco,” pp. 8–9, 2016.
- [12] S. A. CYPE Ingenieros, “Gerador de Preços.Portugal.” [Online]. Available: <http://www.geradordeprecos.info/>.

REABILITAÇÃO DE UM EDIFÍCIO PÚBLICO: CONTRIBUTO PARA A INTEROPERABILIDADE ENTRE BIM E PRONIC

Rodrigo Giollo⁽¹⁾, Maria João Falcão Silva⁽²⁾, Paula Couto⁽³⁾

(1) Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias (ULHT), Lisboa

(2) Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) / ULHT, Lisboa

(3) LNEC, Lisboa

Resumo

A necessidade de evolução dos métodos e processos, conduz a uma procura constante por tecnologias mais eficientes, com vista à maximização da qualidade. O setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) deve acompanhar o desenvolvimento tecnológico. Por mais heterogéneo que o setor seja, já não são aceitáveis desvios de prazos e custos.

O Building Information Modelling (BIM), fundamentado em sistemas de informação que permitem o registo e armazenamento de dados por todos os intervenientes e durante todas as fases do ciclo de vida do projeto, baseia-se numa modelação parametrizada de objetos que originam “modelos inteligentes”. O BIM é atualmente uma realidade em alguns dos países mais desenvolvidos do mundo, sendo os ganhos obtidos pela sua implementação inegáveis, tanto na construção nova como na reabilitação.

Uma ligação entre o BIM e o Protocolo para Normalização da Informação Técnica da Construção (ProNIC), apta a produzir de forma normalizada toda a informação técnica e económica de um empreendimento, seria uma mais valia para a gestão da informação na construção.

Este artigo tem por finalidade estruturar um método que permita a interoperabilidade, sem contemplar a parte informática da ligação, entre BIM e ProNIC, e que englobe todo o processo construtivo no setor AECO, e ainda aplicá-lo ao caso de estudo da reabilitação de um edifício.

1. Introdução

O setor da construção civil, de participação reconhecidamente significativa no Produto Interno Bruto nacional português, à semelhança do que acontece na maioria das economias mundiais, é um forte indicador de desenvolvimento, tanto económico quanto social do país.

Estima-se que para cada posto de trabalho direto criado pela atividade, cerca de outros 3 novos empregos sejam gerados [1]. O que torna o setor merecedor de primordial importância junto do Estado, uma vez que grande parte das obras realizadas advêm de contratações públicas, principalmente frente a um cenário de crise económica e escassez de investimentos.

Trata-se de uma atividade diferenciada das pertencentes a outros ramos da economia, devido à grande diversidade de mão-de-obra, produtos, clientes (setor público e privado), métodos, processos e tecnologias associadas, as ferramentas de trocas e uniformização de informação têm impacto direto na qualidade final do empreendimento.

As ferramentas que proporcionem ao utilizador uma antecipação na deteção de erros, constrangimentos, sobreposições de elementos, testes de soluções construtivas e até mesmo avaliações de eficiência energética de edifícios, como o que acontece no caso do BIM, são fundamentais para o desenvolvimento do setor onde a competitividade é cada vez maior e já não são admitidas derrapagens nos custos e prazos de realização ainda presentes. Uma ligação que pudesse ser elaborada entre os modelos BIM e a aplicação ProNIC, que possui como funcionalidade a produção de forma automática de todo o conteúdo técnico necessário na elaboração de projetos, de forma padronizada, tornaria possível gerar toda a documentação escrita e desenhada de uma obra, estimativas orçamentais mais precisas, evitando derrapagens nos prazos por evitar a repetição de trabalhos bem como desperdícios de materiais. De facto, esta proposta constitui um grande salto em direção à qualidade para o setor.

Este artigo baseia-se na tese de mestrado do mesmo título que tem vindo a ser desenvolvida ao abrigo do protocolo existente entre o LNEC e a ULHT e que tem como objeto de estudo a reabilitação de um edifício público localizado na zona metropolitana de Lisboa.

2. Tecnologias e sistemas de informação

Os sistemas de informação correspondem a conjuntos organizados de elementos (pessoas, procedimentos, dados) que interagem entre si com a finalidade de recolher, processar, armazenar, analisar e distribuir a informação com objetivos específicos [2].

2.1 BIM

Do ponto de vista conceptual, o BIM é um método de produção, integração e gestão da informação entre todos os intervenientes de um projeto e é transversal a todas as fases do ciclo de vida de uma construção. Tem por base um modelo digital manipulável que permite simular virtualmente, através de um *software* adequado às necessidades, o ambiente real [3].

O conceito BIM possui diversas interpretações. O *National Institute of Building Sciences* (NIBS), para fins de estudo, divide o BIM em três níveis de abordagem. O BIM pode ser entendido como [4]:

- Produto: é o modelo final da edificação. Depois de passar pelo processo de criação que teve por base as ferramentas de informação e os processos abertos do projeto o resultado é um modelo da edificação;

- Ferramenta: são as aplicações informáticas capazes de interpretar, representar, agregar, transmitir e receber as informações do modelo da edificação;
- Processo: as diferentes especialidades de um projeto trabalham simultaneamente e em colaboração umas com as outras durante todas as fases do ciclo de vida de uma construção.

Os modelos BIM têm como principais particularidades, e que os diferenciam da modelação comum tridimensional, o fato de utilizarem uma modelação orientada por objetos e respeitarem as relações paramétricas dos elementos, o que agrega ao modelo não só as características geométricas dos elementos presentes na construção como janelas, portas, pilares, vigas ou qualquer outro, mas também as particularidades, propriedades e atributos de cada um dos elementos. É capaz de associar informações topográficas, materiais construtivos, quantidades, custos e prazos [5]. Por esta razão e consoante o tipo de informação a ser analisada, diz-se que os modelos BIM são capazes de alcançar para além das 3 dimensões do espaço euclidiano, sendo conhecidos por modelos “nD” e têm em conta:

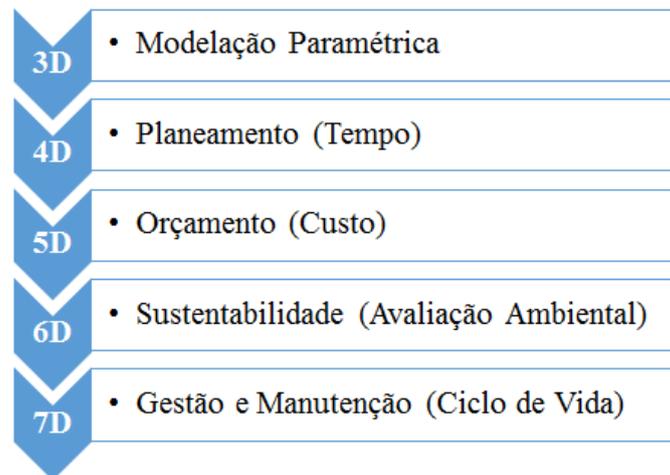


Figura 1: Dimensões de um modelo BIM, adaptado de [6]

Alguns autores divergem a respeito de quais informações poderiam ocupar os níveis 6D e 7D, outros consideram a existência de um nível 8D representado pelas componentes de segurança e prevenção de acidentes [7]. Neste sentido, verifica-se a inexistência de uma opinião consensual no que se refere a este assunto. A Figura 1 ilustra as características mais frequentemente aceites.

Os modelos BIM podem ser classificados ainda quanto ao seu *Level of Development* (LOD), ou em português, Nível de Desenvolvimento, que diz respeito à quantidade, ao tipo e à qualidade da informação armazenada no modelo. Os LOD's são divididos pela *American Institute of Architects* (AIA) em 5 categorias e vão do LOD100 ao LOD500 [8]. Quanto maior for o LOD, maior o número de detalhes e maior a fiabilidade das informações. Deve-se, entretanto, estar atento às reais necessidades de detalhes que cada fase do projeto requer, uma vez que à medida que o LOD aumenta, cresce significativamente o investimento empregado em tempos, recursos e esforços para introdução de informações no modelo.

2.2 ProNIC

O ProNIC funciona como “uma grande biblioteca de dados de conhecimento de trabalhos de construção”, que inclui a informação técnica necessária ao projeto e abrange dois dos maiores tipos de construção do setor, nomeadamente, Edifícios (tanto na construção nova como na reabilitação) e Estradas. Neste sentido, atua como uma eficiente ferramenta de gestão e articulação dos conteúdos técnicos, por estar associado a aplicações informáticas que permitem, aos diferentes agentes que participam do processo construtivo, cumprir as exigências regulatórias e legais impostas, de forma mais facilitada e precisa, com destaque para as Medições Detalhadas, Estimativas Orçamentais, Mapas de Quantidade de Trabalhos e ainda os Cadernos de Encargos (CE) [9].

A base de dados do ProNIC é organizada segundo uma estrutura hierarquizada de trabalhos em *Work Breakdown Structure* (WBS), ou seja, a totalidade da informação é estruturada e organizada dividindo-se o projeto em trabalhos, atividades ou tarefas. É uma forma de subdividir os trabalhos e gerir a informação, com resultados orientados em formato de árvore ou gráfico, do mais geral para o mais específico até que se chegue no grau de pormenorização pretendido, um artigo, que corresponda a uma medição de um trabalho específico e que tenha associado a si um preço unitário individualizado [10,11].

O ProNIC conta com um primeiro nível de desagregação da WBS para Edifícios, que engloba trabalhos de construção em geral e técnicas de reabilitação, e que compreende 26 capítulos. E uma segunda WBS para obras de infraestruturas rodoviárias dividida em 10 capítulos. Esta desagregação da obra por capítulos é usada pelas diferentes especialidades e tem por base as regras de medição do LNEC [12]. Os níveis hierárquicos subsequentes decompõem estes capítulos e, para cada nível, associam um código numérico:

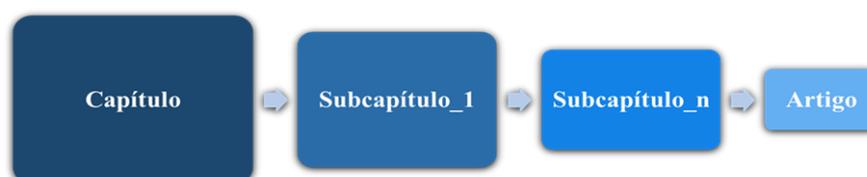


Figura 2: Níveis hierárquicos dos capítulos no ProNIC

O modelo adotado para trabalhos de construção nova de Edifícios segue a divisão por capítulos, consoante as diferentes especialidades, enquanto que as obras de reabilitação se encontram estruturadas segundo as diferentes técnicas de intervenção. Neste caso são definidas segundo um artigo de reabilitação ou combinação de vários artigos de trabalhos de Edifícios até que os trabalhos fiquem completamente definidos [13].

No que diz respeito aos conteúdos técnicos, o ProNIC é capaz de gerar automaticamente Fichas de Execução de Trabalhos e Fichas de Materiais, organizadas e estruturadas uniformemente. Trazem, associadas a si, referências às boas práticas de execução, normas e especificações aplicáveis a cada caso (trabalhos e materiais) e ainda indicam medidas relacionadas com a segurança, manutenção e utilização. São as fichas que posteriormente darão origem as cláusulas técnicas gerais do CE. O resultado é um documento com toda a informação organizada por

capítulos, consoante o tipo de obra e disposta segundo uma estrutura padronizada de descrição de trabalhos e de materiais [14].

3. Interoperabilidade

A interoperabilidade corresponde à capacidade que um sistema possui de interagir com outro, transmitir e receber informações de forma clara e inequívoca apesar da diversidade de formatos e *softwares* existentes.

3.1 Enquadramento teórico

No sentido de existir a interoperabilidade entre dois sistemas é importante que ambos trabalhem com formatos abertos. O *Industry Foundation Classes* (IFC), é o formato universal habitual de representação de objetos e de trocas de dados entre sistemas e modelos BIM. Ele funciona como um desmaterializador de elementos em componentes básicos: geometria, relações e propriedades.

A estrutura IFC é dividida em camadas que funcionam de acordo com uma hierarquia de referência em árvore, dos módulos mais genéricos aos mais específicos [15]. Assim, tanto o utilizador poderia introduzir dados em ProNIC e ter a equivalência representada por meio de IFC no BIM, como introduzir diretamente o código IFC no BIM e dele extrair a informação do ProNIC.

3.2 Metodologia proposta

Depois de vencida a barreira da interoperabilidade entre os dois sistemas que exigirá um minucioso trabalho informático que não está no âmbito do presente trabalho, torna-se possível não só que as diferentes especialidades do projeto trabalhem em simultâneo como ainda se alcance ao pormenor, cada detalhe necessário, tanto do ponto de vista normativo e documental quanto dos elementos desenhados e suas relações. Acrescenta-se aos benefícios já referidos as vantagens de que a qualquer momento, alterações efetuadas no projeto por qualquer das especialidades, se propagam em tempo real e para todos os intervenientes.

Com efeito, propõe-se que seja adotado o seguinte método de associação ao estabelecer-se a ligação entre o BIM e ProNIC [16]:

Fase 1: Estabelecimento de um procedimento sequencial normalizado de construção de objetos em BIM de forma a satisfazer os requisitos de informações e de detalhes (LOD), que cada fase do processo construtivo necessita, por parte de cada interveniente envolvido no processo construtivo;

- Fase 2: Definição das regras de cumprimento da legislação portuguesa em vigor, aplicadas ao setor, estabelecidas por métodos de gestão da informação;
- Fase 3: Estabelecimento de uma ligação de correspondência da ferramenta geradora documental de trabalhos da construção ProNIC com a metodologia BIM;
- ProNIC procede de forma a dividir os trabalhos de construção em capítulos, subcapítulos e por fim, artigos. Atribui um código numérico único a cada um dos

trabalhos de construção que funciona como uma legenda associativa, isto é, certo código diz respeito sempre a certo trabalho de construção;

- Na parametrização de objetos BIM, a cada elemento presente no modelo estariam associados vários artigos do ProNIC, tantos quanto se fizessem necessários de forma a caracteriza-lo perfeitamente;
- No diz respeito às especialidades de projeto, as duas ferramentas, BIM e ProNIC já estão de acordo e compreendem a legislação.

A medida que o modelo BIM vai sendo construído e que os LOD's forem aumentando, os objetos integrantes do modelo vão ganhando as informações requeridas pelo *software* BIM utilizado [8], bem como, e de forma automática, as informações técnicas geradas pelo ProNIC, para que desta maneira se possa elaborar o CE, as medições detalhadas, os mapas de quantidades de trabalho e as estimativas orçamentais precisas com relativa facilidade. O ProNIC faz ainda menção às boas práticas de trabalho, normas de segurança a serem seguidas e toda a informação técnica dos materiais de construção utilizados, todas de acordo com a legislação vigente [13], desta forma, quando associados ao modelo construído em BIM o utilizador pode contar com informações fiáveis, completas e em qualquer fase do projeto de um empreendimento.

4. Caso de estudo

O Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária (INIAV) pretende concentrar os diversos laboratórios dos organismos ligados à investigação, em funcionamento em diferentes locais de Lisboa, num só local, no edifício existente na Quinta do Marquês, em Oeiras.

Com este propósito, o edifício construído em 1966 será o alvo de uma intervenção que compreende a reabilitação e adaptação das salas e laboratórios existentes, as novas instalações do Laboratório Nacional de Referência de Saúde Animal, bem como adaptar redes de energia, rede estruturada (voz e dados) e segurança contra incêndio do edifício.

A intervenção não se deu na totalidade do edifício, mas apenas numa parcela, nomeadamente a ala poente.

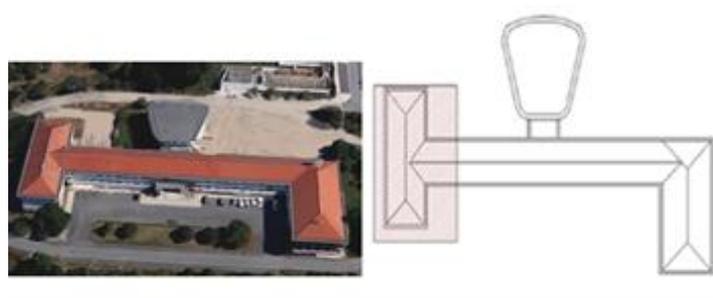


Figura 3: Área intervencionada.

4.1 Modelação em BIM

A primeira decisão a tomar aquando da modelação do edifício em BIM foi a seleção do *software* a utilizar. Tendo em vista os objetivos a alcançar através da metodologia a ser proposta de interligação das ferramentas que utilizam BIM e a aplicação ProNIC, e que o foco da intervenção foi orientado principalmente para a reabilitação, entendeu-se que a melhor escolha fosse um *software* BIM voltado para a arquitetura.

O BIM agrega ao modelo não só as características geométricas dos elementos presentes na construção como janelas, portas, pilares, vigas ou qualquer outro, como também incorpora as particularidades, propriedades e atributos de cada um dos elementos, desta forma, qualquer objeto presente no modelo carrega consigo informações importantes, ainda que visualmente aparente ser apenas uma representação em 3 dimensões.

A figura 4, que se apresenta a seguir, demonstra a capacidade de aproximação que o modelo possui quando comparado com o ambiente real, mesmo em LOD's intermédios. Apesar de não se justificar um acréscimo até os níveis mais altos de desenvolvimento da informação, no âmbito deste estudo, é de referir que poderíamos ir muito além, a ferramenta permite que nos aproximemos ainda mais da realidade que está representada, chegando-se a pormenores como a textura dos objetos.

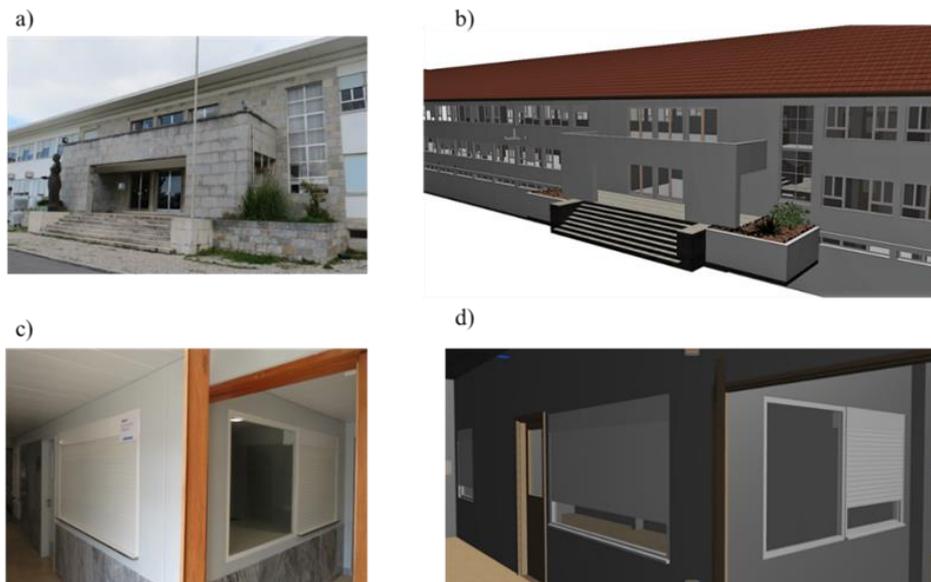


Figura 4: a) Fachada; b) Modelo-fachada; c) Sala-edifício; d) Modelo-sala-edifício.

Levou-se em consideração ainda a capacidade para demonstrar, em qualquer momento, os diferentes estágios da obra, especialmente importante em reabilitações de edifícios como o do caso de estudo.

A título exemplificativo, apresentam-se em seguida as imagens referentes aos trabalhos de reabilitação do piso da cave do edifício.

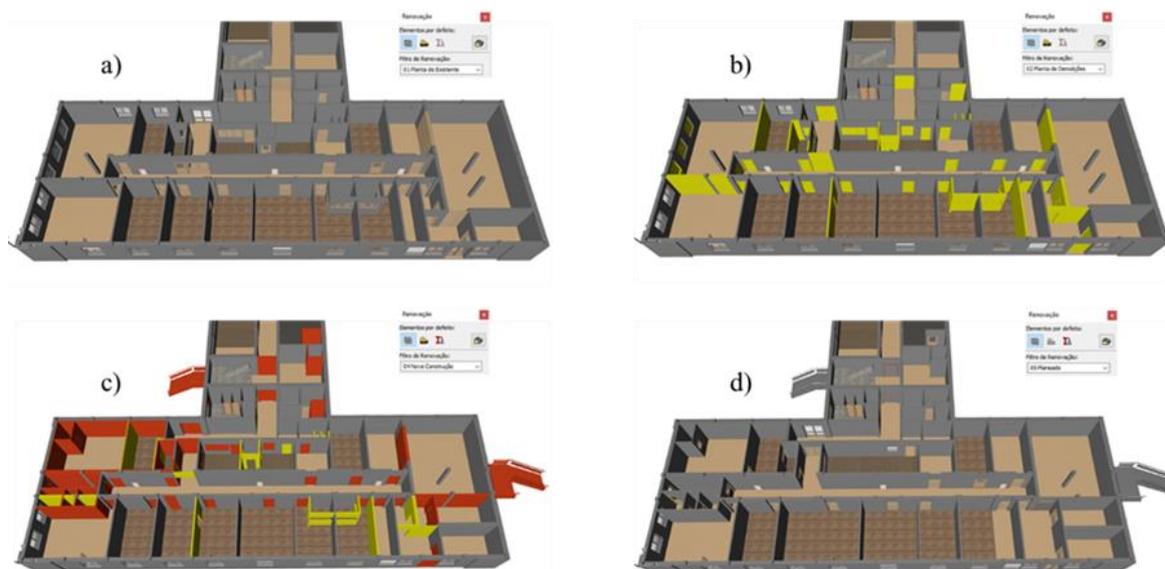


Figura 5: a) Pré-demolição; b) A demolir; c) A construir; d) Estado final.

Conforme pode-se observar na Figura 5, o *software* adotado permite ao utilizador ter não só uma visão parcial, mas também uma visão geral da intervenção, em diferentes fases da renovação, com possibilidade de sinalizar elementos a construir (representados a vermelho) ou a demolir (representados a amarelo) facilitando a visualização e, por conseguinte, garantindo a fiabilidade do projeto.

4.2 Modelação em ProNIC

De forma a ilustrar o funcionamento da modelação no ProNIC e dado o elevado número de trabalhos existente, optou-se por apresentar neste artigo dois dos itens constantes na intervenção, nomeadamente a demolição de paredes interiores e o isolamento térmico de coberturas.

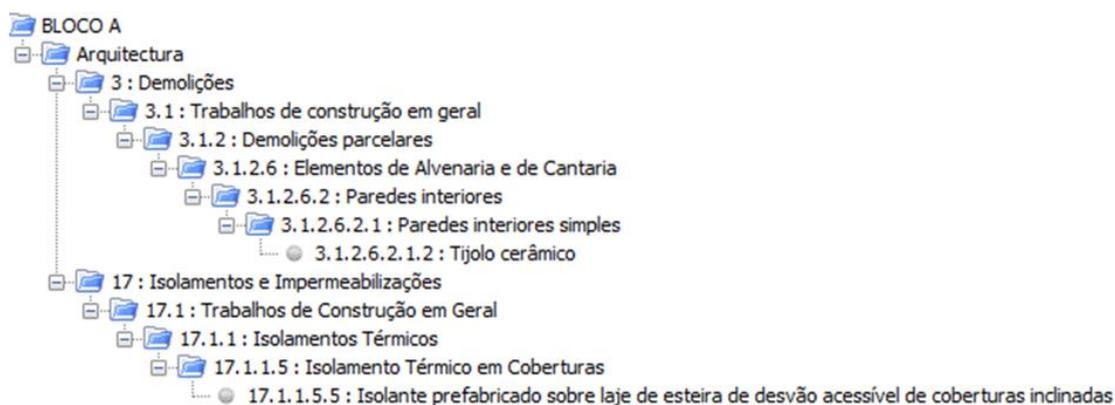


Figura 6: Estrutura em árvore dos trabalhos

O capítulo 3 do ProNIC trata dos trabalhos de demolição. O utilizador tem diante de si, ao nível do artigo, opções de preenchimento representadas em cada campo editável por “\$” e apresentadas na Tabela 1, que posteriormente conduzem à descrição completa do trabalho,

conforme segue: “Demolição *parcial* (\$8) de paredes *simples de tijolo* (\$1) cerâmico *furado ou perfurado* (\$2) e a dos seus eventuais revestimentos, considerando *triagem na própria obra* (\$3) e reciclagem de todos os materiais, de acordo com as peças escritas e desenhadas do projeto e a legislação em vigor. *Inclui carga, transporte e descarga* (\$5), todas as tarefas necessárias para a realização dos trabalhos, assim como para a limpeza do local. Considera-se incluída a implementação das medidas de segurança consideradas necessárias para a realização dos trabalhos.”

Tabela 1: Características das demolições de alvenarias de paredes internas do ProNIC

	Campos a preencher	Características técnicas
\$ 8	Tipo de Demolição	Integral; Parcial; Localizada
\$ 1	Tipos de Paredes	Armadas; Não armadas
\$ 2	Tipo de Tijolo	Furado ou perfurado; Maciço; Outros
\$ 3	Local de Triagem	Na própria obra; Local não afecto a obra
\$ 6	Escoramento	Incluindo escoramento; Sem considerar escoramento
\$ 5	Transporte	Incluindo transporte; Não incluindo transporte

Da mesma maneira, no capítulo 17 do ProNIC que trata dos “Isolamentos e Impermeabilizações” e, após inseridos os dados de caracterização do trabalho de isolamento térmico da cobertura (Tabela 2) pertencente ao caso de estudo apresenta a seguinte descrição: “Isolamento térmico em coberturas inclinadas com desvão ventilado sem condições de habitabilidade, com acessibilidade limitada a arrumos, com isolante térmico prefabricado *em placas* (\$1) de *roofmate com 50mm de espessura* (\$2), devidamente aplicado sobre laje de esteira com proteção mecânica adequada, *incluindo a execução de corredores de manutenção através de betonilha armada de proteção* (\$10), incluindo todos os dispositivos e acessórios necessários, fornecimento, transporte, cargas, descargas e colocação, de acordo dos os desenhos de pormenor e o caderno de encargos. (\$9)”

Tabela 2: Características dos isolamentos térmicos de coberturas do ProNIC

	Campos a preencher	Características técnicas
\$ 1	Forma do material isolante	Em placas; Em mantas semi-rígidas
\$ 2	Designação/natureza material	do Aglomerado de cortiça expandido; Lãs minerais; Poliestireno expandido extrudido; Poliestireno expandido moldado; Outros
\$ 10	Outras características	Execução de corredores de manutenção através de betonilha armada de proteção
\$ 9	Designação do sistema da cobertura (Campo Opcional)	N/A

Tendo por base a informação apresentada, verifica-se que é daqui que se retiram as informações que serão incorporadas nos objetos do modelo BIM, seja sobre os materiais de construção, seja sobre os trabalhos a eles associados. À medida que se avança nos LOD's do modelo BIM, avança-se em simultâneo nos capítulos do ProNIC, até o nível dos \$, que caracterizam perfeitamente o trabalho a ser realizado.

5. Conclusões

O BIM e o ProNIC que individualmente já são capazes de trazer ganhos consideráveis de qualidade para o setor AECO, nos mais diversos aspetos, e que combinados podem tornar-se, num futuro próximo, os moldes nos quais os projetos das mais diversas especialidades deverão ser desenvolvidos.

A principal dificuldade residiu no fato de no *software* utilizado para modelação em BIM ainda não contemplar de forma específica os materiais de construção e suas propriedades. Estas informações foram completas quando na utilização do ProNIC, mas perde-se a chance de fazer-se o cruzamento de dados. A integração de informação não dimensional, existente no ProNIC, em modelos BIM, enriquece os modelos, tornando-os mais eficientes em todo o ciclo de vida. Identifica-se um trabalho extenso no ponto de vista informático, ao nível do desenvolvimento dos IFC's, para que os diferentes *softwares* possam importar e exportar ficheiros sem qualquer constrangimento ou limitação. Devem para isso, contar com uma regulamentação detalhada e uma normalização dos processos.

O sucesso dos projetos realizados nestes novos moldes está intimamente ligado com a disseminação e conscientização, por todos os agentes do setor construtivo, dos benefícios que se podem alcançar com a sua utilização.

Referências

- [1] F.P.Afonso et al., O sector da construção – diagnóstico e eixos de intervenção (1998), Lisboa: IAPEMEI (Instituto de Apoio às Médias e Pequenas Empresas e ao Investimento).
- [2] E.Turban, E.McLean, J.Wetcherbe, Information Technology for Management – Making Connections for Strategic Advantage (1999), John Wiley, New York.
- [3] 3º Fórum PTPC, 2014. Plataforma Tecnológica Portuguesa da Construção. “O BIM no futuro da Construção”, em 3º Fórum PTPC (2014), Lisboa, Portugal, 2014.
- [4] National Institute of Building Sciences. National Building Information Modeling Standard. V.1 – Part1: Overview, principles and methodologies. Washington, 2007. 1-183 pp.
- [5] M.J.L.Venâncio, “Avaliação da Implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal”. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.
- [6] “BIM 3D, 4D, 5D, 6D and 7D”. [em linha]. Disponível em: <http://www.bimpanzee.com/bim-3d-4d--5d--6d---7d.html>. Consult. em 09/2016.
- [7] I. Kamardeen, “8D BIM Modelling Tool for Accident Prevention Through Design”, em

- Proceedings of the 26th Annual Conference, 6-8 September, 2010, pp. 281–289.
- [8] AIA G202TM-2013, "Guide and Instructions to AIA Digital Practice Documents" em Project Building Information Modeling Protocol Form, AIA G202TM -2013.
 - [9] P. Couto, S. Raposo, A.F. Salvado, L. Gonçalves, "Projecto de Investigação ProNIC, Trabalhos Realizados e Desenvolvimentos Futuros", em Cidades e Desenvolvimento: Jornadas de Investigação e Inovação LNEC, Lisboa, Portugal, 2012.
 - [10] J.R.Chapman, "Work Breakdown Structure". Disponível em: http://www.hyperhot.com/pm_wbs.htm. Consult. em 10/2015.
 - [11] S. Carvalho, "Análise e Alinhamento de Tecnologias de Construção". Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2010.
 - [12] M.S. Fonseca, Curso sobre Regras de Medição na Construção, LNEC, Lisboa, 1997.
 - [13] Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciências (INESCTEC, 2008). Disponível em: <https://www.inesctec.pt/cese/noticias-eventos/nos-na-imprensa/pronic-sistema-de-geracao-e-gestao-de-informacaotecnica-para-cadernos-de-encargos/>. Consult. em 08/2015.
 - [14] P.Mêda, "Integrated Construction Organization - Contributions to the Portuguese Framework". Tese de Mestrado, Universidade Porto, Porto, Portugal, 2014.
 - [15] M. El-Desouki, and A.H. Hosny. "A Framework Model for Workflow Automation in Construction Industry" em International Workshop on Innovations in Materials and Design of Civil Infraestructure (2005), Cairo, Egito, 2005.
 - [16] M. J. Falcão Silva, F. Salvado, P. Couto, A. Vale e Azevedo, "Sistematização da informação técnica e económica da construção para incorporação em objetos BIM", em COMPAT 2015, Lisboa, Portugal, 2015.

BIM NO APOIO A GESTÃO DA CONSTRUÇÃO

Anne-Marie Mushamalirwa⁽¹⁾, André Reis Antunes⁽²⁾, António Aguiar Costa⁽²⁾

(1) Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa - Portugal

(2) CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa - Portugal

Resumo

A tecnologia BIM tem crescido consideravelmente nos últimos anos, tendo-se tornado uma ferramenta essencial na área da gestão da construção. A fase de construção de um empreendimento de construção tem sido sempre sensível a inúmeras restrições e incertezas, entre as quais as mais relevantes serão de índole financeira e de prazos, e a implementação eficiente do BIM pode reduzir significativamente os impactos potencialmente negativos causados por estas situações.

Este trabalho apresenta uma ferramenta que visa apoiar os gestores da construção durante esta fase específica, em particular combinando a tecnologia BIM e a técnica de gestão *Earned Value Management*, permitindo visualizar diretamente num modelo 3D BIM, através de um computador ou um dispositivo móvel, o desempenho nas vertentes de custo e prazo.

Os gestores poderão introduzir os dados necessários numa folha de Excel e obter um modelo BIM atualizado em tempo real, de acordo com um sistema pré-definido de cores, que permite identificar rapidamente o índice de desempenho de cada elemento do modelo. A ferramenta permite não só identificar áreas sensíveis do projeto, como também categorizá-las em termos do seu grau de importância.

1. Introdução

A tecnologia BIM tem tido um impacto significativo na Arquitetura, Engenharia e Construção/Gestão de Edifícios (Facilities Management) (AEC/FM) nos últimos anos. Permitiu acelerar a resposta a diferentes pressões, tal como a crescente complexidade de projetos ou a necessidade de alcançar níveis mais altos de sustentabilidade, reduzindo custo e tempo dos projetos de construção [1]. O BIM mudou a abordagem de planeamento, conceção, construção e operação

em projetos de construção [2] e permitiu uma colaboração mais eficiente entre todas as partes interessadas do projeto durante o ciclo de vida do empreendimento [1].

Uma das fases que pode realmente beneficiar de BIM é a fase de construção. Esta fase é uma das mais desafiadoras e sempre enfrentou problemas in-situ, motivados pelas alterações ou erros de projeto, atrasos etc. Além disso, o tempo de resposta dos gestores no local deve ser capaz de dar resposta ao planeamento e orçamento definidos. A implementação do BIM pode reduzir em muito as restrições mencionadas acima e ser uma ferramenta útil para os gestores da construção.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma ferramenta inovadora baseada em BIM para apoiar os gestores durante esta fase delicada e complexa. Esta ferramenta baseia-se numa sinergia entre BIM e o *Earned Value Management* (EVM) e utiliza duas ferramentas conhecidas, Microsoft Excel e Autodesk Revit, para mostrar o desempenho de custo e de prazo de uma obra em curso num ponto específico do tempo e utilizando um modelo tridimensional BIM. Para isso, o utilizador deve fornecer os dados de entrada necessários com o uso de dispositivos móveis, como um portátil ou Tablet.

Este artigo está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta uma revisão da literatura que foi conduzida para compreender os conceitos e aplicação do BIM e do EVM. A segunda parte explica a metodologia utilizada no estudo. A terceira parte descreve como a ferramenta EVM / BIM foi desenvolvida e implementada, e, finalmente, a última parte apresenta os resultados obtidos num caso-piloto de uma casa residencial. Pretende-se ainda que a ferramenta seja expandida de forma a identificar variáveis exteriores e assim identificar quais as áreas que, sendo sensíveis em termos do seu índice de desempenho, possam ser alvo de intervenção imediata pelo gestor da construção.

2. Revisão de literatura

2.1 BIM e a Gestão da Construção

O BIM permite criar um modelo 3D de um empreendimento de construção, podendo reunir todas as informações produzidas durante todo o seu ciclo de vida [1]. Torna-se, assim, um poderoso instrumento de apoio na otimização do projeto em relação ao custo e prazo, permitindo melhorar, por exemplo, a eficiência do cálculo das quantidades de materiais, que se torna especialmente importante durante a fase de estimativa dos custos de produção [1]. Este aspeto foi destacado por Manning & Messner [3] como um dos principais benefícios do BIM, quando implementado em dois projetos de construção nos Estados Unidos, um laboratório de investigação médica e um centro de saúde.

Em relação à análise e planeamento da construção, os métodos tradicionais apresentam algumas fragilidades, sendo métodos morosos e propensos ao erro [4], principalmente devido à falta de aplicações de software para auxiliar [5]. No entanto, uma exploração eficiente dos dados em BIM pode ajudar a alcançar reduções significativas de tempo, por exemplo, através da geração de cronogramas de construção de forma automatizada [6-7].

O BIM também está a mudar a abordagem a respeito da segurança na construção, o que constitui uma questão da maior relevância. Por exemplo, no Centro de Pesquisa Técnica Estatal da Finlândia foi desenvolvido um procedimento que recorre à tecnologia BIM para visualizar o nível de segurança contra quedas de um varandim [8]. Zhang et al [9] também desenvolveu um sistema de verificação automática baseada em regras de segurança para proteção contra quedas baseado em software BIM, com foco em possíveis riscos de queda, como aberturas sejam elas janelas desprotegidas, ou buracos nas lajes.

2.2 Conceito do EVM (Earned Value Management)

O EVM é uma técnica de gestão utilizada em diferentes áreas, tais como nas tecnologias da informação (TI's) ou na construção, que visa monitorizar o custo, o cronograma, bem como o desempenho técnico de um projeto [10]. Um dos seus principais usos é a previsão de custos e prazos do projeto através do uso de indicadores de desempenho [11]. Constitui também um alerta precoce de problemas de desempenho quando devidamente aplicado [12].

O conceito baseia-se na interpretação de três parâmetros que permitem o cálculo dos indicadores de desempenho. O primeiro parâmetro é o valor previsto (VP), que é o custo do trabalho planeado do projeto que deveria ser realizado até um dado momento [13]. O valor mais elevado e último do VP é o valor na conclusão (VC), correspondente ao orçamento total base definido para uma determinada atividade [14]. O segundo parâmetro é o custo real (CR), que representa o valor total dos recursos que foram utilizados para o trabalho efetivamente realizado num determinado instante. Para obter esse valor, o utilizador precisa ter um sistema de monitorização de custos ao longo do tempo, por componente do projeto. O último parâmetro é o Valor Adquirido (VA), que representa a quantidade de trabalho realizado até à data ou num determinado período. Existem diferentes maneiras de avaliar o VA. No entanto, a técnica mais simples e mais fácil é baseada na determinação da percentagem concluída, isto é, a percentagem do trabalho realizado em cada período de medição pelo responsável [13].

2.3 Sinergias BIM e EVM

Individualmente, o EVM representa uma das metodologias de controlo de projetos com mais potencial de melhoria da produtividade e o BIM surge como um apoio á gestão de projectos, de acordo com uma investigação feita a 50 gestores de projeto internacionais [11]. Vários estudos atestam o potencial de combinar estes dois conceitos no âmbito da gestão da construção. Por exemplo, na Polónia, Foremny, Kluczuk e Nical [15] desenvolveram um sistema móvel de Gestão de Valor Acrescentado (Mobile Earned Value Management System) com o objetivo de aumentar a velocidade e qualidade da monitorização do custo e prazo in-situ. Marzouk e Icham [16] também implementaram o EVM em Bridge Information Modelling (BrIM) - uma aplicação do conceito BIM em pontes, propondo uma aplicação de orçamentação baseada em BIM, que integra o conceito EVM para controlar custos e prazos durante a fase de execução do projeto.

Com uma abordagem diferente, a combinação de 3D Laser Scanning e EVM pode também ser potenciada como uma forma eficiente de avaliar o desempenho da construção de uma obra. O Laser Scanning tem sido considerado como a melhor tecnologia disponível na AEC/FM para capturar informações 3D com velocidade e precisão num projeto [17], apoiando, por exemplo, a reconstrução de modelos 3D BIM com base em nuvens de pontos 3D de estruturas existentes [18]. A comparação entre esses modelos e o estado planeado, com base no modelo BIM, permite

realizar uma análise EVM e, assim, obter o desempenho do custo e prazo de obras de construção. Este princípio foi utilizado já na mecânica, eletricidade e hidráulica [18], estruturas de aço e estruturas de betão armado [19].

3. Método de Investigação

O objetivo deste estudo foi a criação de uma ferramenta EVM / BIM capaz de apoiar os gestores da construção durante a fase de execução, mostrando o desempenho de custo e prazo num modelo BIM. Para alcançar este objetivo, foi desenhado um modelo conceptual da ferramenta para delinear o contexto da sua utilização, os diferentes componentes, a tecnologia utilizada e o modo de operar com a ferramenta. Em segundo lugar, foi criada uma tabela do Excel, onde todos os dados de entrada necessários para todas as tarefas do cronograma do projeto devem ser inseridos manualmente. Esta folha permite executar o cálculo dos diferentes indicadores EVM de uma forma automática, sendo estes apresentados por tarefa, em primeiro lugar, e, em seguida, para todos os elementos que constituem o modelo de BIM, assumindo que todos estes elementos são conhecidos. Em terceiro lugar, foi desenvolvido um algoritmo em Dynamo para implementar a ligação automática entre o ficheiro de Excel e o software BIM. O Dynamo é um suplemento de programação visual do Autodesk Revit que permite automatizar várias operações baseadas no modelo BIM e foi, neste caso, utilizado para realizar uma troca de informações desde o Revit para o Excel, pela extração de uma lista de todos os elementos e suas propriedades a partir do modelo Revit para uma tabela, e do Excel para o Revit, pela recolha de informações de todos os elementos ao nível do seu desempenho. Posteriormente, com base nesses indicadores de desempenho, o Dynamo foi também usado para colorir os elementos no modelo BIM de acordo com o seu indicador de desempenho. Para isso, foram definidos 9 estados, que correspondem a 9 cores diferentes. Finalmente, vários ensaios foram realizados para testar o protótipo de ferramenta, com base num modelo Revit de uma casa residencial.

4. Desenvolvimento da ferramenta EVM / BIM

4.1 Modelo Conceptual

A Figura 1 apresenta o modelo teórico da ferramenta EVM/BIM. Em primeiro lugar, o gestor deve preencher uma folha de Excel com a lista das tarefas de construção e respetivos parâmetros EVM, o que pode ser feito utilizando um computador ou um dispositivo móvel, tal como um Tablet. Os indicadores EVM são então calculados, e com base nesses indicadores o desempenho é obtido. O próximo passo é o de extrair uma lista de elementos do modelo BIM, o que pode ser conseguido utilizando a utilização do Dynamo. A lista de tarefas e a lista de elementos são pré-conectados ao arquivo Excel, de modo a que quando um desempenho é atribuído a uma tarefa, todos os elementos relacionados possam obter o desempenho correspondente. Assim, a cada elemento é atribuído um desempenho EVM e o modelo BIM é então colorido usando o Dynamo, seguindo o sistema de código de cores estabelecido

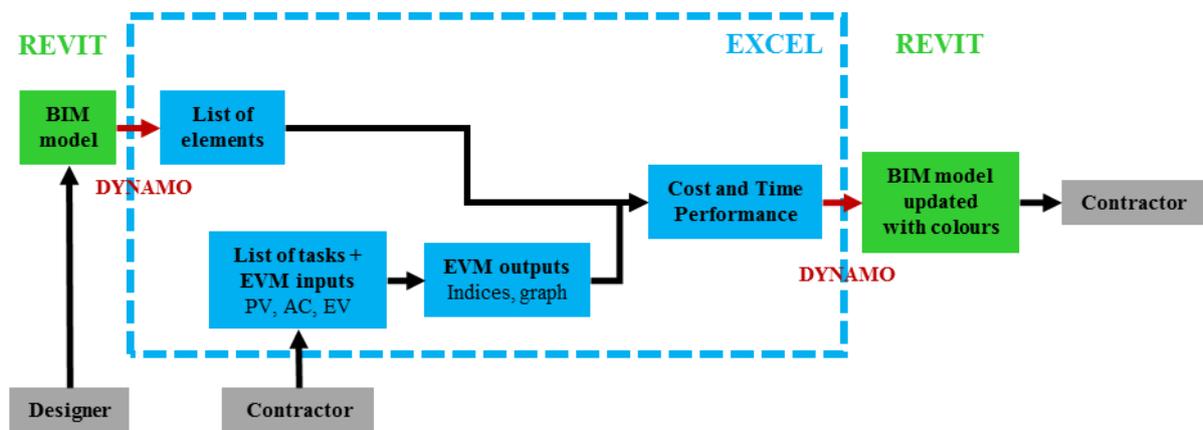


Figura 1: Modelo conceitual teórico da ferramenta EVM / BIM.

4.2 Criação da interface Excel

O ficheiro Excel é composto por 7 folhas diferentes. A primeira folha contém os termos de uso da interface. Descreve o código de cores utilizado e apresenta o modo de funcionamento, ou seja, o que o utilizador tem que fazer em cada folha. As três folhas seguintes são para o VP, o CR e o VO, devendo ser preenchidas pelo utilizador com os dados de entrada para um dado momento. Finalmente, as três últimas folhas mostram o desempenho do projeto por atividade, por elemento, e o global. A quinta folha designada "Performance per Activity" é a mais importante. Na verdade, ela reúne, para cada atividade, o VP acumulado, CR e VO para que a Variação do Prazo (VP) e Variação de Custo (VC) sejam calculados, com as seguintes fórmulas:

$$VP = VO - VP \quad (1)$$

$$VC = VO - CR \quad (2)$$

A VP permite conhecer se o projeto está adiantado, ou em atraso; a VC se o projeto está acima, abaixo ou de acordo com o orçamento. Assim, depois de calcular esses indicadores, o desempenho EVM é obtido para cada tarefa. Para cada desempenho é atribuído um número e uma cor (Tabela 1). Em seguida, na sexta folha, "Desempenho por elemento", um determinado desempenho é atribuído a cada elemento do modelo 3D, de acordo com a folha anterior. Finalmente, a última folha, "Desempenho Global", reúne todas as entradas para obter um gráfico com VP, VR e evolução do VA ao longo do tempo, para apresentar o desempenho geral EVM de todo o projeto.

Tabela 1: Sistema de código de cores.

Desempenho e Cor		VP	VC
0	Elemento/Tarefa ainda não executada	/	/
1	Adiantado e abaixo do orçamento	> 0	> 0
2	Adiantado e de acordo com o orçamento	> 0	= 0
3	Adiantado e acima do orçamento	> 0	< 0
4	Dentro do prazo e abaixo do orçamento	= 0	> 0
5	Dentro do prazo e de acordo com o orçamento	= 0	= 0
6	Dentro do prazo e acima do orçamento	= 0	< 0
7	Atrasado e abaixo do orçamento	SV < 0	CV > 0
8	Atrasado e de acordo com o orçamento	SV < 0	CV = 0
9	Atrasado e acima do orçamento	SV < 0	CV < 0

4.3 Interoperabilidade entre Excel e Revit

As interfaces de programação visual tornaram-se uma ferramenta importante para as áreas de projeto e construção. Elas fornecem uma alternativa à programação tradicional, substituindo a elaborada codificação convencional com um sistema visual de conectar pequenos blocos de funcionalidades independentes para o sistema como um todo [20]. O Dynamo é uma dessas interfaces de programação visual, que funciona como um plug-in para o Autodesk Revit, estendendo as suas capacidades de modelação paramétrica. O utilizador interage com Dynamo usando elementos chamados "nós". Cada nó tem um número de "portas" para permitir a comunicação entre os restantes nós ao longo de "conectores". As portas de "entrada" só podem ser conectadas a outras portas cujo tipo de "saída" coincida com o tipo de entrada dessa porta (Figura 2). Todos os elementos ligados criam o "fluxo" [21].

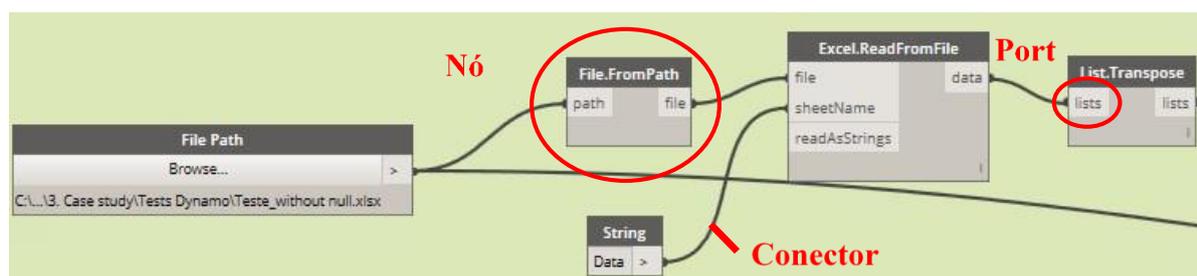


Figura 2: Extrato do algoritmo em Dynamo.

Neste estudo, é necessária uma permuta de diversa informação entre o modelo BIM e o Excel. Como já referido, o Dynamo foi a interface escolhida para realizar esta interoperabilidade bidirecional, enquanto que o Excel foi usado para calcular o desempenho por elemento, depois de receber informações do Revit. Assim, o Dynamo foi utilizado para 4 funções essenciais, que são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: principais funções do Dynamo utilizadas.

Função	Principais “nós” utilizados	Descrição
1. <i>Extração de Informação (número de identificação do elemento e “Número da Tarefa”)</i>	“All Elements of Category”	Os elementos a partir dos quais a informação será extraída são seleccionados. Esta seleção é feita por categorias.
	“Select Model Elements”	A seleção pode também ser feita manualmente, seleccionando-se diretamente no modelo em Revit.
	“Element.GetParameterByName”	Assim que a lista de elementos é obtida, o Dynamo permite obter o valor de qualquer parâmetro existente em determinado elemento. É apenas necessário que este nó receba como entrada o nome exato desse parâmetro.
	“Element.Id”	O ID do elemento é diretamente obtido com este nó.
2. <i>Enviar informação para o Excel</i>	“Live Write Excel”	O objetivo é inserir as listas obtidas anteriormente numa tabela da folha “Desempenho por Elemento”. Este nó permite escrever essa informação no ficheiro Excel ativo.
3. <i>Ler dados do Excel</i>	“Excel.ReadFromFile”	Nesta fase, no ficheiro Excel, a cada elemento previamente identificado pelo seu ID é atribuído um índice de desempenho entre 0 e 9.
4. <i>Atualizar o modelo BIM</i>	“List.FilterByBooleanMask”	O objetivo é filtrar a lista de acordo com o índice de desempenho, ou seja, separar em grupos de elementos de acordo com cada índice de desempenho
	“Element.OverrideColorInView”	Em seguida é atribuída uma cor a cada grupo de acordo com a Tabela 1.
	“Element.Temporarily IsolateInView”	Este nó permite que apenas os elementos aos quais foram atribuídas cores sejam mostrados na vista 3D do Revit.

4.4 Desafios

O maior desafio do estudo foi a conexão entre a lista de atividades e a lista de elementos. Até ao presente, a ligação entre objetos e tarefas é feita manualmente [1], visto não existir nenhum processo automatizado para conectar objetos com as tarefas [7]. Nesta ferramenta, esta ligação é necessária porque, quando o desempenho por tarefa é obtido, os elementos têm também de ser creditados de um valor de desempenho. Normalmente, um planeamento apresenta o seguinte formato ou, se não, é fácil de se converter no seguinte formato:

1. Sapatas

1.1. Cofragem, etc.

Isto requer que a cada tarefa seja atribuído um número hierárquico como "1.1.2.". Portanto, a solução para isso é criar no Revit um parâmetro partilhado chamado "número da tarefa". O número de tarefa de um elemento corresponde ao número da tarefa em que está envolvido. Esta atribuição pode ser feita manualmente ou diretamente no Revit usando mais uma vez o Dynamo, que é mais expedito. O próximo passo envolve a transferência da lista de elementos

com a respetiva identificação (ID) e o número da tarefa para a folha de Excel intitulada "Desempenho por elemento".

5. Resultados

O protótipo foi testado num modelo Revit de uma casa residencial com uma tipologia T3, com 2 pisos e uma área de 325 m². Antes de se iniciarem as simulações, foi elaborado um cronograma de construção, com base no qual foram introduzidos os números de tarefa correspondentes a cada elemento no arquivo do Revit, desde a construção das fundações até à instalação de mobiliário residencial. A introdução destes dados foi feita usando um código de Dynamo com o nó "Element.SetParameterByName" que muda o valor de um parâmetro para um determinado valor de entrada.

De seguida, foram feitas simulações correspondentes a dois cenários distintos, um com as obras a começar bem, mas a acabar de forma crítica e outro considerando a situação oposta. Estas simulações são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Apresentação das simulações.

Simulação	Estado da construção	Cenário/Pressupostos
Cenário 1.a: Otimista	Os elementos de fundação estão terminados. No piso 0 a laje, paredes e pilares estão terminados. No piso 1, a laje, as vigas, as paredes e as colunas estão terminadas	As tarefas encontram-se concluídas com um nível de desempenho igual ou inferior a 5 (exceto o 3), o que significa que nada está acima do orçamento ou atrasado.
Cenário 1.b: Pessimista	Todos os elementos estruturais e não estruturais estão terminados	As tarefas remanescentes possuem desempenho superior ou igual a 5 (ou igual a 3) o que significa que os trabalhos correspondentes estão acima do orçamento e/ou atrasados.
Cenário 2.a: Pessimista	O mesmo que 1.b Parte 1	As tarefas completas possuem desempenho superior ou igual a 5 (ou igual a 3).
Cenário 2.b: Otimista	O mesmo que 1.a Parte 2	As tarefas remanescentes possuem desempenho inferior ou igual a 5 (exceto o 3).

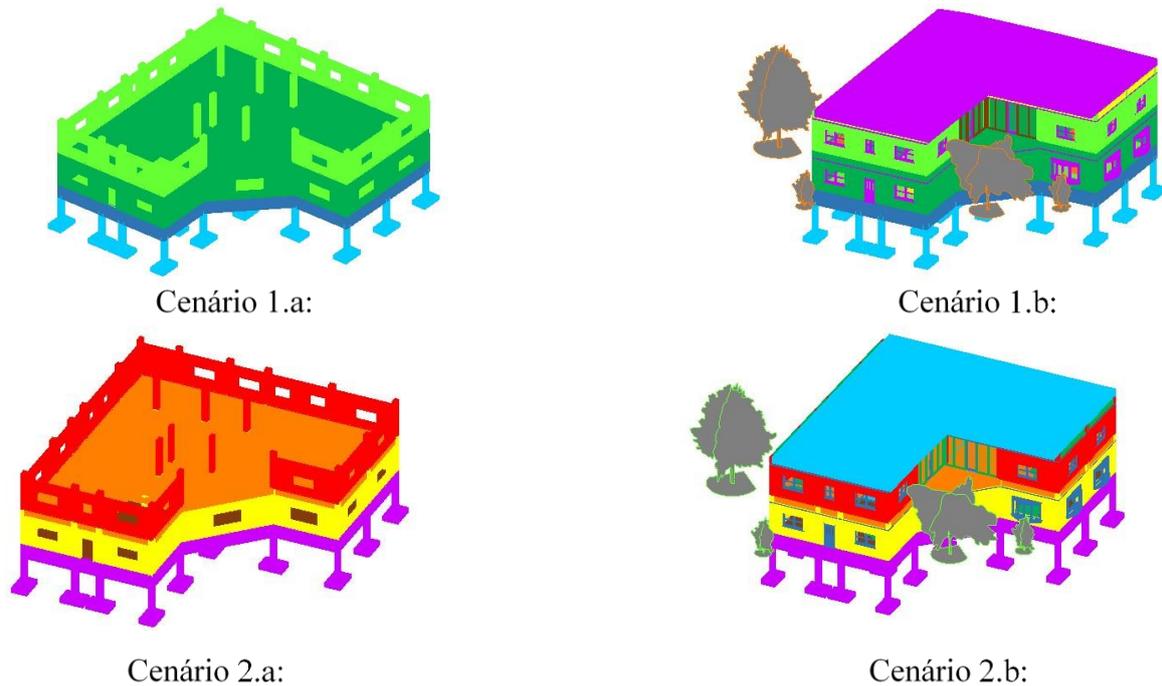


Figura 3: Resultados obtidos.

A Figura 3 ilustra os resultados obtidos em vista temporária, para as quatro simulações que representam o contorno da casa. No entanto, se o objetivo é visualizar a parte não estrutural da casa, tais como equipamento ou paredes divisórias, devem ser fornecidas outras vistas. Neste caso, é mais apropriado para fazer uma vista de corte da casa.

As vistas apresentadas mostram que a transposição do desempenho de tarefas para o Revit elementos foi bem-sucedida, uma vez que as cores refletem as suposições feitas. Pode verificar-se que, com o código de cor, é fácil identificar quais são as áreas sensíveis do projeto. As cores frias, por exemplo, azul e verde são indicativos de que não existem problemas, enquanto as cores quentes por exemplo vermelho e amarelo alertam para um aspeto crítico. Além disso, os números de identificação estão disponíveis na folha de Excel "Desempenho por elemento", podendo o utilizador ter acesso a qualquer elemento caso pretenda ter mais informações, se necessário.

No entanto, a utilização da ferramenta neste caso piloto possui várias fragilidades. Em primeiro lugar, a entrada manual de números de tarefas no modelo Revit é inconveniente, porque é bastante propenso a erros. Além disso, a conexão não automatizada entre tarefas e elementos requer que o cronograma, ou mais especificamente a ordem das tarefas, não mude. Caso contrário, a entrada de números de tarefa tem de ser repetida e, para grandes projetos, pode ser demorado. Em segundo lugar, uma vez que o Revit é orientado a objetos, o nível de detalhe do calendário não pode ser sempre transposto para o modelo. Por exemplo, a tarefa "Acabamento das paredes" é uma tarefa que não se considera de forma individual, porque o elemento "parede" inclui todas as tarefas relacionadas com este elemento, inclusive as relacionadas com os acabamentos. Além disso, a conexão elemento / tarefa não é necessariamente unívoca. Assim,

a eficiência da transposição para a tarefa elemento é limitada pelo elemento de inserido no modelo Revit.

6. Conclusões

A ferramenta EVM / BIM criada mostrou que o EVM é uma técnica de gestão poderosa que permite ao utilizador visualizar facilmente o desempenho do custo e tempo de uma obra com a ajuda de um sistema de código de cores. O estudo piloto é globalmente positivo. No entanto, as simulações apresentadas foram duas situações extremas: uma otimista e outra pessimista. Normalmente, a realidade é mais complexa, por isso, a fim de verificar a sua verdadeira eficácia, com um maior desenvolvimento, a ferramenta deve ser testada em condições reais. Um caso de estudo concreto permitiria também ter algum feedback dos gestores da construção, a fim de verificar se a ferramenta é útil para alertá-los quando uma situação se torna crítica em termos de prazo e/ou custo, e ajuda na tomada de decisões mais eficientes. Finalmente, a ferramenta tem um bom potencial para um uso mais automatizado.

Referências

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sack and K. Liston, *BIM Handbook, A Guide for Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*, 2nd ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [2] B. Hardin, *BIM and Construction Management*, Indianapolis: Wiley Publishing, 2009.
- [3] R. Manning and J. Messner, “Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities,” *ITcon*, vol. 13, pp. 246-257, 2008.
- [4] N. Chevallier and A. Russel, “Automated schedule generation,” *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 26, no. 6, pp. 1056-1077, 1998.
- [5] E. Tauscher, E. Mikulakova, E. Beucke and M. König, “Automated generation of construction schedules based on the IFC object model,” *Computing in Civil Engineering 2009*, pp. 666-675, 2009.
- [6] M. Kataoka, “Automated generation of construction plans from primitive geometries,” *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 134, no. 8, pp. 592-600, 2008.
- [7] H. Kim, K. Anderson, L. SangHyun and J. Hildreth, “Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology,” *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 285-295, 2013.
- [8] K. Sulankivi, K. Kähkönen, T. Mäkelä and M. Kiviniemi, “4D-BIM for Construction Safety Planning,” 2010. [Online]. Available: http://www.vtt.fi/files/sites/bimsafety/bim_safety_cib2010_1167.pdf. [Accessed 11 November 2015].
- [9] S. Zhang, J. Teizer, J.-K. Lee, C. M. Eastman and M. Venugopal, “Building Information Modeling (BIM) and Safety: Automatic Safety Checking of Construction Models and Schedules,” *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 183-195, 2013.
- [10] Q. Fleming and J. Koppelman, *Earned value project management*, 4th ed., Newtowns Square: Project Management Institute, 2010.

- [11] R. Kenley and T. Harfield, “Construction Project Control Methodologies and Productivity Improvement: EVM, BIM, LBM,” in Engineering, Project, and Production Management Conference, Gold Coast, Australia, September 2-5, 2015.
- [12] W. Abba, “How Earned Value Got to Prime Time: A Short Look Back and Glance Ahead,” 2000. [Online]. Available: <http://www.evmlibrary.org/library/EVLook%20Back-Glance%20Ahead.abba.pdf>. [Accessed 28 October 2015].
- [13] Project Management Institute, Practical Standard for Earned Value Management, Newtowns Square: Project Management Institute, 2005.
- [14] F. Anbari, “Earned Value Project Management Methods and Extensions,” Project Management Journal, vol. 34, no. 4, pp. 12-23, 2003.
- [15] Foremny, P. Kluczuk and A. Nicał, “Design and implementation of automated, mobile construction projects monitoring system (MEVMS) based on Earned Value Management as an element of BIM in the execution stage,” in Creative Construction Conference 2014, Prague, Czech Republic, June 21-24, 2014.
- [16] M. Marzouk and M. Hisham, “Implementing Earned Value Management using Bridge Information Modeling,” KSCE Journal of Civil Engineering, pp. 123-130, 20 May 2014.
- [17] G. Jacobs, “3D scanning: Using multiple laser scanners on projects,” Professional Surveyor Magazine, vol. 28, 2008.
- [18] F. N. Bosche, A. Guillemet, Y. Turkan, C. T. Haas and R. Haas, “Tracking the built status of MEP works: Assessing the value of a Scan-vs-BIM system,” Journal of Computing in Civil Engineering, pp. 1-28, July/August 2014.
- [19] Y. Turkan, F. N. Bosche, C. Haas and R. Haas, “Toward automated earned value tracking using 3D imaging tools,” Journal of Construction Engineering and Management, 2013.
- [20] S. Boeyckens and H. Neuckermans, Visual Programming in Architecture: Should Architects Be Trained as Programmers?, T. Tidafi and T. Dorta (eds) Joining Languages Cultures and Visions: CAADFutures 2009 CD-Rom, 2009.
- [21] I. Keough, Dynamo: designing a visual scripting interface for the Revit API (notes), See also <https://github.com/ikeough/Dynamo/wiki> for more information about coding Dynamo, 2011.

FERRAMENTAS BIM DE APOIO À GESTÃO DE OBRA

Joana Araújo ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾, João Pedro Couto ⁽³⁾

(1) Universidade do Minho, Guimarães

(2) BIMMS, Porto

(3) Universidade do Minho, Guimarães

Resumo

Ao contrário de outras indústrias, onde se privilegia a produção em série e em ambientes controlados, a indústria da construção tem, em cada projeto, um produto único, variando a localização, a forma e a diversidade dos materiais aplicados, o que dificulta a implementação sistemática de processos de gestão neste tipo de empreendimentos.

Na ótica da construção, as direções de obra têm procurado aplicar diversas ferramentas para o controlo dos custos e dos prazos da obra, mas que, usualmente, não estão interligados. O BIM (*Building Information Modeling*) surge como resposta a esta problemática, como metodologia colaborativa integrada.

Este artigo tem como principal objetivo, apresentar um conjunto de ferramentas de gestão que controlam melhor o tempo e o custo ao longo da construção, integrando-as com o BIM 4D e 5D.

Como exemplo prático, modelou-se um edifício de serviços em REVIT, aplicou-se a *clash-detection* a esse modelo através do Solibri Model Checker e incluiu-se o faseamento construtivo com o Navisworks Manage. A partir deste, integraram-se gráficos, tabelas dinâmicas de tempos e custos, baseados no *Earned Value Management* (EVM).

Através desta metodologia resultou um modelo de cores identificativas dos elementos e do estado da construção para uma determinada data estado.

1. Introdução

Atualmente, a indústria da arquitetura, engenharia e construção (AEC) está perante mudanças e desafios desde a ordem tecnológica até às preocupações energéticas atuais e da melhoria de

produtividade [1]. A competitividade no setor é outra razão das mudanças que se vivem: a necessidade de produzir mais, melhor e em menos tempo são um novo desafio para as empresas do setor que queiram sobreviver no mercado [2].

Segundo vários autores [3]–[5], a indústria da construção é caracterizada por ser diversificada em vários domínios, comparativamente com outras atividades industriais.

O maior indicador desta realidade é a relação tempo/custo/dimensão entre o projeto, a execução e a entrega final do produto. Ao contrário das indústrias não-agrícolas, que incorporam a produção em série de produtos de pequena a média dimensão, a indústria da AEC é caracterizada por um produto único, não propenso a produção em massa e a processos contínuos e repetitivos [3], [4].

Por outro lado, o ciclo-de-vida do projeto encontra muitas vezes situações caóticas na contribuição de vários agentes, que usam diferentes métodos e formatos para organizar e entregar a informação. De certa forma, estes fatores tendem a desencorajar os profissionais da indústria AEC em colocar esforço na garantia da qualidade e especificação das tarefas do projeto. Estando perante um desafio no desenvolvimento da sua produtividade, de uma forma mais flexível [3].

Numa obra existem fatores nos quais se associa um grau de incerteza, tais como acidentes de trabalho, avarias ou condições atmosféricas inesperadas, entre outros. Contudo, a maioria dos fatores de incerteza está ligada a fatores humanos resultantes de uma deficiente gestão do tempo e dos recursos [6].

Um estudo feito por Paul Teicholz [7] sobre o declínio da produtividade na indústria da construção, mede uma taxa geral de declínio com uma linha de tendência de -0.32% por ano, em contrapartida à tendência positiva de 3.06% por ano das indústrias não-agrícolas. Este impacto ao longo de 48 anos é bastante significativo (desde 1964 a 2012).

Building Information Modeling (BIM) é uma das recentes tecnologias mais promissoras na indústria da AEC [5], [8]. Segundo Eastman [5], num modelo BIM, um ou mais modelos virtuais de um edifício são produzidos digitalmente servindo de suporte ao projeto e aos seus envolventes.

2. Enquadramento teórico

2.1 Gestão de Obra – *Earned Value Management* (EVM)

A obtenção de Feedback torna-se relevante no sucesso de um projeto [9]. A obtenção de informação atempadamente e de forma orientada permite ao gestor de projeto identificar e antecipar problemas, e fazer ajustes que mantenham o projeto dentro dos prazos e custos estipulados.

Assim, o EVM fornece um sistema de gestão que permite a monitorização integrada, de custos e prazos, fornecendo indicadores de desempenho sobre o estado do projeto e estimativas para a sua conclusão.

Este método baseia-se essencialmente em três métricas de medição: o valor do orçamento planeado (*Planned value*), o valor orçamentado para os trabalhos realizados (*Earned Value*) e o custo real dos trabalhos realizados (*Actual Cost*).

O *Planned Value* (PV) ou *Budgeted Cost of Work Schedule* (BCWS), em português Custo orçamentado acumulado para o planeamento ao longo do plano base, descreve a evolução que o projeto deverá ter para qualquer ponto do planeamento.

O *Earned Value* (EV) ou *Budgeted Cost of Work Performed* (BCWP), é o custo orçamentado dos trabalhos realizados para um determinado instante ou plano base.

Trata-se de um medidor do trabalho elaborado em termos de orçamento e pode ser representado pelo valor acumulado dos custos orçamentados associados a todas as atividades realizadas até a data de estudo.

Por fim, o *Actual Cost* (AC) ou *Actual Cost of Work Performed* (ACWP), é o custo real dos trabalhos realizados, ou seja, o que efetivamente foi gasto com os trabalhos realizados.

Estas três métricas podem ser representadas e interpretadas com base no gráfico genérico da Figura 1, sendo o PV, EV e o AC representados por três curvas tipo-S, e medidos como referido anteriormente a partir de uma data de estado (status date).

Com base nestas três medidas e a introdução de uma quarta data, *Budget at completion* (BAC) ou orçamento total previsto na conclusão do projeto, desenvolvem-se os restantes desvios/variações, índices de medição e previsões relativamente aos prazos e aos custos. O gráfico da Figura 1 permite representar estas relações e dar informação das equações de cálculo, e a Tabela 1 em interligar medir os vários índices [9]–[11].

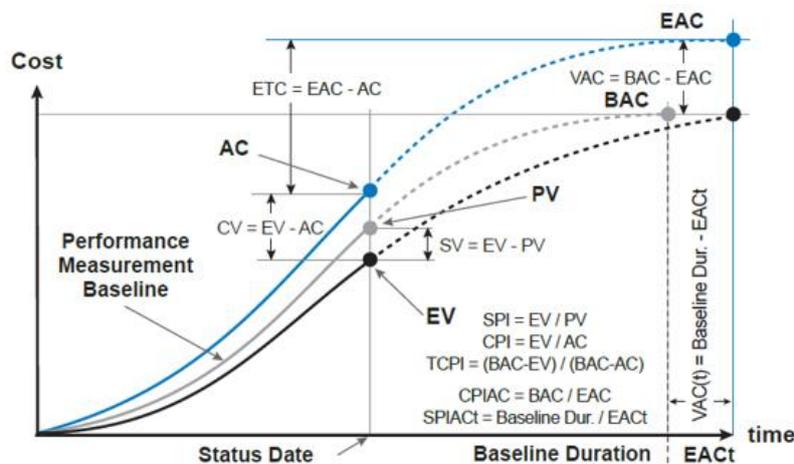


Figura 1: Gráfico Tipo EVM, [12].

Tabela 1: Quadro de medição do projeto com base nos índices de tempo e custo, [11].

	SV > 0 & SPI > 1	SV = 0 & SPI = 1	SV < 0 & SPI < 1
CV > 0 & CPI > 1	Projecto adiantado Abaixo do orçamento	Projecto no prazo Abaixo do orçamento	Projecto atrasado Abaixo do orçamento
CV = 0 & CPI = 1	Projecto adiantado Iguar ao orçamento	Projecto no prazo Iguar ao orçamento	Projecto atrasado Iguar ao orçamento
CV < 0 & CPI < 1	Projecto adiantado Acima do orçamento	Projecto no prazo Acima do orçamento	Projecto atrasado Acima do orçamento

2.2 BIM

Para além de uma geometria paramétrica precisa, os modelos BIM contêm datas e funções necessárias no uso do ciclo de vida de um edifício. Trazem mudanças na forma como a equipa projetista se relaciona, pela integração das fases de projeto e de construção numa plataforma comum, resultando a otimização da construção, reduzindo os custos e a duração dos projetos. A Figura 2 mostra a evolução trazida pelo BIM na interligação das várias fases de trabalho a iniciar no mesmo instante [13], [14].

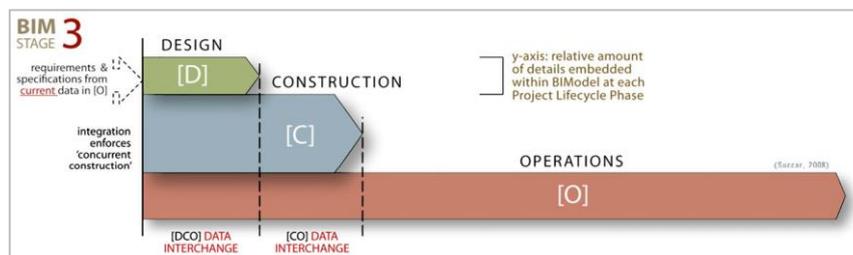


Figura 3: Integração das várias fases da construção, [13].

2.2.1 BIM 4D

O BIM 4D consiste na adição do tempo ao modelo 3D paramétrico.

Os modelos BIM-4D mostram a evolução da construção ao longo do tempo, pela combinação das atividades da construção com os elementos, sendo que o principal objetivo é mostrar visualmente o plano de construção, as áreas afetadas por fases e/ou equipas de trabalho. No planeamento tem como objetivo a criação de um modelo estático de visualização, pela sobreposição de cores de informação (*override* de cores) e divisão dos elementos de construção por implantações e prazos (ver Figura 3) [15].

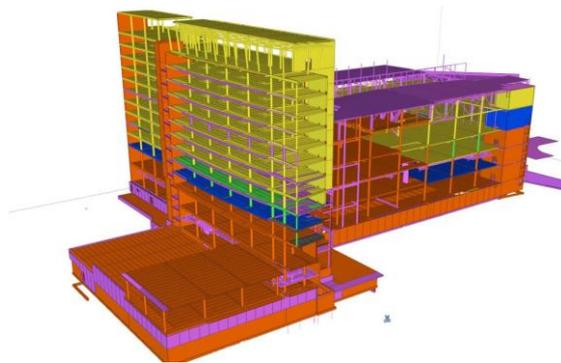


Figura 4: Exemplo de modelo estático de cores, [15].

2.2.2. BIM 5D

O BIM 5D consiste na adição do custo ao modelo BIM (4D) [8].

O 5D integra todo o tipo de informação das datas de custo, como quantidades, cronogramas e orçamentos [16].

O objetivo da utilização do 5D consiste na possibilidade de ter um modelo BIM que gere automaticamente todos os custos e as suas representações em função do tempo. Isto permitiria uma redução instantânea, do tempo despendido com esta fase de projeto, para além de aumentar a precisão das quantidades retiradas, graças à redução das ambiguidades criadas pela utilização de modelos em CAD e pela consulta de informação externa ao modelo [17], [18].

Num estudo elaborado pela McGraw Hill Construction em 2012, [19], relata que a adição dos custos (5D) ao BIM é reconhecido ainda como um processo dificultado, mesmo que se reconheça como um potencial valor do BIM no futuro, caso esta dificuldade seja ultrapassada. Monteiro [20], reconhece ainda que a maioria das ferramentas BIM são capazes de realizar a extração de quantidades, mas não efetuam a estimativa de custo, que geralmente é efetuada num software diferente, sendo esta transferência feita através de um ficheiro em formato IFC que ainda não garante que a totalidade da informação é transferida, existindo assim perda de informação que pode levar, em última análise a quantidades e estimativas incorretas.

3. Aplicação Prática – Metodologia

A metodologia da Figura 4 descreve a estrutura prática deste artigo composto sucessivamente em quatro principais fases de trabalho (identificados a roxo), a modelação 3D do caso de estudo, a identificação de incompatibilidades (*clash-detection*), a simulação 4D e por fim a elaboração de uma análise de gestão com base no método EVM.

Na primeira fase criaram-se modelos de vista que permitem o apoio às restantes fases.

Este esquema identifica os caminhos que foram percorridos para se fazer a gestão de obra e explica também as relações entre os vários softwares usados e como se fez a passagem entre eles.

Por fim resultou uma análise de gestão alicerçada numa animação 4D e num modelo estático de cores identificativas do estado da construção.

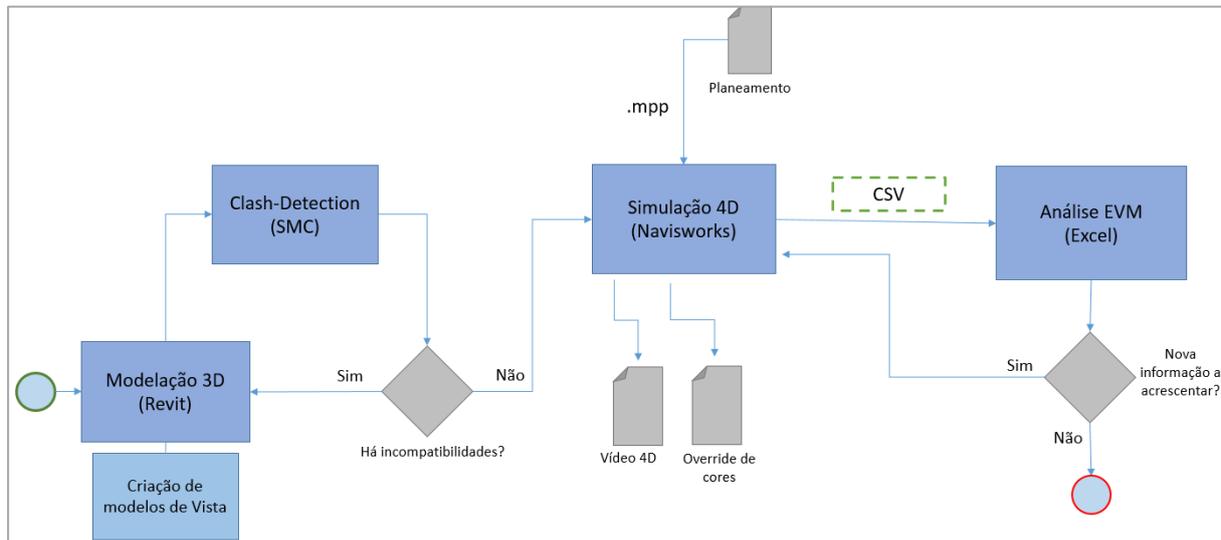


Figura 5: Esquema representativo da metodologia usada.

3.1 Modelação 3D de um caso de estudo

O caso prático trata-se de um edifício de serviços com uma implantação de 1.200 m², com um piso de pé-direito de 4,0 m e com uma altura útil não inferior a 2,0 m.

A modelação 3D destas componentes foi feita de acordo com o faseamento construtivo, para que houvesse uma melhor interação entre o modelo virtual e a realidade e facilitasse mais tarde na ligação das tarefas do planeamento no modelo 4D. Como exemplo, os pilares estruturais foram modelados por pisos, o que permite sequenciar o seu processo construtivo em alturas de betonagem por níveis.

Para a modelação utilizou-se o software Revit 2016, e foram modeladas todas as especialidades, em primeiro as estruturas, a arquitetura e por último as instalações MEP (à exceção das redes elétricas), resultando no modelo federado da Figura 5.

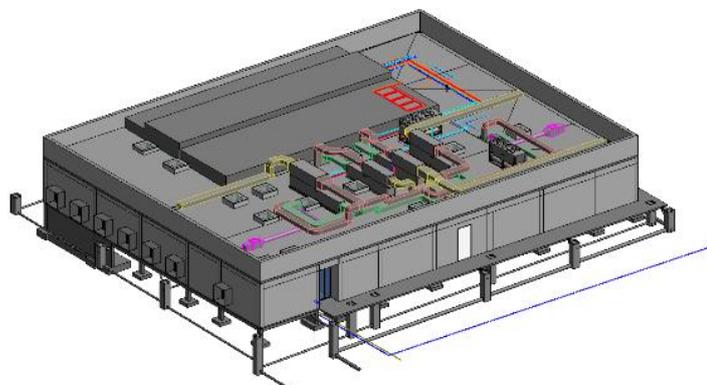


Figura 5: Modelação 3D.

3.2 Modelos de Vista

Após a modelação 3D do edifício houve a necessidade de criar modelos de vista, para que se pudesse seleccionar e visualizar apenas os objetos pretendidos para cada especialidade, e facilitasse na coordenação do modelo e correção das incompatibilidades do mesmo (Passo 2). A criação de vistas no Revit foi elaborada em três passos presentes na Figura 6. Em primeiro, criou-se ‘*project parameters*’ do tipo texto (parâmetro “subdiscipline”) inserido no grupo ‘*visibility*’ do Revit. Depois atribuíram-se filtros ‘*filters*’ para cada disciplina e, por último, gravaram-se ‘*view templates*’ resultando as vistas de objetos de cada especialidade em baixo (ver Figura 7).

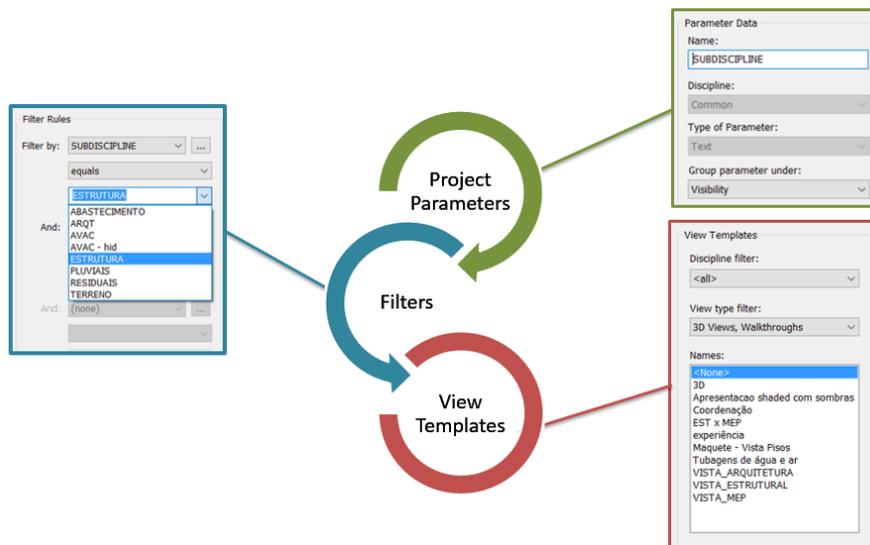


Figura 6: Esquema para criação de modelos de vista no Revit.

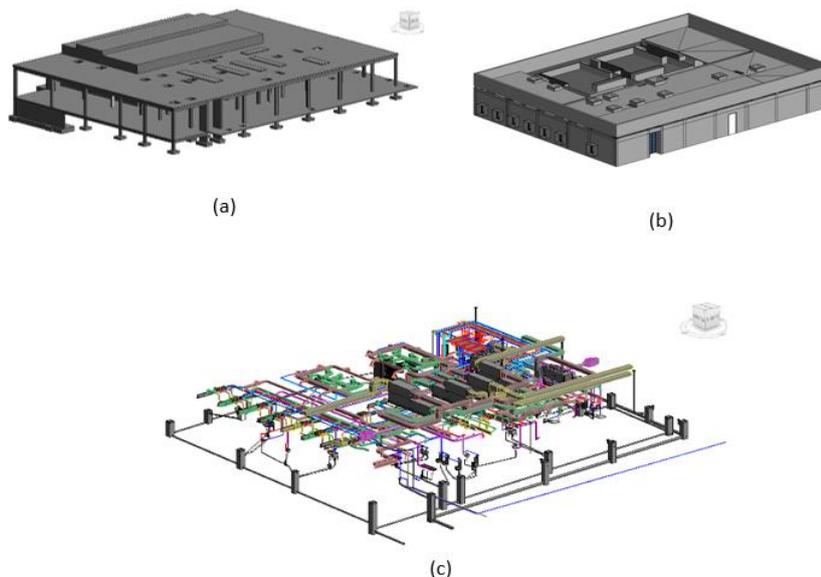


Figura 7: Modelos de vista; (a) Estruturas; (b) Arquitetura e (c) MEP.

3.3 Detecção de conflitos

A deteção de conflitos (*clash-Detection*) é relevante no apoio à gestão de obra, pois permite antecipadamente e de uma forma eficaz perceber onde há incompatibilidades, entre todos os elementos envolvidos no processo da construção (importância devido a grande quantidade de objetos/especialidades e dimensão do projeto).

O software usado para determinação das incompatibilidades foi o Solibri Model Checker (SMC), da *Nemetschek group*, por se tratar de um software bastante completo, não sendo só um identificador das *clashes* mas um bom gestor dos projetos em ambiente BIM.

A interoperabilidade entre o Revit e o SMC fez-se através de três ficheiros IFC 2x3 (Estruturas, Arquitetura e MEP). A coordenação dos três ficheiros é automática no solibri, atribuindo a cada IFC um tipo de serviço.

A deteção é um processo iterativo entre os softwares Revit e SMC, sendo que as regras encontram-se por defeito no Solibri através de um ficheiro (.cset).

Uma vez que se trata de um modelo completo envolvendo todas as especialidades da AEC, é necessário verificar as compatibilidades entre todos os tipos.

Em particular, algumas *clashes* foram importantes de ser estudadas, como a interseção de condutas de AVAC e tubagens de água com os capitéis estruturais.

A compatibilização entre os capitéis e as instalações limitou-se ao espaço livre existente entre a laje da cobertura e o teto falso (cerca de 90 cm). Sendo que em alguns casos, nos espaços onde existiam capitéis (35 cm de espessura) houve um desvio das redes para que se pudessem cruzar com os capitéis e os restantes traçados.

Por fim apresenta-se na Figura 8 a coordenação entre o Solibri e o Revit lado a lado e respetiva correção efetuada no Revit na Figura 9.

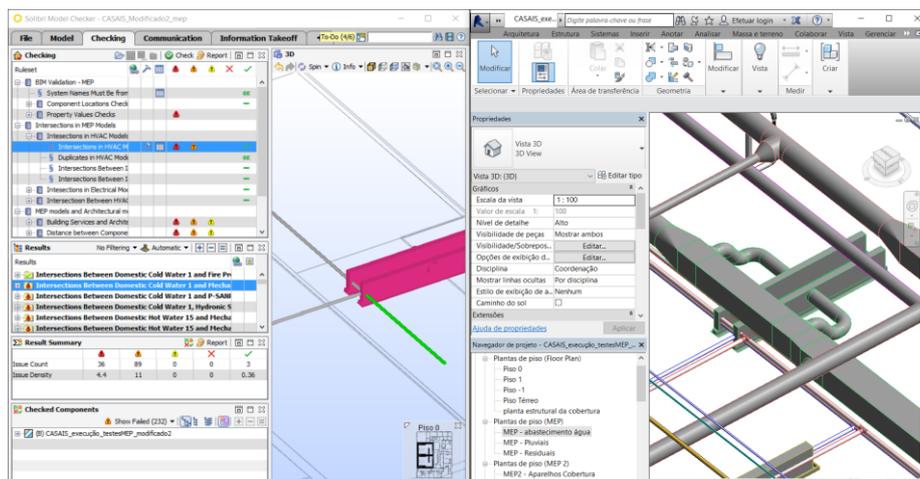


Figura 8: Trabalho colaborativo entre os softwares Revit e SMC.

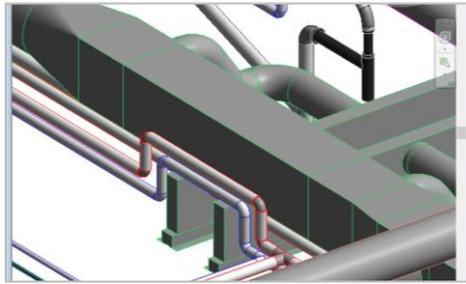


Figura 9: Correção das tubagens no Revit.

3.4 Simulação 4D

A simulação 4D da construção baseia-se na ligação das tarefas do cronograma/planeamento aos objetos da modelação 3D, em função do tempo e do espaço, originando um vídeo 4D.

É importante referir que quanto mais detalhado for o planeamento maior é a qualidade da simulação. Deve também haver uma coerência entre o planeamento e a modelação 3D tal como referido no subcapítulo da modelação.

O planeamento da empreitada fez-se no MS Project 2013 e a exportação direta do modelo do Revit para o Navisworks Manage 2016. A associação dos elementos às respetivas tarefas foi feita pela utilização de ‘*selection sets*’ do Navisworks e do campo ‘*find items*’ usando o parâmetro “subdisciplines” criado no Revit para dividir a informação.

Obteve-se assim a animação 4D.

4. Ferramentas de apoio à gestão de obra

4.1 Planeamento através do MS Project

O primeiro passo para uma boa gestão consiste em definir o melhor possível o planeamento que irá servir de base para a obra, com o detalhe que se pretenda para a mesma. Assim, no Project editou-se o Planeamento inicial por semanas (ver Figura 10), que permitirá ao gestor de obra preencher os custos efetuados em cada semana de construção.

A WBS presente na Figura 10 foi criada pelo Project estruturando as tarefas da construção para este artigo.

Por fim, criou-se duas funções no Project, a “week number” e a “week number finish” que registam em que semana (do ano) corresponde as datas de início e fim planeadas. Estas funções irão guiar na construção das tabelas dinâmicas no Excel e dão informação ao utilizador (gestor de obra).



Figura 10: Planeamento editado no MS Project 2013.

4.2 Ligação do Navisworks ao Excel

Para se poder trabalhar os dados no Excel importou-se um ficheiro CSV gravado do Navisworks e fez-se a ligação desse ficheiro a partir de uma nova folha no Excel (separador ‘Dados’- Ligações, ver Figura 11-(c)).

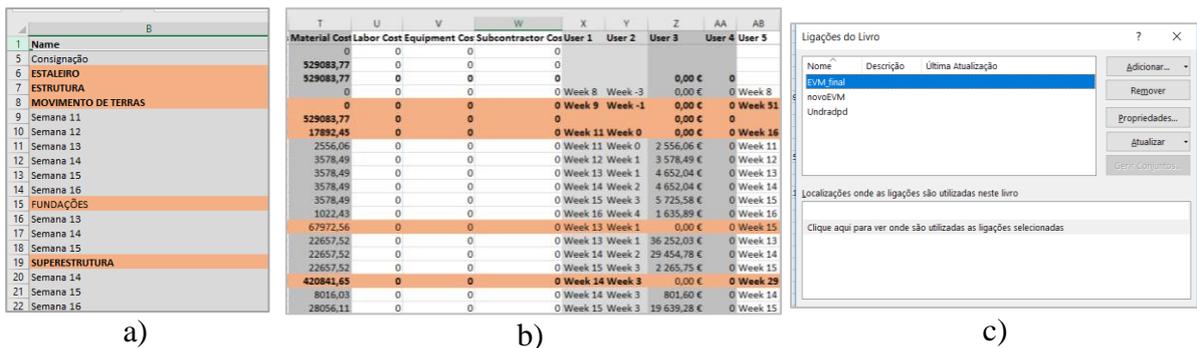


Figura 11: a) Planeamento por semanas; b) Custos e datas das tarefas; c) Ligação Excel.

Esta folha pode ser atualizada sempre que houverem alterações feitas no software de simulação. As colunas das tarefas “Name” (Figura 11-(a)), do registo das semanas de inicio e fim (colunas “X” e “AB” da Figura 11-(b)) e as colunas de custo (ver colunas “T”, “Z” e “AA” da Figura 11-(b)) encontram-se conectadas as restantes folhas para a análise EVM do Excel, de modo a que a informação seja introduzida e editada de forma automática.

4.3 Análise EVM - Gráficos e Tabelas dinâmicas – Excel

Neste artigo apenas será abordada a especialidade de Estruturas para a análise EVM, como validação da metodologia usada em 3.

Pela recolha dos dados dos custos e datas, referidos no subcapítulo 4.2, determinou-se automaticamente os acumulados do PV (azul), EV (verde) e AC (vermelho) e criou-se o gráfico da Figura 12.

Os valores apresentados para o EV e o AC são meramente hipotéticos, para se fazer o estudo presente neste artigo.

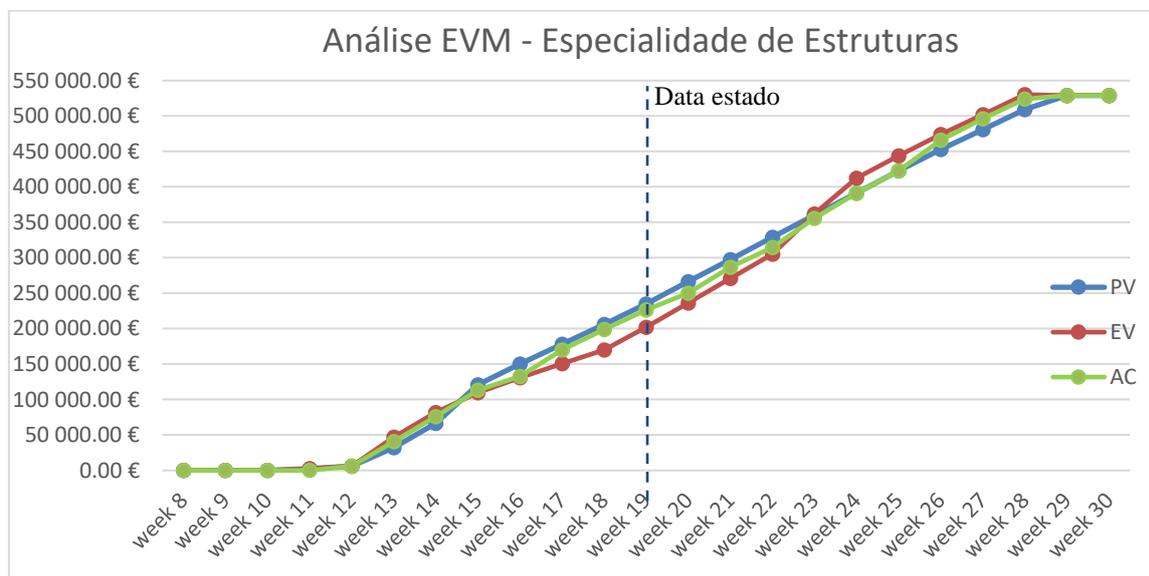


Figura 12: Análise EVM feita no Excel.

Pela análise do gráfico verifica-se que ao longo das semanas 12 a 15 e 23 a 29, a curva EV está por cima da curva PV, ou seja, que se realizou mais trabalho do que o planeado fazer nessas semanas (em termos monetários), e nas semanas 15 a 23 realizou-se menos trabalho do que o planeado, em que no primeiro caso a curva AC está acima da EV e no segundo intervalo abaixo da EV, sucessivamente no primeiro caso gastou-se mais do que o que se planeou, e no segundo caso gastou-se menos do que planeado.

4.4 Análise dos dados – Indicadores EVM

O exemplo da seguinte Tabela 2 apresenta os valores e os indicadores de medição (SV, CV, SPI, CPI) para as semanas da construção até a semana 19, semana de estudo deste artigo para a data estado (ver Figura 12, a reta a tracejado).

Tabela 2: Resultados semanais da construção.

	week 8	week 9	week 10	week 11	week 12	week 13	week 14	week 15	week 16	week 17	week 18	week 19
SV	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	8 533,51 €	9 189,89 €	-17 471,62 €	-25 274,99 €	-33 691,83 €	-42 108,66 €	-39 211,71 €
CV	0,00 €	0,00 €	0,00 €	2 556,06 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €	-10 056,90 €	-7 781,73 €	-25 642,46 €	-35 003,18 €	-30 686,77 €
SV (%)	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,26	0,14	-0,14	-0,17	-0,19	-0,20	-0,17
CV (%)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,06	-0,18	-0,21	-0,16
SPI	1	1	1	1,0	1,0	1,3	1,1	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
CPI	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,9

Pela consulta do quadro da Tabela 1 presente no capítulo 2 percebe-se que o projeto na semana 19 de estudo está atrasado e abaixo do orçamento.

4.5 Representação/ Criação do modelo de cores - Integração do método EVM no BIM

Depois de analisados os indicadores da Tabela 2 do subcapítulo 4.4 e através do ‘DataTools’ no Navisworks atribuíram-se esses dados a uma nova coluna adicionada às propriedades de cada elemento “Override_cores”, que regista a semana da construção, a cor do seu estado, o nome do elemento e o seu ‘Element ID’, ver Figura 13 sublinhado a amarelo no canto inferior esquerdo.

De seguida, através do ‘Appearance Profiler’ seleciona-se essa informação (‘Category’, ‘Property’ e ‘equals’), ver Figura 13 sublinhado a amarelo no canto inferior direito. E por fim, grava-se esse registo através de um ficheiro .DAT.

O modelo de cores (Override de cores) resulta pela seleção desses objetos e pela atribuição da cor que se pretende (ver exemplo da Figura 13), em que os objetos da semana 19 se encontram pintados a vermelho.

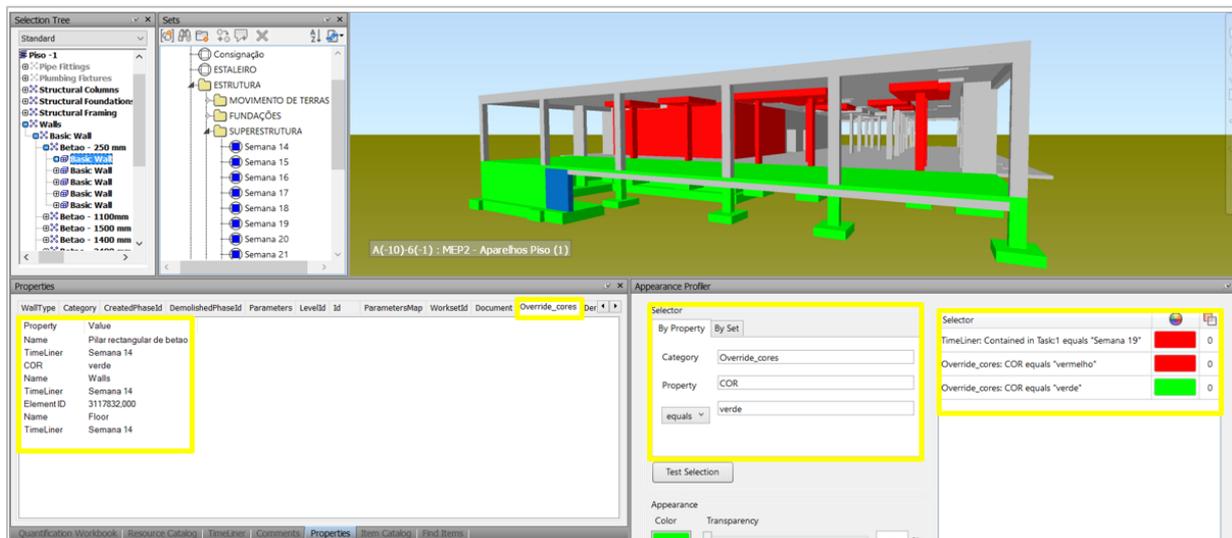


Figura 13: *Override* de cores ligados a análise da Semana 19.

5. Conclusões

O desenvolvimento de trabalhos em BIM permite acrescentar valor aos projetos, sem perda de informação, com as várias especialidades.

Assim, o objetivo deste artigo consistiu em agregar a vária informação do modelo, fornecendo bases que poderiam antecipar os problemas a surgir em obra (compatibilização da modelação), e apresentar ferramentas para a gestão dos custos e do tempo ao longo da construção.

Com base nestes pressupostos concluiu-se que a criação de modelos de vista e de parâmetros para cada objeto da modelação, no software Revit 2016 contribuiu para uma eficiente visualização/ filtro da informação e facilitou nos processos envolvidos no restante software

(SMC e Navisworks Manage 2016), uma vez que o parâmetro “SUBDISCIPLINE” passou eficazmente através de um ficheiro IFC ou por exportação direta (no caso do Navisworks).

Concluiu-se também que a necessidade de um modelo completo (constituído por todas as especialidades) é pertinente, sendo que cada elemento/objeto da modelação 3D pode ser associado de um modo detalhado a tarefa do planeamento correspondente acrescentando a informação necessária para a gestão de obra. Além disso, a *clash-detection* permitiu perceber que haviam colisões entre as várias especialidades antes da construção, havendo a necessidade de reajustar a modelação. Permitiu também a passagem de informação limpa para software de simulação 4D. A integração entre os vários softwares e metodologias de cada capítulo foi conseguida. Por último, de uma forma indireta, é possível integrar a gestão de obra a um modelo BIM, introduzindo a informação relevante no software da simulação 4D e na criação de um modelo estático de cores que acrescenta informação do estado da obra (no tempo e do custo) a cada objeto/ elemento 3D.

Referências

- [1] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012, pp. 24–26, 2012.
- [2] ndBIM Virtual Building, “Uma metodologia avançada de planeamento potenciada pelo BIM,” 2014. [Online]. Available: <http://www.ndbim.pt>. [Accessed: 15-Jun-2015].
- [3] A. Monteiro, P. Mêda, and J. P. Martins, “Framework for the coordinated application of two different integrated project delivery platforms,” *Autom. Constr.*, no. 38, pp. 87–99, 2014.
- [4] P. Teicholz, “Labor Productivity Declines in the Construction Industry: Causes and Remedies.,” 2004. [Online]. Available: <http://www.aecbytes.com/archive-articles/index.html>.
- [5] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [6] H. De Sousa and A. Monteiro, “Linha de Balanço-Uma nova abordagem ao Planeamento e Controlo na Construção,” CD do 2o Fórum Int. Gestão da Construção – GESCON 2011, pp. 1–12, 2011.
- [7] P. Teicholz, “Labor productivity declines in the construction industry: causes and remedies (Another Look),” *AECbytes*, no. 67, 2013.
- [8] S. Azhar, “Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry,” no. Bazjanac 2006, pp. 241–253, 2011.
- [9] PMI, *Practice Standard for Earned Value Management*. USA: Project Management Institute, Inc., 2005.
- [10] PMI, *Practice standard for scheduling*, 2nd ed. Pennsylvania - USA: Project Management Institute, Inc., 2011.
- [11] N. Sousa, “Gestão de Projectos Na Construção - Modelo de avaliação do desempenho em projectos,” Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [12] R. Ambriz and M. Landa, *Dynamic Scheduling with Microsoft® Project 2013 - The Book by and for Professionals*. Plantation, FL: J. Ross Publishing, Inc., 2015.

- [13] B. Succar, “Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders,” *Autom. Constr.*, vol. 18, no. 3, pp. 357–375, 2009.
- [14] Vico Software and Trimble Navigation Limited, “4D BIM Scheduling,” pp. 3–5, 2015.
- [15] US General Services Administration, “04 - GSA BIM Guide for 4D Phasing,” 2009, pp. 6–7.
- [16] P. Smith, “BIM & the 5D Project Cost Manager,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 119, pp. 475–484, 2014.
- [17] I. Kamardeen, “8D BIM modelling tool for accident prevention through design,” 26th Annu. ARCOM Conf., no. September, pp. 281–289, 2010.
- [18] D. Mitchell, “5D Bim : Creating Cost Certainty and Better Buildings,” 2012 RICS COBRA, Las Vegas, Nevada USA, Sept. 11-13, pp. 1–9, 2012.
- [19] McGraw Hill Construction, “The Business Value of BIM in North America,” 2012.
- [20] A. Monteiro and J. Poças Martins, “A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design,” *Autom. Constr.*, vol. 35, pp. 238–253, 2013.

DO MODELO À OBRA – CASO INTERNACIONAL DE PRÁTICA COLABORATIVA

José Carlos Lino ⁽¹⁾, Nuno Pires ⁽²⁾

(1) BIMMS – Building Information Modeling & Management Solutions

(2) ImasD Consult

Resumo

A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) aplica-se a todo o ciclo de vida da construção. Hoje, já é possível identificar múltiplos casos de estudo a nível internacional, desde as fases de planeamento e programação, passando pelos projetos, construção e fabrico, até à fase de operação e manutenção. O presente artigo foca-se na fase de preparação, fabrico e montagem de estruturas.

As empresas ImasD Consult e BIMMS trabalharam conjuntamente, coordenando uma equipa internacional e multidisciplinar, com o intuito de produzirem um modelo de preparação do fabrico e montagem de estruturas metálicas e de betão armado das fundações e superestrutura de um moinho de cru numa cimenteira na Bolívia.

A necessidade de coordenar um trabalho colaborativo internacional entre múltiplas equipas e intervenientes deslocados e interessados em partilhar os seus modelos parciais num modelo federado, levou ao uso de plataformas colaborativas, suportadas em máquinas virtuais de acesso à distância.

A modelação de estruturas para preparação de obra, fabrico e montagem exige um nível de detalhe mais elevado que o correntemente usado em projeto, implicando um conhecimento avançado dos processos de fabrico para que os mesmos sejam exequíveis. Ilustra-se a modelação da estrutura metálica, complementada com a modelação das armaduras, o que não é considerado como um requisito corrente na modelação de estruturas.

1. Introdução

Um dos grandes atrativos da metodologia BIM, está na sua característica holística de interconectar os diversos interessados na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), ao longo das diversas fases do ciclo de vida de uma construção [1]. A identificação e estudo de aplicações concretas e casos de estudo têm sido alvo de múltiplos trabalhos a título nacional e internacional [2]. Neste artigo, será dado ênfase à fase da preparação quer do fabrico, quer da montagem de estruturas.

Para tal será apresentado um caso de estudo de aplicação prática, promovido pelas empresas *BIMMS-BIM Management Solutions* e *ImasD Consult*, na modelação e preparação da construção de uma estrutura complexa de apoio a um moinho de cru numa cimenteira na Bolívia. A estrutura é composta por fundações em betão armado pós-esforçado para apoio de uma torre de um moinho Quadropol®, da ThyssenKrupp [3] (ver figura 1), inserido numa cimenteira em Oruro, na Bolívia, com a particularidade desta obra se localizar a 4500 metros de altitude.

A BIMMS é uma empresa dedicada á consultoria em BIM de apoio às atividades de arquitetura, engenharia e construção. Além das habituais tarefas de modelação e coordenação, a BIMMS destaca-se pelo apoio à implementação BIM em projetos, com a incorporação dos seus consultores na obra e na inerente atividade de divulgação e formação dentro das organizações, na metodologia e em plataformas e ferramentas BIM. A ImasD Consult dedica-se à modelação avançada de estruturas metálicas com vista à sua preparação e fabrico. A ImasD Consult apoia habitualmente a obra e o fabrico, com modeladores junto das obras e fábricas, para imediata resposta às solicitações e ajustes necessários. Igualmente a ImasD Consult presta consultoria na área de organização e fabrico industrial, quer na gestão, quer no layout dos processos de produção e montagem de estruturas metálicas.

Neste projeto, o principal objetivo foi o de desenvolver um trabalho colaborativo, coordenando as equipas multidisciplinares envolvidas, com o intuito de se produzir um modelo de preparação para fabrico e montagem de estruturas metálicas, de betão armado e de betão pré-esforçado das fundações.

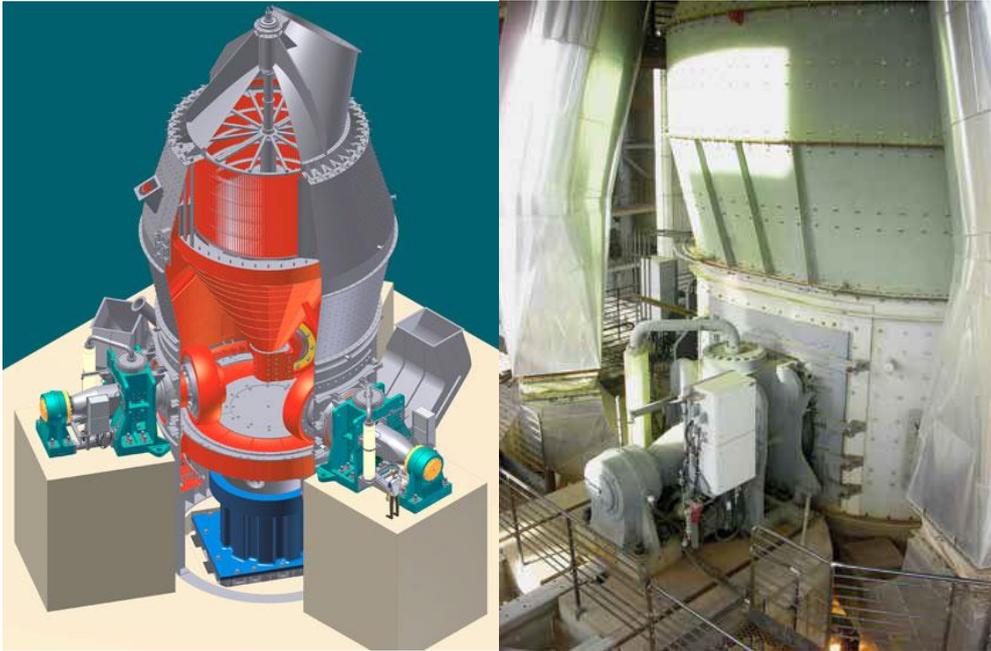


Figura 1. a) Modelo 3D do Moinho Quadropol® da ThyssenKrupp [4] b) foto.

2. Organização e Planeamento

Um dos principais desafios deste trabalho foi a coordenação, execução, verificação, planeamento e aprovação de um modelo BIM que incluísse toda a informação relativa a cada um dos intervenientes que estiveram envolvidos no projeto da cimenteira. A equipa multidisciplinar e internacional envolvida neste trabalho foi constituída por um gabinete de projeto de Estruturas de Espanha, uma empresa de Fiscalização do Equador e um conjunto de empresas de Portugal, Espanha, México, Peru e Bolívia responsáveis pela Fabricação da Estrutura Metálica ficando a montagem a cargo de uma empresa portuguesa. Em termos logísticos, o transporte de material foi feito através de meios marítimos e terrestres.

Para organização deste trabalho foi necessário documentar e fasear todo o processo de trabalho desde a conceção até à execução. Sinteticamente, as fases foram as seguintes:

- a) Cliente (ECEBOL – Empresa Pública Produtiva Cimentos da Bolívia) que recebia toda a informação dos técnicos (maquinaria, cargas estáticas e dinâmicas) e condicionantes técnicas;
- b) Preparação de um primeiro estudo da torre do moinho, pelo gabinete de cálculo;
- c) Modelação, na plataforma BIM, da torre e do maciço, em paralelo, com o cálculo estrutural;
- d) Modelação simultânea das estruturas metálica, de betão armado, com importação de modelos BIM relativos a equipamentos, para deteção de colisões, posicionamento de apoios e outras não conformidades;
- e) Comunicação bidirecional entre todos os intervenientes para ajustamento e adaptação em tempo real do modelo BIM com o cálculo;
- f) Especial atenção para alterações e eventual atualização de equipamentos por parte das equipas técnicas;

- g) Verificação com empresas de logística e de montagem de dimensões e pesos de elementos antes da fase de fabricação;
- h) Realização de planos de fabricação, listagem e ficheiros de controlo numérico;
- i) Realização de planos de montagem;
- j) Apoio em obra para a execução.

3. Modelação BIM

No modelo BIM foram incluídos todos os edifícios da Cimenteira e modeladas as diferentes disciplinas. Neste artigo vamos centrar-nos na estrutura metálica, nas armaduras ativas e passivas, no pré-esforço e no betão do moinho. Esta estrutura foi considerada uma estrutura bastante complexa, dada a elevada probabilidade de conflitos entre os diversos constituintes.

A plataforma BIM de trabalho utilizada para a modelação foi o Tekla Structures.

As fundações do moinho, tinham a particularidade de conter uma estrutura metálica no seu interior, que servirá de apoio ao Quadropol®. Por essa razão, a coordenação de todos os modelos de especialidades das fundações tornou-se ainda mais relevante pois qualquer tipo de não conformidade poderia por em causa a montagem de toda a solução estrutural proposta.

A estrutura metálica foi modelada paralelamente com o desenvolvimento do projeto de estruturas, tendo sido adotada a biblioteca de perfis metálicos disponíveis na Bolívia. Este modelo teve que contemplar toda a informação necessária para a produção, desde o tipo de aço, os perfis, as ligações, até ao faseamento construtivo e pinturas. Na figura 2 apresenta-se a imagem deste modelo, constituído por quatro torres treliçadas bem como o modelo envolvente geométrico final.

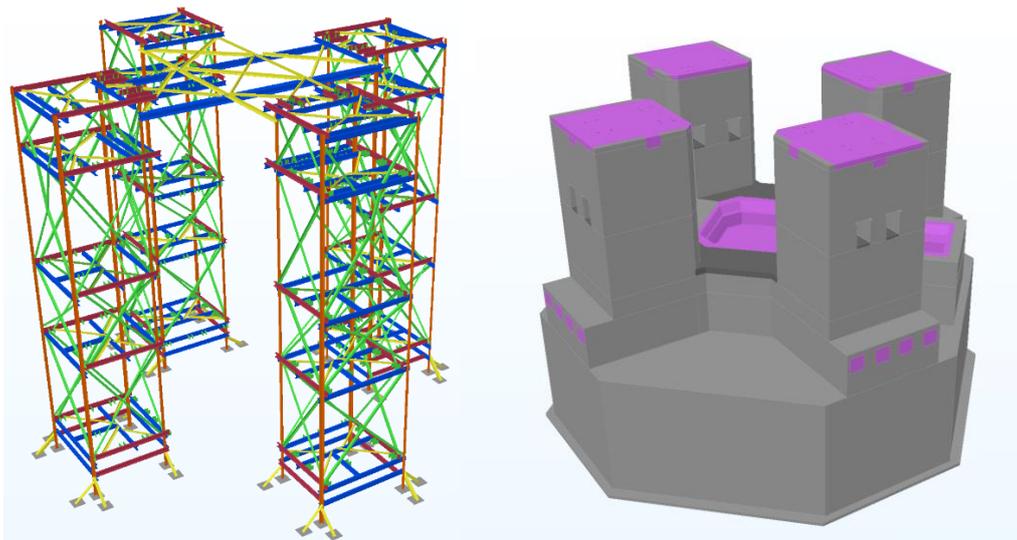


Figura 2: a) Modelo da Estrutura Metálica b) Modelo envolvente geométrica.

A modelação dos elementos de betão armado, pré-esforço e armaduras ativas e passivas foi integrada num único modelo, devido a questões de montagem e execução. Desta forma, conseguiu-se montar o modelo de acordo com um sistema de classificação definido para esta obra. Este sistema contempla a zona da cimenteira, o equipamento, o elemento e a fase de betonagem.

As armaduras foram organizadas e agrupadas de acordo com a nomenclatura definida no projeto de estruturas. Como a modelação ocorreu, lado a lado, com o projeto de estruturas, o modelo BIM tornou-se essencial no agrupamento de armaduras para fabrico, uma vez que, em casos específicos, a apresentação bidimensional não permitiu obter uma perceção real da totalidade das armaduras envolvidas. Assim, o modelo BIM possibilitou uma verificação contínua do projeto com consequências diretas na produção. Na figura 3 apresenta-se a imagem final deste modelo, igualmente com quatro torres, que já permite uma noção da complexidade envolvida.

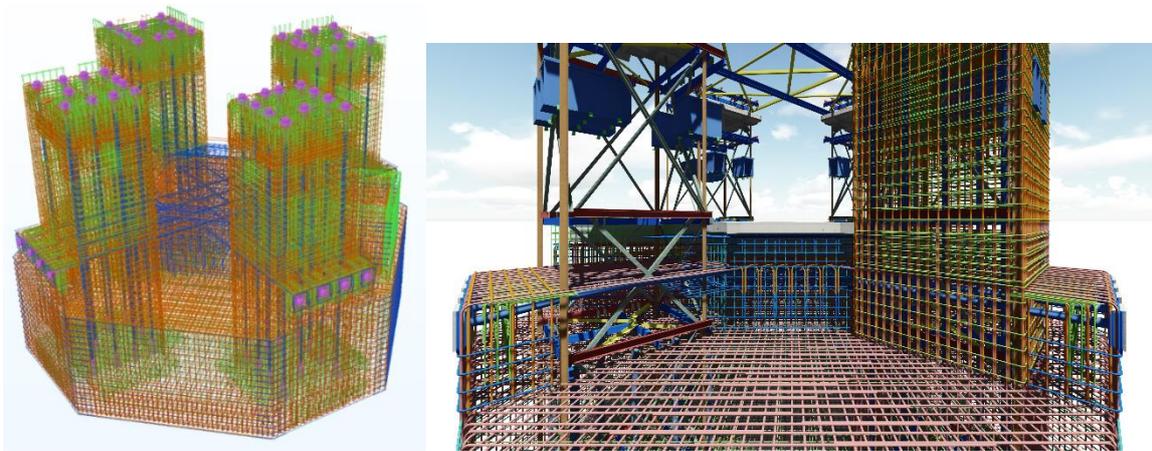


Figura 3: Armaduras passivas, ativas e pré-esforço.

O sistema de pré-esforço incluiu a modelação de 52 bainhas de pré-esforço e as respetivas 104 ancoragens. No modelo foi incluída também a informação do número de cabos de pré-esforço por cada bainha. Na Figura 4 pode-se visualizar as bainhas de pré-esforço quer vertical, quer horizontal.

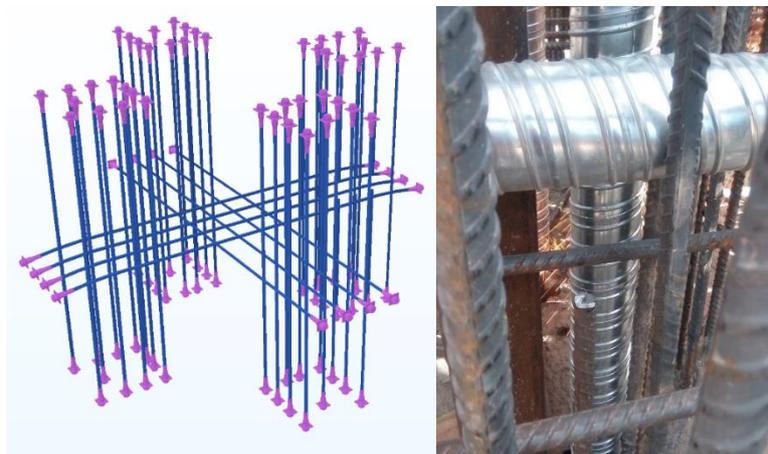


Figura 4: a) Bainhas de pré-esforço e ancoragens b) Em obra.

Conforme as solicitações e interações com a equipa de obra tornou-se necessário o envio de vários estudos e detalhes das montagens. Na figura 5 apresentamos uma sequência de imagens fornecida ao construtor para apoio das montagens e fases de betonagem.

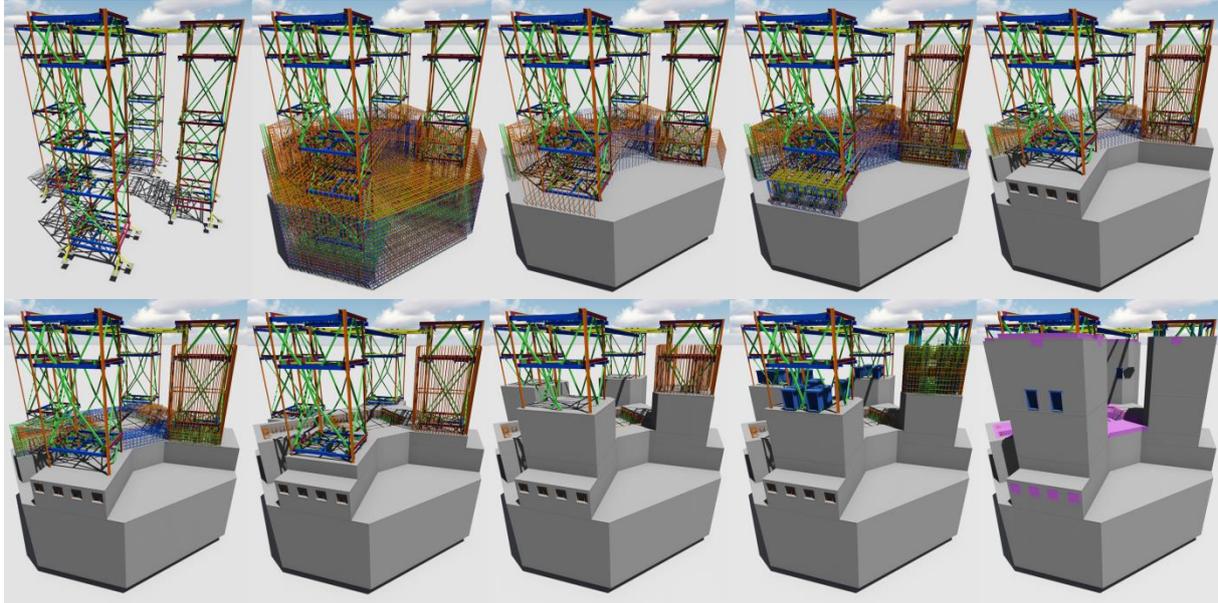


Figura 5: Faseamento construtivo utilizado durante uma reunião de coordenação.

4. Coordenação BIM

Como aludido anteriormente, a equipa de trabalho neste projeto foi bastante vasta. A coordenação acabou por ser um processo complexo, mas que veio ser simplificado e otimizado com a utilização das seguintes plataformas distribuídas para comunicação e colaboração:

- Tekla BIMSight;
- Trimble Connect;
- ImasD VirtualOffice;
- AtView.

O Tekla BIMSight é um software gratuito com ferramentas de coordenação que permitiu efetuar deteção de colisões entre modelos e comunicar via modelo 3D.

O Trimble Connect é uma plataforma de partilha colaborativa que permite respeitar as recomendações de normalização BIM referentes ao Common Data Environment (CDE).

O ImasD VirtualOffice é uma plataforma de trabalho colaborativo que possibilita um sistema de trabalho interno (BIMMS e ImasD Consult) para aceder a máquinas de trabalho virtuais eliminando a necessidade de todos trabalharem fisicamente no mesmo local.

AtView é a plataforma de gestão de ficheiros utilizada pelo cliente final e disponibilizada para partilha de documentação a todos os intervenientes no projeto.

4.1 Coordenação interna - Equipas de Projeto e de Preparação de Estruturas

Como coordenação interna subentende-se toda a coordenação existente entre a ImasD Consult e a BIMMS com os projetistas de estruturas e de preparação de obra.

A plataforma de trabalho colaborativo ImasD Virtual Office consiste num sistema de máquinas virtuais com processamento gráfico real por hardware, utilizando sistema de acesso seguro por NetScaler e otimizado por Citrix para rendimento gráfico remoto superior.

Esta plataforma permite o acesso remoto a uma rede privada para trabalho colaborativo utilizando neste caso o software de modelação Tekla Structures na sua funcionalidade de MultiUser.

Na Figura 6 apresenta-se uma imagem utilizada numa reunião de coordenação para a discussão do posicionamento das ancoragens do sistema de pré-esforço das torres. O processo para preparação e agendamento das reuniões de coordenação semanais foi organizado com base no modelo BIM. O coordenador de projeto da equipa ImasD/BIMMS produzia um documento formal onde constava os assuntos a discutir e apresentava como anexo um ficheiro Tekla BIMsight com os mesmos assuntos, para uma prévia análise por todos os intervenientes.

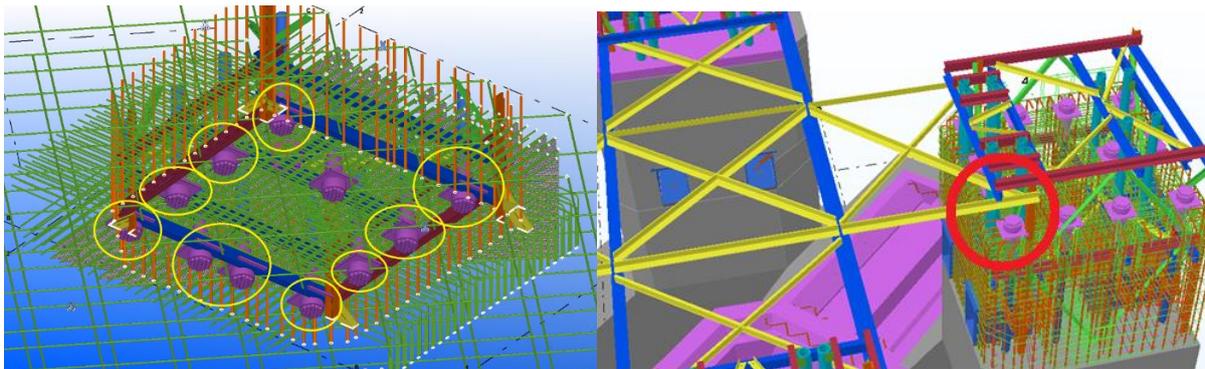


Figura 6: Colisões entre a estrutura metálica e as ancoragens do sistema de pré-esforço.

Devido à constante evolução do projeto e às diversas alterações que se produzem durante o mesmo, sejam elas de carácter técnico, comercial (por alterações do objetivo do cliente) ou financeiras (por compra de equipamentos), podemos considerar que qualquer projeto de construção que inclua tal quantidade de disciplinas se pode considerar como um projeto dinâmico.

4.2 Coordenação externa - Com obra e outros projetistas

Como coordenação externa subentende-se toda a coordenação existente entre a ImasD Consult e a BIMMS com a obra e os projetistas de especialidades. Neste âmbito, o principal desafio reside em tentar tirar partido de todo o potencial do modelo, apesar de termos equipas com níveis diferentes de maturidade na sua manipulação. Na Figura 7a, apresenta-se uma imagem proveniente de uma das reuniões de coordenação, onde se discutiram novas soluções, neste caso em particular, para impedir uma colisão de armadura com a bainha de pré-esforço. Na figura 7b pode ver-se a obra e o seu elevado grau de complexidade.



Figura 7: a) Colisão detetada em fase de projeto b) obra.

Num projeto, principalmente de índole industrial, o progresso do projeto não é o mesmo em todas as disciplinas. Como exemplo, podemos abordar o caso das estruturas metálicas deste mesmo projeto. No momento em que se estão a montar estruturas em obra não estão definidos de forma exata todos os equipamentos que trabalharão sobre essa mesma estrutura. A realização de um modelo BIM permite numa fase inicial do projeto prever, de forma virtual, as implicações que os diferentes equipamentos vão ter sobre a superestrutura, evitando de esta forma ajustes em obra bastante mais longos no tempo e altos no custo.

5. Conclusões

O presente trabalho permitiu acompanhar todas as fases de projeto e construção de uma obra de elevada dimensão e complexidade através de ferramentas, aplicações e plataformas BIM. A documentação e detalhamento de todos os processos permitiu à equipa uma constante otimização de recursos e produtividade graças à clareza do sistema montado. Além disso, este projeto possibilitou identificar e aferir os requisitos técnicos para equipas de trabalho idênticas, no futuro.

Relativamente à fase de projeto de execução e montagem, apesar de este tipo de trabalho já ser uma prática corrente no mercado das estruturas metálicas, a aplicação do detalhe do betão armado pré-esforçado demonstrou-se essencial, quer na coordenação de projeto, quer na construção.

Finalmente, importa também referir que a utilização de ferramentas BIM neste projeto permitiu facilitar a comunicação com o exterior, isto é, com operadores da cimenteira, cliente e mesmo com futuros clientes (ver figuras 8 e 9).

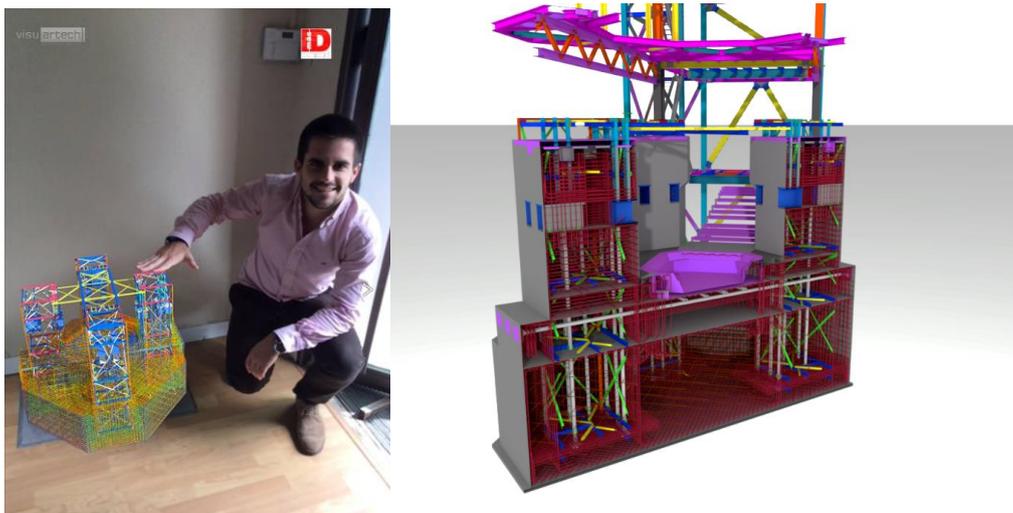


Figura 8: Aplicações geradas a partir do modelo para comunicação exterior.

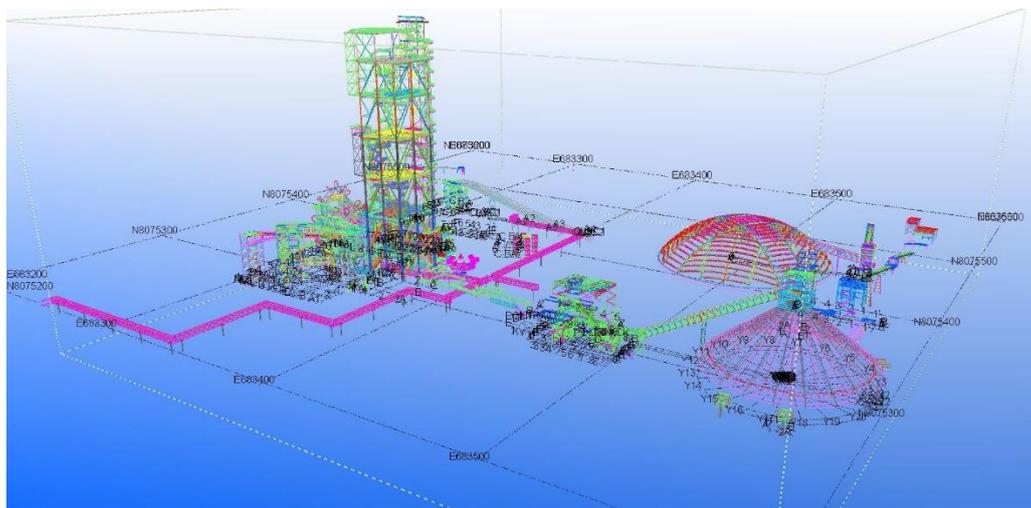


Figura 9: Modelo global.

Referências

- [1] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012, pp. 24–26, 2012.
- [2] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [3] ThyssenKrupp Polysius, *QUADROPOL® QMC Roller mill for the grinding of cement and blast furnace slag*. 2016.
- [4] ThyssenKrupp Industrial Solutions, *QUADROPOL® QMC*, in Disponível: http://www.polysiususa.com/cement/cement-manufacturing/grinding/cem_menu_roller_mill_QUADROPOL.html?q=1621 [Acessado 01/10/2016].

Parte IV
BIM na gestão de operações e manutenção

PLATAFORMA WEB-BIM PARA GESTÃO DE INSTALAÇÕES DE UM CAMPUS UNIVERSITÁRIO

Ricardo Resende ⁽¹⁾, Luís Coroado ⁽¹⁾, António Lopes ⁽¹⁾, Rodrigo Sacadura ⁽¹⁾, Maria Helena Teixeira ⁽¹⁾, Sara Eloy ⁽¹⁾, Miguel Sales Dias ⁽¹⁾

(1) ISCTE – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa

Resumo

As instalações das instituições de Ensino Superior, que no caso do ISCTE-IUL estão concentradas num campus no centro de Lisboa, são usadas diariamente por vários milhares de utentes, acolhem inúmeros eventos e o exercício próprio da instituição e requerem investimentos constantes de manutenção, renovação e adaptação. Ao contrário de outros ativos estratégicos a sua gestão é frequentemente suportada por instrumentos informais: folhas de cálculo, documentação em papel e registos pessoais, tornando-se difícil controlar e planear operações e custos globais de manutenção por equipamento ou sistema. Por outro lado, os desenhos técnicos das instalações estão dispersos e não são fiéis à realidade construída, o que também dificulta as operações de manutenção, modernização e estudo de cenários de melhoria.

Perante este cenário, o ISCTE-IUL montou uma equipa multidisciplinar, tendo-se definido uma metodologia para o desenvolvimento de uma solução híbrida de gestão de edifícios e apoio ao utilizador. A primeira etapa consiste na uniformização e verificação no terreno dos desenhos dos projetos incluindo equipamentos fixos e móveis e redes, numa Base Digital de Desenhos em 2D CAD. A segunda etapa consiste na migração desta informação para um modelo BIM, mais completo e fácil de atualizar, principalmente no que diz respeito à extração de métricas. Simultaneamente com estas duas tarefas é realizada a análise, levantamento e especificação de requisitos de uma aplicação web que, interligada com o modelo BIM, irá registar intervenções de manutenção programada e reativa, orçamentos, controlo de stocks de material de reparação e restantes operações.

1. Introdução

1.1 Gestão de Instalações

A Gestão de Instalações, ou *Facility Management* (FM), pode ser definida como o conjunto de operações que asseguram o bom funcionamento das infraestruturas, nomeadamente edifícios, nas suas diversas componentes. É por natureza, uma atividade de suporte às funções primárias da organização e é multidisciplinar, exigindo competências tão díspares como a gestão de projetos, gestão da qualidade, engenharia, finanças, imobiliário, sustentabilidade, segurança, negociação, gestão da tecnologia ou a comunicação [1].

O FM tem ainda pouca visibilidade na indústria da construção em parte porque a quantidade de nova construção até à crise financeira e económica absorveu toda a atenção (sendo possível percorrer o currículo de um curso de engenharia civil ou arquitetura sem encontrar menção ao FM), mas também porque consiste numa série de atividades, fragmentadas, que decorrem continuamente, mas largamente ignoradas, sob o nosso olhar. Curiosamente, das grandes organizações, são as instituições de ensino que mais rapidamente estão a adotar medidas para agilizar os processos de gestão, nomeadamente através da aplicação de novas tecnologias [2].

No entanto, considerando todo o ciclo de vida, os custos de operação e manutenção de um edifício são várias vezes superiores ao de construção. Enquanto um ganho de eficiência na construção tem efeito nessa atividade, um ganho na gestão, seja a diminuição do consumo energético, melhorias ambientais, a organização duma área de trabalho ou a renegociação de um contrato, tem efeito repetido nos anos seguintes.

1.2 Gestão de instalações em instituição de Ensino Superior

As instituições de Ensino Superior têm sofrido alterações estruturantes nos últimos anos. A organização académica evolui mais rapidamente que há alguns anos, os postos de trabalho são mais fluidos refletindo a circulação de docentes, alunos e investigadores, coexistem centros de investigação, entidades independentes e participadas e os espaços são arrendados para eventos. Os calendários letivos dos inúmeros cursos variam e são frequentemente adaptados e o número de eventos pontuais é crescente. Diariamente há milhares de utentes internos e externos que trabalham, frequentam aulas, mas também se alimentam, divertem em espaços de descontração, estudam individualmente ou em grupo, usam bibliotecas, laboratórios, ginásios, etc. Esta exigência logística e o crescente rigor financeiro obrigam à quantificação detalhada dos custos, sendo, portanto, essencial poder imputar o custo de cada entidade, posto de trabalho, evento ou aula.

As ferramentas básicas para a gestão de instalações variam desde a coleção de folhas de cálculo, desenhos e manuais de equipamentos em pastas e arquivos em papel ao *know-how* dos funcionários sobre as instalações. Existem no mercado ferramentas informáticas que vão desde a gestão de equipamentos e operações diárias (*Computer Aided Facility Management* - CAFM) aos sistemas de gestão total de património incluindo arrendamentos, energia, hospitalidade ou *helpdesk* (*Integrated Workspace Management System* - IWMS) [1], [3]. Estes sistemas agregam informação atualizada, disponibilizam interfaces uniformes, perfis de utilizador com diferentes níveis de acesso, conduzem os processos, disponibilizam ferramentas de *reporting* e ligam-se aos departamentos financeiros, de compras, ou de património. Tal como acontece com qualquer

sistema que é integrado intimamente com a instituição, a sua instalação e configuração é naturalmente complexa e demorada.

1.3 Ferramentas BIM no FM

O BIM está a transformar toda a indústria da construção, desde o projeto e construção à vida útil dos edifícios, passando pela gestão, operação e manutenção, interligando estas fases de forma mais eficaz [4]. Para os donos de obra a metodologia BIM, sendo adotada no processo de projeto e construção, revela-se muito útil para armazenar e trabalhar a informação sobre o seu edifício [5], pois possibilita o armazenamento, atualização e utilização de informação georreferenciada sobre os edifícios e outras infraestruturas para gerir operações e manutenção do edifício. Apesar de haver algumas diferenças entre o nível de desenvolvimento [6] e os usos [7] dos modelos usados na construção e na gestão dos edifícios, o modelo BIM poderá transitar da fase de construção ou ser construído especificamente para a gestão do edifício. O interesse dos gestores de edifícios na metodologia BIM advém do apoio que esta ferramenta pode dar às operações de gestão de espaços e de equipamentos, análises de performance energética real e simulação de cenários, obras de intervenção, e renovação e reabilitação e gestão de ciclo de vida (adaptado de [8]).

2. Metodologia

2.1 A Equipa

Para responder à necessidade de modernização do funcionamento integrado das unidades do ISCTE envolvidas na gestão do campus, montou-se uma equipa multidisciplinar composta por técnicos de várias áreas. O grupo Digital Living Spaces (DLS) do Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura (ISTAR-IUL) é um centro de investigação nas áreas de Desenho Assistido por Computador e ferramentas digitais interativas, Realidade Virtual e Aumentada aplicadas à Arquitetura e Construção ([4]–[7]). Ao Gabinete de Desenvolvimento de Sistemas de Informação (GDSI) compete conceber e manter os sistemas de informação bem como garantir a integração dos mesmos promovendo o aumento contínuo da qualidade do ensino e investigação no ISCTE-IUL. Finalmente, e com papel fulcral, a Unidade de Edifícios e Recursos (UER) é a unidade que faz a gestão dos edifícios e infraestruturas do campus e tem procurado implementar sistemas que tornem esta gestão mais eficiente.

2.2 A gestão do campus do ISCTE-IUL

O campus do ISCTE-IUL concentra-se num só local no centro de Lisboa inserido na Cidade Universitária, com uma área útil construída superior a 100.000 m², dividindo-se por três edifícios com idades entre os 15 e os 40 anos, de dimensão e estilo distintos, sendo a navegação entre e dentro dos edifícios pouco intuitiva (figura 1).

A comunidade ISCTE-IUL é composta por alunos, docentes, investigadores e funcionários não docentes, distribuídos por quatro escolas e oito unidades de investigação, reunindo uma população superior a 10.000 utentes. Para além destes utilizadores, o ISCTE-IUL acolhe inúmeros eventos periódicos e singulares, nacionais e internacionais, como provas académicas,

eventos e reuniões de diversa índole, prestando ainda serviços de aluguer de espaços e organização de eventos, que em 2015 trouxeram ao campus cerca de 65.000 visitantes.

Ao contrário de outros ativos estratégicos como os recursos humanos, a gestão das infraestruturas no ISCTE-IUL é ainda suportada por folhas de cálculo, documentação em formato digital e alguns casos especiais em papel, estando os registos organizados em pastas de rede. Apesar da organização existente, é moroso agregar a informação para obter sumários de afetação de áreas e outras métricas ou controlar e prever custos de manutenção globais, por equipamento ou sistema. Por outro lado, os desenhos técnicos das instalações e redes estão dispersos em diversos formatos e frequentemente não estão de acordo com a realidade, em parte devido à requalificação e reabilitação dos espaços que o ISCTE-IUL tem realizado, visto que é obrigado a crescer dentro de fronteiras espaciais rígidas.



Figura 1: Vista do campus do ISCTE enquadrado na malha urbano do centro de Lisboa.

Apesar de estar ao corrente das soluções existentes no mercado para gestão de infraestruturas, o ISCTE-IUL não as adotou devido à expectativa de difícil adequação aos sistemas em uso e ainda aos custos de licenças e de atualização.

A equipa interna da UER sentia há vários anos a necessidade de basear a sua atividade em melhor informação e num sistema de controlo de processos formal e baseado em ferramentas que refletissem de forma atualizada o estado dos edifícios e sistemas associados. Nasceu assim este projeto, em ligação com as restantes unidades da instituição como a Qualidade, Comunicação, Serviços Académicos e de Apoio à Investigação.

2.3 A Base de Digital de Desenhos (BDD)

A primeira iniciativa a arrancar consiste na produção de plantas fiéis e atualizadas do campus em formato CAD 2D. Estes desenhos são elaborados a partir da compatibilização das telas finais originais com as múltiplas intervenções, o que implica, inúmeras medições no terreno. Apesar de os desenhos mais recentes (em geral pós-2000) existirem em formato digital, os restantes, em particular os de especialidades, estão em papel, sendo necessário a sua digitalização. Uma das dificuldades encontra-se na incoerência entre a realidade e as versões

em desenho (digital ou papel), sendo indispensável a contribuição dos funcionários que acompanham o campus desde a sua origem.

A BDD tem por base uma hierarquia de ficheiros CAD em quatro níveis e por edifício, permitindo o trabalho simultâneo de diferentes utilizadores em matérias específicas. Para a introdução de toda a informação de geometria e especialidades de forma codificada e uniforme adotou-se a Norma EN ISO 13567 [9], facilitando também a filtragem de informação não só enquanto se utiliza a base CAD, como também na relação com a aplicação web, e na organização e visualização de desenhos produzidos para distribuição (formato PDF). À medida que este trabalho foi avançando, os técnicos da UER foram solicitando não só desenhos, mas também listas de quantidades, áreas, etc. Por outro lado, verificou-se que a representação de equipamentos como mesas, cadeiras ou sanitários, através de blocos com atributos, era insuficiente para listar a informação necessária e relacioná-la com outras aplicações. Tornou-se evidente que se estava a “aumentar” a ferramenta CAD (Autocad 2016) para cumprir o papel de um BIM, tendo-se então tomado a opção de terminar o levantamento da geometria em 2D em algumas das especialidades, mas arrancar com o modelo BIM, substituindo-se gradualmente os processos de trabalho. Não obstante, foi dada formação presencial e na plataforma interna de *e-learning* e a BDD 2D é já usada internamente e diminui a necessidade de verificações no terreno, facilita a comunicação e interação com fornecedores e disponibiliza alguns valores fiáveis que servem de base às avaliações de desempenho de equipas de manutenção.

2.4 Modelação em BIM

A passagem dos desenhos em base CAD para BIM torna-se necessária não só pela dificuldade de armazenamento, tratamento e extração de informação, referidas na secção anterior, mas também pela necessidade de visualização e comunicação através de um modelo tridimensional, não só para intervenções de manutenção, como também pela potencialidade associada a ferramentas de navegação e visualização a desenvolver internamente.

O levantamento das necessidades, ou seja, os dados que as diferentes unidades de gestão necessitam e a forma como querem consumir essa informação iniciou-se no seio da própria UER, visto que é para esta unidade que as restantes se viram quando necessitam de plantas, listagens e relatórios. No entanto, um modelo de informação bem estruturado e explorado pode fornecer informação muito mais rica, pelo que se planeou a construção de um modelo-piloto que demonstra todo o potencial desta metodologia e assim poderá suscitar maior interesse, recolher mais opiniões e necessidades.

A plataforma web Fenix (<https://fenix.iscte-iul.pt>), parcialmente desenvolvida internamente, alberga toda a informação necessária à gestão académica, incluindo salas de aulas, horários, exames, registo de presenças automático através de leitores de cartões nas salas, abertura de portas, eventos, etc. Naturalmente, várias outras aplicações de gestão interagem com o Fenix pelo que um requisito indispensável do modelo BIM e da aplicação web de manutenção é a ligação e harmonização da informação entre as diferentes bases de dados pois a informação sobre os espaços no modelo com a já existente, o que apresenta vários desafios pois os objetivos das plataformas são distintos e isso reflete-se na organização da informação.

Após a conclusão da BDD, a metodologia traçada (figura 2) começa pela revisão dos projetos de arquitetura e restantes especialidades à lógica BIM, e extrusão da geometria elaborada em 2D para 3D, conforme ilustra a figura 3.

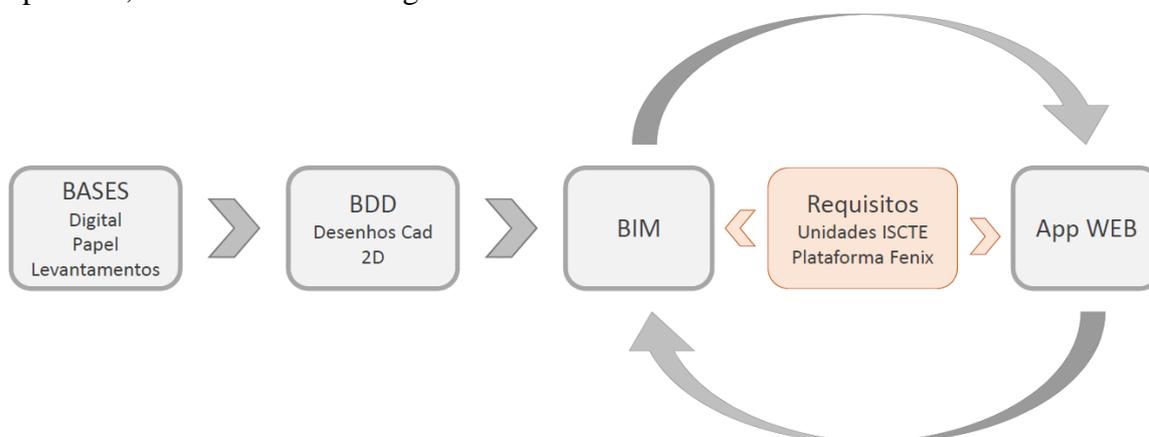


Figura 2: Processo de desenvolvimento e fluxos de informação.

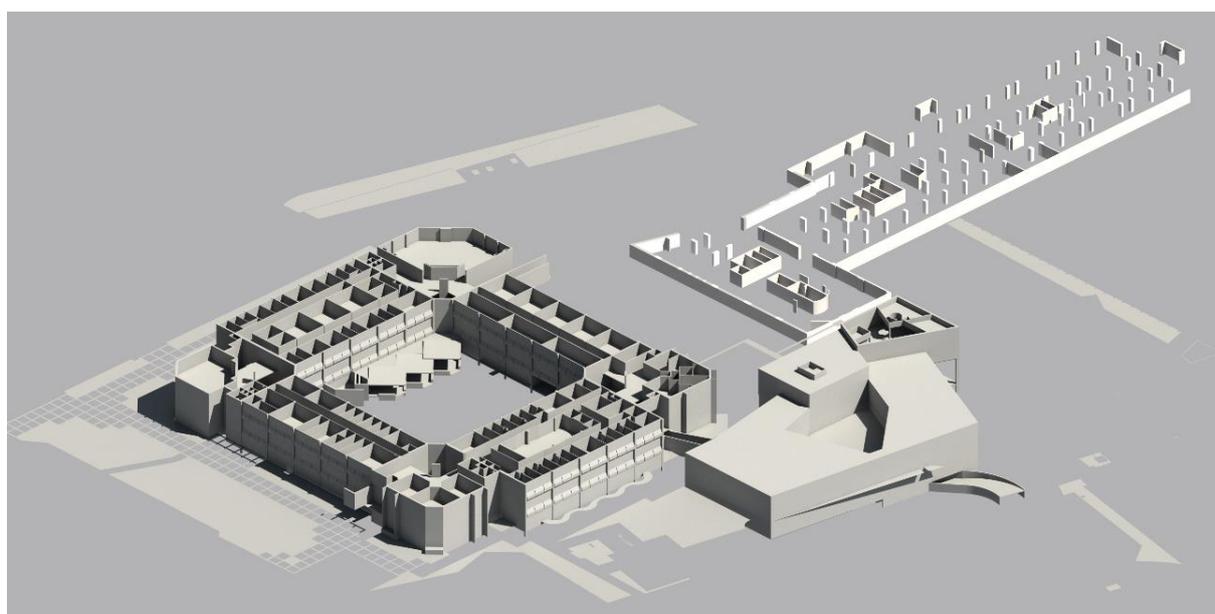


Figura 3: Vista dos modelos dos edifícios do campus ISCTE-IUL em diferentes estágios do processo de modelação. Cada edifício é modelado separadamente sendo referenciado no modelo global e inserido no modelo da envolvente urbana (não visível nesta figura).

Atualmente verifica-se melhorias na gestão de ativos, através da extração de dados quantificáveis de espaços, tipologias e afetações, áreas e volumes, bem como dados relativos a características de paredes, pavimentos ou outros (figuras 4 e 5). Em seguida, inserem-se equipamentos móveis e fixos, como portas, secretárias e cadeiras, computadores, sanitários, extintores, seguindo de forma sistemática as especialidades inerentes. Apesar da generalidade dos equipamentos ainda não ter o detalhe pretendido – sendo utilizado nesta fase um nível de desenvolvimento 300 (LOD, ver [6], [10]) é já possível criar inventários e obter dados

necessários para simular e projetar alterações nos espaços, calcular capacidades de ocupação e alocação de equipamentos, entre outros.

Posteriormente, pretende-se realizar a passagem da generalidade das redes e sistemas das diversas especialidades, bem como, introduzir a informação estritamente necessária com nível de informação 500, para facilitar o planeamento e a manutenção programada e corretiva, bem como fornecer indicadores-chave para auxiliar a tomada eficaz de decisões e prevenir conflitos de especialidades na realização de intervenções no Campus. A informação gerada e recolhida durante a utilização do binómio Modelo BIM – Plataforma Web de Manutenção será constantemente usada para atualizar os planos de manutenção existentes (e.g. [11]).

Os principais usos do modelo BIM, dividido numa hierarquia de ficheiros de acordo com especialidades e com os diversos edifícios, serão:

- Visualização do campus para a comunicação institucional, sinalética, desenhos 2D, aplicações de navegação, suporte aos projetos de intervenções no campus, sistemas de realidade virtual e aumentada, entre outros;
- Sincronização com informação sobre os espaços contida em diversos sistemas tal como ocupação (funcionários, unidades de ensino e de investigação, espaços de estudo, restauração, etc.), características dos espaços (como tipo de iluminação, capacidade, conforto, idade, ventilação);
- Compilação, armazenamento e tratamento de informação referente aos equipamentos mais relevantes, não só no que diz respeito à informação geométrica (características e localização) mas também características como fabrico, fornecedor, ligação a manuais de instruções, garantias, datas de manutenção, etc.
- Geração de relatórios escritos e gráficos sobre a informação contida no modelo, satisfazendo os requisitos regulares de várias unidades, mas também para apoiar a tomada de decisão e o planeamento estratégico da instituição (figuras 4 e 5).

Simultaneamente ao trabalho de modelação 3D, inserção, verificação e tratamento de dados, são conjugados os requisitos para a aplicação em desenvolvimento no GDSI, de forma a compatibilizar e integrar a aplicação com o modelo BIM, adequando e definindo também o *workflow* da UER (figura 2).

Uma das dificuldades práticas encontradas no processo de trabalho colaborativo em BIM, foi a de permitir a vários utilizadores aceder e contribuir para o mesmo modelo e de forma síncrona. Os testes feitos com pastas de rede, através de servidor interno do ISCTE-IUL, não se traduziram nos resultados expetáveis, não sendo possível sincronizar ficheiros, locais e centrais, devido a permissões de escrita definidas ao nível dos servidores, eventualmente devido à estrutura complexa da rede do ISCTE. A solução atualmente em testes passa pela utilização de pastas de rede que acedem diretamente à *cloud* da Microsoft (www.onedrive.com).

<Rooms_Ed 1- Sedas Nunes>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Level	Number	Name	Area	Department	RoomType	Cap Total	Cap Prova
0 Piso							
0 Piso	0Ncor01	Corete	1 m ²		ZT		
0 Piso	0NW06	Gabinete	18 m ²	DAU	Gabinetes	2	
0 Piso	0NE04	IS H	4 m ²		Sanitários		
0 Piso	0NE05	Gabinete	15 m ²	DM	Gabinetes	3	
0 Piso	0NE06	Gabinete	35 m ²	DCTI	Sala	5	
0 Piso	0SE15	IS S	6 m ²		Sanitários		
0 Piso	0S04.2	Bar	13 m ²	AIESCE	Espaço Concessão		
0 Piso	0S04	Bar	14 m ²	AIIESEC	Espaço Concessão		
0 Piso	0S04.1	Armazém Bar	75 m ²	AIIESEC	Arrumos		
0 Piso	0SE22	Sala	44 m ²	TUNA	Sala	15	
0 Piso	0S05	Espaço de estudo/refeicao	46 m ²	AEISCTE	Sala	25	
0 Piso	0Sc	Corredor	56 m ²		Espaço Circulação		
0 Piso	0SE25	Sala	63 m ²		Espaço de Aula	24	16
0 Piso	0N10	Refeição	135 m ²	AIIESEC	Espaço Concessão	76	
0 Piso	0S03	Espaço de estudo	69 m ²		Sala	45	
0 Piso	0S06	Espaço de estudo	70 m ²		Sala	56	
0 Piso	0S01	Laboratório	71 m ²		Espaço de Aula	24	24
0 Piso	0S02	Laboratório	73 m ²		Espaço de Aula	24	24
0 Piso	0N08	Auditório	232 m ²	DPCS	Espaço de Aula	110	55
0 Piso	0N06	Auditório	160 m ²		Espaço de Aula	74	36
0 Piso	0Sa	Átrio	81 m ²		Espaço Circulação		
0 Piso	0SW03	Sala de Aula	168 m ²	DAU	Espaço de Aula	70	35
0 Piso	0SW04	Sala de Aula	86 m ²	DAU	Espaço de Aula	40	24
0 Piso	0SE12	Sala de Aula	90 m ²		Espaço de Aula	54	27
0 Piso	0SE13	Sala de Aula	107 m ²		Espaço de Aula	60	42
0 Piso	0SW01	Livraria Almedina	127 m ²		Espaço Concessão		
0 Piso	0NE01	Auditório	130 m ²		Espaço de Aula	78	36
0 Piso	0NE02	Auditório	144 m ²		Espaço de Aula	74	30
0 Piso	0SE18	Espaço de estudo/refeicao	294 m ²	AEISCTE	Espaço Concessão	200	
0 Piso:	66		2427 m ²				

Figura 4: *Schedule* de salas do piso 0 do Edifício 1 com alguns dos atributos.



Figura 5: Planta de espaços de acordo com as suas afetações: circulação, sala de aula, gabinete, etc.

2.5 Aplicação Web

Como referido, a UER do ISCTE-IUL não dispõe de ferramentas integradas para planeamento e controlo dos seus processos. O elevado volume de trabalho e informação a gerir associados às atividades descritas anteriormente tornam urgente a adoção de metodologias mais eficientes.

Surge, portanto, a necessidade de fornecer uma aplicação que facilite a missão da UER permitindo, por um lado, a correta gestão das equipas de intervenção na resposta a anomalias comunicadas por terceiros (figura 6) ou na realização de tarefas inerentes ao plano preventivo de manutenção e, por outro lado, que toda a informação associada (equipamentos, inventário) fique organizada de forma a ser facilmente consultável e pesquisável.

No âmbito desta iniciativa está em curso a especificação funcional de uma aplicação de suporte à atividade da UER enquanto ferramenta de acompanhamento e monitorização de atividades de intervenção nos espaços e equipamentos do campus universitário. Pretende-se assim constituir uma base de informação facilmente acessível e rastreável, que permita realizar diferentes tipos de análise de dados e constituir indicadores de desempenho relacionados com a atividade da UER.

A aplicação será desenvolvida segundo uma metodologia Web responsiva para permitir o acesso e a manipulação da informação através de todo o tipo de dispositivos fixos e móveis. A construção da aplicação irá culminar no desenvolvimento de um conjunto de funcionalidades que permita cumprir os seguintes objetivos:

- Constituição de histórico de ações realizadas sobre espaços, equipamentos e sistemas, incluindo os custos com materiais, mão-de-obra e outros meios associados;
- Avaliação de desempenho dos prestadores de ações interventivas e monitorização do nível de satisfação dos utentes do campus face às intervenções realizadas;
- Interligação com informação gráfica na BDD de modo a: promover a integração de novos projetos; realizar o acompanhamento das respetivas obras; constituir inventário de espaços, sistemas e equipamentos georreferenciados;
- Realização de análises económicas ao ciclo de vida dos equipamentos (relação de custos de investimento, operação, conservação, abate e oportunidade) e estimativa de custos de exploração por espaço para imputação de custos em eventos ou atividades letivas
- Integração com sistemas de gestão técnica centralizada para efeitos de monitorização e minoração de consumos e horas de funcionamento de equipamentos;
- Interligação com o modelo BIM para permitir o acesso fixo e móvel, através de realidade virtual, a espaços e equipamentos e a contabilização rigorosa da duração das ações realizadas sobre espaços, equipamentos e sistemas para reduzir o erro das estimativas de custos com mão-de-obra associadas a essas ações.

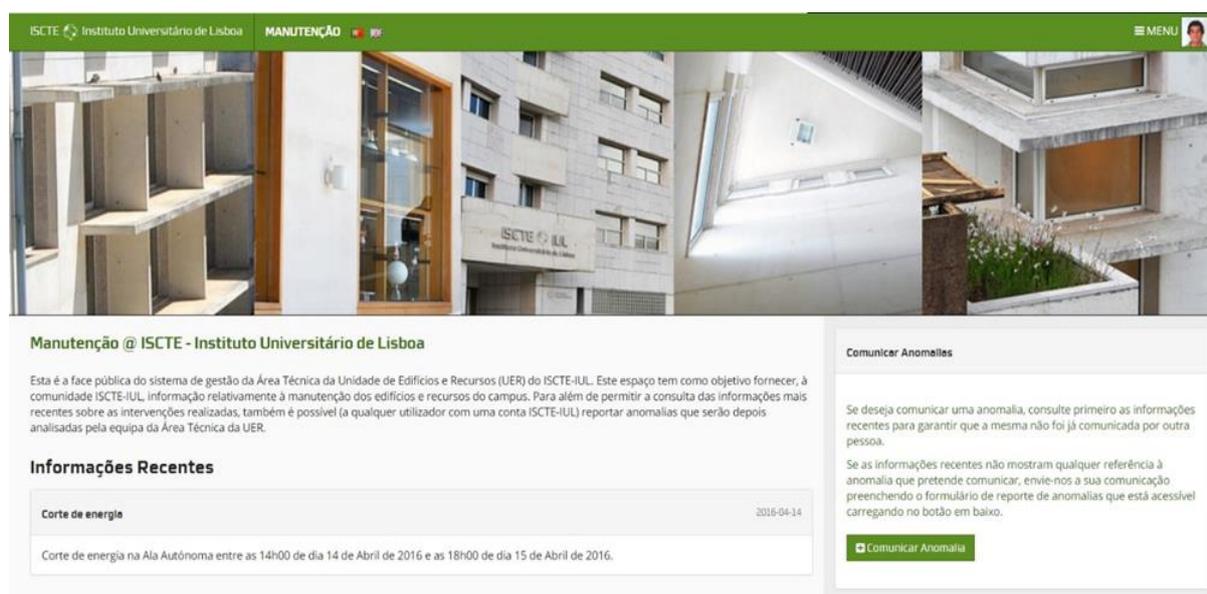


Figura 6: *Mockup* de página de reporte de anomalias.

3. Trabalho Futuro

A modelação em BIM das instalações do ISCTE-IUL no âmbito da modernização da gestão de instalações tem já repercussões positivas no funcionamento interno, sendo já possível obter listagens de áreas e algumas contagens de equipamentos. Estes dados assistem a relação com os fornecedores e facilitam a aplicação de contabilidade analítica. Como pontos positivos salienta-se ainda o entusiasmo dos funcionários da UER e docentes/investigadores envolvidos e o enriquecimento dos produtos de ensino, e a regularização dos processos de trabalho.

Entre as dificuldades deste processo salienta-se a utilização de vários sistemas em simultâneo, a base de desenhos 2D e o modelo BIM. A base de desenhos está relativamente estabilizada em algumas especialidades, o modelo BIM está ainda em fase piloto para um dos edifícios. A opção por desenvolver internamente uma solução integrada BIM-aplicação web de gestão, deve-se em grande parte à confiança na capacidade interna em termos de utilização de ferramentas de desenho e BIM e desenvolvimento de aplicações informáticas.

Para além do plano de trabalho exposto atrás, pretende-se expandir o sistema integrado em diversas direções:

- Integração com sensores existentes nos edifícios, nomeadamente leitores de cartões de abertura de salas;
- Ligação com sensores ambientais e de consumo de água e eletricidade e com sistemas de Gestão Técnica de Edifícios;
- Integração com sistema de gestão académica para representação de informação, tal como histórico de utilização de espaços;
- Disponibilização *online* de informação à comunidade interna e externa.

Produção de modelos para navegação virtual pelo Campus com vista à promoção externa do ISCTE-IUL e inclusão em quiosque digital para apoio aos utilizadores usuais e ocasionais com informação sobre serviços, sua localização e navegação, horário, contactos, *status*, filas espera. Finalmente, pretende-se com este trabalho receber a opinião e os contributos da comunidade técnica e científica e, de futuro, transmitir o *know-how* ganho através de comunicações técnicas e científicas regulares, prestação de serviços e produtos de ensino.

Referências

- [1] K. O. Roper and R. P. Payant, *The Facility Management Handbook*, 4th ed. American Management Association, 2014.
- [2] B. Becerik-Gerber, F. Jazizadeh, N. Li, and G. Calis, “Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management,” *J. Constr. Eng. Manag.*, no. March, pp. 431–442, 2012.
- [3] E. Teicholz and IFMA Foundation, *Technology for facility managers: the impact of cutting-edge technology on facility management*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2013.
- [4] McGraw Hill Construction, “The Business Value of BIM for Owners,” 2014.
- [5] GSA, “BIM Guide for Facility Management,” 2011.
- [6] BIMForum, “Level of Development Specification,” 2015.
- [7] R. G. Kreider and J. I. Messner, “The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses (v 0.9),” 2013.
- [8] Brian Haines (FM:Systems), “The Benefits of Lifecycle BIM for Facility Management | FM Systems,” 2016. [Online]. Available: <https://fmsystems.com/blog/the-benefits-of-lifecycle-bim-for-facility-management/>. [Accessed: 02-Sep-2016].
- [9] *NP ISO 13567 - Documentação técnica de produtos. Organização e designação de camadas (layers) em CAD. Parte 3*: 2011.
- [10] Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, and Kathleen Liston, *BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2011.
- [11] Y. Wang, X. Wang, J. Wang, P. Yung, and G. Jun, “Engagement of Facilities Management in Design Stage through BIM : Framework and a Case Study,” *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2013, no. 189105, 2013.

O USO DA TECNOLOGIA BIM EM PATRIMÓNIO HISTÓRICO. UM CASO DE ESTUDO: O CONVENTO DOS CAPUCHOS DA CAPARICA

João Frescata Pereira ⁽¹⁾, Ana Tomé ⁽²⁾

(1) Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa

(2) CERIS – Investigação e Inovação em Engenharia Civil para a Sustentabilidade, DECivil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa

Resumo

Esta investigação visa explorar as potencialidades da tecnologia BIM (*Building Information Modelling*) aplicadas a procedimentos de gestão e manutenção de edifícios pré-existentes, mais especificamente, de edifícios patrimoniais. A tecnologia BIM, centrada no conceito de Objeto e vocacionada para a descrição tridimensional do ambiente construído, baseia-se numa metodologia de trabalho mais aproximada da realidade. Permite-nos a sua descrição e representação de um modo holístico (ao descrever o objeto construído através de escalas de maior e de menor detalhe) e complexo (ao integrar um conjunto de dados geométricos e não geométricos e a possibilidade de parametrizar objetos). A aplicação da tecnologia BIM a edifícios patrimoniais permite fixar para memória futura a sua verdade construtiva, registar intervenções e adaptações, divulgar o património junto de um público mais vasto e/ou longínquo, preservando simultaneamente a fragilidade da sua construção. No entanto, não existem muitos exemplos disponíveis que permitam aprofundar o conhecimento sobre estas vantagens. A abordagem desenvolvida recorreu a um caso de estudo – o Convento dos Capuchos situado na Caparica, em Almada, património municipal e espaço vocacionado para eventos de música erudita de carácter intimista. A maquete virtual deste convento franciscano foi desenvolvida considerando todos os dados disponíveis sobre o edifício e procurando detalhar, sobretudo, os seus aspetos geométricos e construtivos. Esta abordagem permitiu descrever cenários demonstrativos do modo como a base de dados criada pode ajudar na manutenção e gestão correntes deste edifício patrimonial.

1. Introdução

Tendo em conta os tempos acelerados que se vivem nos dias de hoje, torna-se cada vez mais prático e útil possuir ferramentas, nos campos da engenharia, arquitetura e construção, que nos facilitem a comunicação e eficiência no trabalho. Para tal encontramos múltiplos softwares centrados no conceito de Objeto, assim vocacionados para a tridimensionalidade, justificando a sua existência por se basearem numa metodologia mais aproximada da realidade - a linha é abandonada em detrimento do sólido. Estas ferramentas digitais permitem uma visão mais

concreta e completa do protótipo ou projeto em questão. De seu nome Building Information Modelling (BIM) esta tecnologia consegue dar a conhecer toda a complexidade que envolve um projeto, contendo informações detalhadas de cada elemento que o constitui.

Comparando esta metodologia de trabalho com a tradicional evidencia-se que, de um modo genérico, há uma otimização dos desenhos técnicos para a construção, existe maior exatidão nas medições e orçamentos realizados, a colaboração entre equipas multidisciplinares é bastante mais eficaz e, conseqüentemente, os prazos de entrega e construção de projetos são cumpridos com uma rapidez superior [1].

Consideradas algumas das vantagens do BIM, importa referir a sua aplicação somente em novos projetos e construções, ou seja, em obras que se encontram na fase de conceção e execução. Faltando assim o enquadramento nas fases posteriores, de exploração, como é o caso da fase de utilização e manutenção ou ainda a fase posterior a esta, de reabilitação ou demolição.

Ao nível da literatura, já vem sendo estudado o benefício da conjugação desta metodologia em edifícios pré-existentes e/ou edifícios pertencentes ao património cultural e histórico. O intuito de tal ligação advém das potencialidades de gestão e manutenção desta ferramenta. Quer-se assim, num futuro próximo, usufruir do BIM também para este tipo de procedimentos, na reabilitação. Ambicionam-se executar trabalhos de restauro e mesmo de demolição com o apoio do BIM, mas o passo para a prática ainda não foi dado. Daí um dos objetivos a alcançar com este trabalho ser a comprovação da utilidade do BIM ao serviço da gestão e manutenção de uma obra construída.

Contextualizando esta temática em países industrializados, com as taxas de construção estagnadas, reforçando-se assim a importância do planeamento e restauro, e tendo em conta que esta é uma área em expansão, da qual ainda não há grande experiência (da implementação do BIM em edifícios pré-existentes), é perceptível a validade desta investigação.

As potencialidades desta ferramenta são numerosas neste campo. Como por exemplo, o cálculo de alternativas e otimizações; a mitigação de riscos ou o limitar de custos; uma gestão de recursos mais eficiente; o planeamento de uma demolição de infraestruturas complexas; a criação de agendas de demolição; o planeamento de remodelações; a gestão na segurança no trabalho; a aprimorada colaboração, documentação, gestão de dados e visualizações; a contabilização da eficiência energética e emissões acrescidas das demolições [2].

De realçar que modelar objectos BIM é representar os componentes de um edifício, incluindo atributos geométricos e não geométricos e as relações entre ambos. Desta forma, essa informação necessita de ter precisão e de estar constantemente a ser atualizada de acordo com os procedimentos que vão ocorrendo, por forma a qualquer alteração se refletir no modelo de um modo automático e imediato.

Se somarmos estes atributos vantajosos, que o BIM pode acrescentar aos edifícios pré-existentes, aos benefícios decorrentes do seu uso em edifícios patrimoniais, encontramos uma vasta gama de vantagens asseguradas por esta ferramenta. De facto, a introdução do BIM no campo do património construído é capaz de suportar a gestão da informação colectada,

modelada, utilizada e partilhada pelos diferentes intervenientes envolvidos no processo de investigação e conservação. Isto melhora a disponibilidade e acessibilidade de todo o conhecimento relacionado com a história e arqueologia ligada ao artefacto, tornando mais fácil a sua interpretação, monitorizar as suas mudanças e documentar cada actividade de investigação e intervenção. Como consequência, as decisões interventivas serão tomadas tendo em conta o conhecimento exato, formalizado no modelo; serão identificadas situações de emergência; e poder-se-á ainda programar as actividades de intervenção e planear uma rotina de gestão e manutenção do edificado.

A modelação BIM serve assim como um inteligente dossiê electrónico de dados sobre um artefacto, durante as actividades de investigação e conservação, integrando a representação geométrica e os dados não geométricos.

De notar que, para representar e compreender completamente um artefacto histórico é necessário incluir não só a informação directamente relacionada com o objecto ou com as suas partes (ambas tangíveis ou intangíveis, como o material, a sua época/data, fase de deterioração), mas também uma larga quantidade de semânticas sobre diferentes aspectos contextuais (por exemplo, contexto histórico, informação social, recursos disponíveis naquele ambiente, outra informação sobre património, etc.). Esta tecnologia consegue armazenar todo esse tipo de informação, num modelo unificado, onde a representação geométrica e a necessidade de semânticas podem ser ligadas e adaptadas ao longo de todo o processo, permitindo que as pessoas acessem, editem e procedam à gestão da informação de acordo com o seu papel, tarefas e competências [3].

Para explorar e aprofundar estas potenciais vantagens aplicadas ao património construído, seleccionou-se como caso de estudo o Convento dos Capuchos da Caparica, em Almada, Portugal. Traçaram-se desde o início as seguintes metas, como forma de comprovar a premissa desenvolvida nesta seção:

- criação do modelo tridimensional do Convento dos Capuchos contemplando a sua área envolvente (jardins e arriba fóssil).
- realização de uma base de dados pormenorizada relativa a cada elemento constituinte do projeto arquitetónico, por forma a ser criado um arquivo onde toda a informação necessária poderá ser acedida com facilidade.
- dar a conhecer as principais fases de construção e restauro que o convento sofreu, executando a modelação de cada uma;
- demonstrar as vantagens em converter o património construído para uma representação digital, utilizando a tecnologia BIM.

2. Caso de Estudo – Convento dos Capuchos, Caparica

2.1 Breve apresentação

O Convento dos Capuchos da Caparica, fundado em 1558, é um de três conventos capuchinhos erigidos em Portugal, no século XVI, perto da capital lisboeta, e pertencentes à Ordem Franciscana. Para além deste convento, existem também um na Serra de Sintra, fundado em 1560 e outro, o primeiro a ser construído, em 1542, na Serra da Arrábida.

O Convento dos Capuchos da Caparica localiza-se no topo de uma extensa escarpa em frente ao Oceano Atlântico – a arriba fósil da Costa da Caparica. Esta paisagem protegida prolonga-se ao longo da faixa costeira por uma distância de 13km, cobrindo 1599 hectares (Figura 1). Antigamente, esta arriba fósil estava em contacto direto com o mar, porém, com a regressão marinha, tal deixou de acontecer, apesar deste elemento, a água, continuar a ser a referência de contemplação, e a dominar as vistas e perspetivas que se obtêm daquele lugar.

Numa gramática construtiva que, em larga medida, se mostraria transversal às várias províncias capuchas, os Estatutos arrábidos descrimnavam cuidadosamente as características dos diversos espaços conventuais (Figura 5), assumindo como grandes elementos definidores a igreja, de planta retangular, e o claustro, quadrangular, em torno do qual se alinhavam a maioria das restantes dependências (Figura 2).



Figura 1: Localização do Convento dos Capuchos da Caparica na paisagem protegida da arriba fósil da Costa da Caparica (esquerda); entrada principal do convento (superior direita); vista aérea com delimitação da antiga cerca do convento (inferior direita). Fonte: Bing Maps, 2016.

Este documento/livro dos Estatutos da Província de Santa Maria da Arrábida, escrito pelos primeiros frades que se estabeleceram na Arrábida, funciona como uma espécie de RGEU (Regulamento Geral de Edificações Urbanas) para os conventos capuchos, i.e, aqui são descritas as normas construtivas necessárias à edificação de um convento pertencente à Ordem dos Frades Menores Capuchinhos.

Segundo os critérios de classificação nacionais, o edifício escolhido para servir de estudo de caso do presente artigo insere-se na categoria de Imóvel de Interesse Municipal ou Património

Municipal, como é comumente descrito. Já a nível internacional, o convento encontra-se englobado na classificação de Monumento [4].



Figura 2: Perceção volumétrica do Convento dos Capuchos da Caparica a partir de uma vista aérea. Fonte: Bing Maps, 2016.

No século XIX, com a extinção das ordens religiosas em Portugal, ocorrida no contexto da consolidação do liberalismo no país, ao final da guerra civil portuguesa (1828-1834), a casa dos frades capuchinhos na Caparica acaba por conhecer o seu fim, apesar de temporário (Figura 3). É bem conhecido que a animosidade se fora instalando e crescendo face às ordens religiosas, desde finais do século XVII, quer por certa decadência interna das próprias ordens e congregações, quer por toda a mentalidade iluminista do século XVIII que com dificuldade entendia o papel da dimensão contemplativa da vida religiosa.

Em 1950, a Câmara Municipal de Almada considera o convento como imóvel de “interesse público” e adquire o Convento dos Capuchos da Caparica e o terreno que o confina o qual, à altura, estaria na posse de um particular. Este ato de compra por parte da Câmara abriu o caminho para o resgate efetivo do convento e para a sua recuperação, que urgia há já algum tempo. Procederam-se então as obras de reabilitação. Esta grande intervenção foi extremamente importante para a época e para a história do Convento dos Capuchos.



Figura 3: Estado de ruína e degradação do Convento dos Capuchos da Caparica após a extinção das ordens religiosas em Portugal (esquerda); e depois do restauro de 1950, aquando da aquisição do imóvel pela Câmara Municipal de Almada. Fonte: Caeiro e Fontes, 2013.

Depois da recuperação deste património municipal estar completamente concluída, o convento foi devolvido à comunidade e conheceu diferentes usos (como por exemplo, o de escola primária e de museu municipal). O edifício foi obrigado a ajustar-se ao programa exigido pelas novas funcionalidades.

Atualmente o Convento dos Capuchos é um edifício cultural, dedicado principalmente a eventos de música erudita. A escala do edifício adequa-se à atmosfera intimista criada nos concertos promovidos pela Câmara. Esta condição é privilegiada pelas condições acústicas favoráveis do claustro. Passou-se a celebrar anualmente o Festival de Música dos Capuchos neste convento aproveitando no verão as noites quentes da Caparica.

Desta forma a imagem do convento passa a afirmar a sua vocação para o acolhimento de múltiplas iniciativas (Figura 4), desde a realização de espetáculos a exposições e conferências. A música, através de ciclos de concertos entre o repertório medieval e moderno e as expressões mais contemporâneas, cruza-se com outras linguagens e discursos, presentes, fundamentalmente nas diversas exposições, propondo percursos pela pintura ou pela escultura, pela fotografia ou pela joalheria, pela arte sacra ou pelo património móvel [5].



Figura 4: Instalação artística no átrio (24 de Outubro de 2015). As colunas foram cobertas por espelhos, permitindo um jogo de perspetivas e visualizações aos seus utilizadores como forma de explorar a sua luz, espaço e tempo de diferentes maneiras. Fontes: Ana Tomé, 2016.

Estas atividades são sempre dispersas ao longo do interior e exterior do edifício funcionando como um convite à experiência da fruição do espaço. O convento possui ainda uma exposição permanente – “O Convento dos Capuchos – Vida Memória e Identidade” – sobre a sua história, usos e reconstrução. Esta exposição visa polarizar a investigação sobre as raízes da Ordem Franciscana em Portugal e as suas ligações com este espaço físico. O seu objetivo é a compreensão do passado histórico do convento para um melhor planeamento das futuras atividades. Como espaço devolvido à comunidade e ao seu serviço, o convento também tem acolhido várias iniciativas propostas por instituições ou relativas à própria vida do concelho e aos dinamismos das suas políticas culturais ou de promoção de cidadania. A capela do convento acolhe, até aos dias de hoje, cerimónias religiosas, como batizados ou casamentos.

Assim, é particularmente importante para uma dinâmica funcional bem sucedida, o desenvolvimento de uma ferramenta que apoie as decisões de gestão, considerando as duas principais perspetivas da manutenção do edifício: por um lado a sua utilização e, por outro, a integridade e preservação da sua construção.

2.2 Procedimentos de recolha de informação

De acordo com os objetivos traçados e como forma de os atingir, foi necessário considerar quatro aspetos simultaneamente: 1) o valor patrimonial do edifício; 2) o próprio edifício em questão; 3) os seus detalhes e técnicas construtivas; 4) e a metodologia de modelação BIM utilizada.

Para perceber as implicações da modelação BIM neste caso de estudo e reconstruí-lo virtualmente, foi importante analisar as técnicas e materiais que eram usados à data, em Portugal, assim como procurar artefactos arqueológicos que pudessem ajudar na compreensão sobre a constituição dos elementos construtivos que compõem o convento. No entanto, a informação disponibilizada sobre as intervenções passadas verificou-se não ser coerente nem conclusiva. Além disso, analisaram-se ainda os principais fatores de deterioração e erosão que afetavam o edificado. Foi, ainda, realizado um levantamento arquitetónico detalhado, com o auxílio de medições, fotografia, vídeo e esboços.

A exposição permanente do convento, sobre o próprio edifício em si e sua história, foi também uma ótima fonte de recolha de informação. Outro elemento importante de recolha de dados de apoio à investigação foram os, já referidos anteriormente, Estatutos da Província de Santa Maria da Arrábida, como forma de perceber a origem do convento, as necessidades de quem o habitou regularmente ao longo da história, assim como, o traço definidor característico dos cenóbios da Ordem dos Frades Menores Capuchinhos (Figura 5).



Figura 5: Primeira página dos Estatutos da Província de Santa Maria da Arrábida. Fonte: Caeiro e Fontes, 2013.

Os planos de construção relativos às duas grandes intervenções realizadas no convento, 1950-52 e 2000-2001, ao serviço da Câmara Municipal de Almada, foram um importante recurso para a conceção do modelo tridimensional do convento no seu estado atual.

A campanha de 1950-52 incidiu na reconstrução total do convento já que este se apresentava em estado total de ruína. Esta intervenção procurou respeitar o quanto possível, o estilo e a tradição do antigo cenóbio. Sendo assim, o trabalho desenvolvido refletiu-se na recuperação estrutural do edificado, no arranjo dos espaços exteriores e na procura de novas soluções decorativas que remetessem para o conceito original de um convento capuchinho.

Já a campanha de 2000-01 ambicionava consolidar esta recuperação do convento original e, simultaneamente, criar as condições requeridas às novas funcionalidades que o edifício se propunha abrigar. Esta intervenção teve em conta a reorganização espacial interior e dos principais acessos ao edifício, assim como a reabilitação de áreas incharacterísticas transformadas e adaptadas aos novos usos. Puderam-se reparar antigos erros, obviar novos danos e patologias que afetavam o edifício e recuperar a volumetria primitiva de algumas das antigas dependências conventuais [5].

Outra grande fonte de informação foi o Diretor do Convento dos Capuchos cuja colaboração mostrou-se essencial. Em conjunto houve uma reflexão sobre quais as características que o modelo BIM deveria incorporar de modo a se tornar útil e preencher as necessidades particulares deste espaço de índole cultural.

3. O desenvolvimento do modelo BIM

3.1 Pré-modelação (ou recolha de dados)

Para se proceder à modelação propriamente dita é preciso uma base, na qual o utilizador se vai fundamentar para dar início ao seu trabalho. Designamos por base todos os dados utilizados que apoiaram a conceção do modelo. Assim sendo, podem-se distinguir dois tipos de dados ou informação: os geométricos e os não geométricos.

Por informação geométrica compreendem-se os levantamentos feitos no terreno (dimensionais, fotográficos e audiovisuais) e os desenhos técnicos cedidos (em formato AutoCAD) para o propósito da modelação do convento. Já a informação não geométrica engloba a pesquisa bibliográfica realizada sobre o edificado e também sobre as potencialidades do software utilizado, – Revit - as entrevistas e reuniões com os intervenientes do projeto de reabilitação e as palestras e conferências assistidas sobre a temática BIM.

De um modo sucinto, toda esta informação foi muito importante para obter o modelo final, sendo que os dados geométricos influenciaram diretamente a execução do modelo e os dados não geométricos tiveram uma influência indireta.

3.2 Modelação da envolvente

Primeiramente foi modelada a área envolvente do convento. Esta área determinada acabou por ser bastante extensa e englobar diversos objetos, de modo a permitir situar o edificado no terreno e compreender a sua relação com a periferia que o rodeia.

Assim, neste ficheiro principal, denominado por “Project_CCC”, existiria a superfície topográfica e eixos viários confinantes, edifícios circunjacentes, – representados através de volumes com a cota correspondente - vegetação existente no local (árvores e arbustos predominantes) e alguns elementos exteriores ao convento, mas que fazem parte do complexo do mesmo, como o muro que delimita os seus jardins, por exemplo (Figura 6).

Devido à complexidade do Convento dos Capuchos optou-se por fazer a modelação do edifício num ficheiro independente ao da envolvente e, posteriormente, ligar os ficheiros Revit entre si.

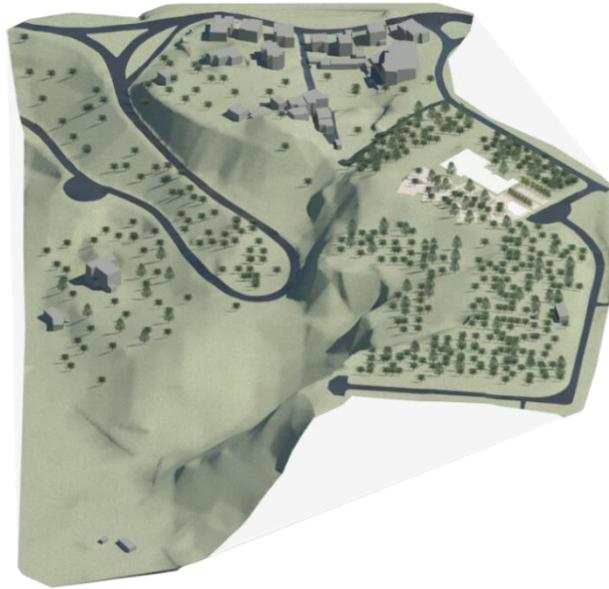


Figura 6: Área Envolvente do modelo BIM do Convento dos Capuchos da Caparica.

3.3 Modelação do Convento atual

Trabalhando agora no ficheiro “Project_CCatual”, e depois de efetuada a ligação dinâmica entre o modelo do edifício e da envolvente, iniciou-se o processo de modelação do edifício conventual. Este processo de modelação atingiu um grau de detalhe bastante minucioso (LoD300) pois, no caso de edifícios patrimoniais, o pormenor da representação assume um papel muito importante na representação virtual do objeto e preservação da sua memória e verdade geométrica.

Modelou-se primeiro os objetos mais simples ou regulares, como pavimentos, paredes, tetos, coberturas, escadas e rampas. Para os objetos mais complexos e que fugiam a esta regularidade, pelo seu detalhe ou forma especial, criaram-se famílias.

As Famílias correspondem a uma entidade do Revit com uma importância determinante no desenrolar das atividades ligadas ao processo de construção de elementos personalizados, i.e., tudo o que não vem com o programa de origem. Outra característica de grande destaque neste tipo de componentes é facto de serem parametrizáveis, tornando muito útil a sua utilização e facilitando o processo construtivo dos modelos.



Figura 7: Vista aérea poente do modelo BIM do Convento dos Capuchos da Caparica.

As Famílias, foram utilizadas para criar os vãos (janelas, portas e vãos simples) e ornamentos que o convento possui. O detalhe nestes objetos atingiu a medida mínima de 5mm.

Em larga medida foi este tipo de objetos que conferiu uma maior autenticidade ao modelo, uma vez que foram modelados todos os pormenores de acordo com a realidade existente.

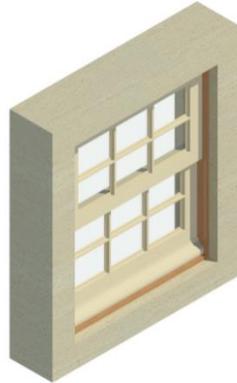


Figura 8: Render da “Janela com caixilho 3x4” - exemplo de uma Família existente no modelo BIM do Convento dos Capuchos da Caparica.

3.4 Modelação do antigo convento

Para a conceção do convento no seu estágio anterior recorreu-se à documentação existente – desenhos técnicos e livros que documentavam as alterações em relação ao edificado presente hoje em dia.

Criou-se então o “Project_CCantigo” que mais não é do que o “Project_CCatual” com as devidas alterações ocorridas, onde se eliminaram certos objetos e se acrescentaram outros, de acordo com a obra que foi realizada. Abaixo seguem algumas dessas alterações constatadas.



Figura 9: Renders do interior do claustro, atualmente (esquerda) e nos anos cinquenta (direita) do modelo BIM do Convento dos Capuchos da Caparica. Pode observar-se a alteração do pavimento e o desaparecimento dos espelhos de água.

3.5 Modelo do Convento dos Capuchos da Caparica

Tendo todas as partes criadas – envolvente, convento atual e convento antigo – e estando os modelos dos edifícios conventuais ligados ao modelo do território, poder-se-ia dar como terminado o trabalho de modelação efetuado. Porém, como forma de dar a conhecer a reconstituição digital desenvolvida a um público mais vasto, exportou-se o modelo do Revit para um formato que atualmente se pode considerar universal, o Adobe Acrobat Reader, criando um PDF 3D de todo o modelo.



Figura 10: Renders do modelo BIM do Convento dos Capuchos da Caparica.

4. Conclusões

Como demonstrado na seção anterior, foi possível criar um modelo tridimensional do Convento dos Capuchos da Caparica e área de implantação onde o mesmo se insere, o qual, por ter sido desenvolvido num software BIM, fornece à partida uma panóplia de informação sobre os objetos modelados, como por exemplo, a materialidade ou dimensionamentos dos objetos criados. Foram ainda realizados dois modelos concernes a duas épocas distintas, dando assim a conhecer as duas principais intervenções ao qual o edifício esteve sujeito. De notar que a modelação não contemplou o estágio original por falta de informação e documentação sobre o mesmo, visto que o convento foi fundado no século XVI. No entanto, e dado ser um modelo BIM, esta informação pode ser incorporada posteriormente dada a pretensão do Município em dar continuidade à investigação histórica e arqueológica sobre a fundação deste espaço conventual.

Concluído o trabalho prático e teórico relativo ao caso de estudo, foi possível sistematizar algumas ilações quanto à aplicação da tecnologia BIM no património edificado. Sublinhe-se, porém que, só com a experiência e prática desta atividade relativa à preservação do património usando a metodologia BIM, é que se poderá aprofundar resultados, identificar benefícios mais específicos e quantificar melhor a utilidade deste processo.

De entre as ilações retiradas, identificou-se a existência de duas grandes áreas de influência da aplicação do BIM no património: a gráfica e a alfanumérica.

Quanto à parte gráfica constatou-se que a aplicação da tecnologia BIM na representação fornece um ambiente de modelação capaz de melhorar a gestão da informação, alcançando uma clareza, consistência e coordenação de todo o conhecimento disponível para o perfeito entendimento do edifício que, de outra maneira, não existiria. Desta forma, a gestão e manutenção dos edifícios beneficia das propriedades visuais do BIM, já que estas mesmas propriedades elevam o grau da visualização da informação disponível, fator este que se traduz numa perceção da realidade mais coerente, acessível e completa.

Já a componente não geométrica, que compreende os dados numéricos, percentuais, textuais, entre muitos outros, torna acessível toda a informação possível e atualizada, sobre um determinado edificado. Tal propriedade mostra-se de extrema importância na gestão de um edifício pelo facto de esta compilar a realidade existente num ficheiro digital, ou seja, tudo o que se sabe sobre uma peça arquitetónica pode estar armazenado num lugar de fácil acesso para consulta ou edição.

Resumindo, as grandes vantagens da conversão para modo digital do património pré-existente, através da tecnologia BIM, residem:

- na unificação de toda a informação de um edifício, sistematizada, organizada e armazenada num repositório único (plataforma digital), acessível e editável por parte dos seus utilizadores.
- na precisão dos dados, i.e., na representação virtual da realidade existente, sendo possível efetuar alterações, parametrizáveis ou não, que avaliam as múltiplas alternativas num processo de escolha ou de tomada de decisão.

As duas características acima referidas podem, em conjunto, melhorar a gestão e manutenção de um edifício, isto porque prometem aumentar a eficiência dos trabalhos que as referidas atividades compreendem assim como criar um organizado arquivo de dados.

A missão do Convento dos Capuchos, hoje em dia, é a de Serviço Público, adquirindo um carácter social, na medida em que este edifício conventual está integrado numa rede de espaços culturais alicerçados na perspetiva de servir a população, mantendo uma intervenção ativa na cidade e no seu projeto cultural. Com o modelo BIM criado muitas oportunidades surgem, como a de dinamização e registo dos usos culturais que o imóvel oferece, através da simulação de eventos, os quais podem ser planeados neste modelo desenvolvido. Para além disso, toda e qualquer intervenção futura no convento deverá ser testada em primeiro lugar no modelo, obviando possíveis erros de desenho e quantificando os custos de determinado projeto, por exemplo. Outro uso inteligente do modelo poderá passar pela disponibilização de visualização

do mesmo ao público, numa webpage ou numa aplicação, possibilitando aos utilizadores uma navegação ou visita virtual pelo convento nunca antes conseguida.

Há, porém, uma falta de uso do BIM em património como forma de mostrar o quão útil poderá ser a conjugação desta ferramenta a este tipo de estruturas. Já se tem estudado e verificado os benefícios desta utilização das novas tecnologias ao serviço da herança cultural edificada, como foi referido anteriormente, todavia, a parte prática continua a ser o núcleo ou a chave dos acontecimentos futuros. Por essa razão torna-se relevante que alguma entidade comece ou inicie este processo, para se terem resultados mais específicos, que justifiquem e sugestionem outras entidades, por sua vez, a usarem também esta metodologia de preservação do património.

Referências

- [1] J. Garcia and J. Leitão, “BIM value”, in *Revit Course by Lusocuanza* (2014), Lisbon, Portugal, 2014, pp. 6.
- [2] F. Schultmann, J. Stengel and R. Volk, “Building Information Modelling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs”, *Automation in Construction*, vol. 38, pp. 109-127, December 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- [3] G. Carrara, S. Cursi, D. Simeone and I. Toldo, “BIM and knowledge management for building heritage”, *Acadia* 2014, pp. 681-690, 2013.
- [4] *Diário da República* nº 209/01 - IA Série, “Portaria nº 107/01 de 8 de setembro de 2001”, *Lei Fundamental do Património Cultural Português*, 2001.
- [5] N. Caeiro and J. Fontes, *O Convento dos Capuchos – Vida, Memória e Identidade – Catálogo da Exposição*. Câmara Municipal de Almada, 2013.

BUILDING LIFE CYCLE MANAGEMENT NA REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Raquel Matos⁽¹⁾, Fernanda Rodrigues⁽²⁾, Hugo Rodrigues⁽³⁾, Ana Alves⁽¹⁾, Paulo Ribeirinho⁽²⁾

(1) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro

(2) RISCO, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro Aveiro

(3) RISCO, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Politécnico de Leiria, Leiria

Resumo

A gestão de edifícios ao longo do seu ciclo de vida é atualmente um problema que requer otimização, considerando o alto custo associado à utilização dos edifícios e aos seus custos de operação e manutenção. O número de edifícios existentes que necessitam de ações de reabilitação, justifica a necessidade de um modelo de intervenção que optimize a sua vida útil, após o processo de reabilitação. Assim, a reabilitação, manutenção e os custos de planeamento devem ser estabelecidos e guiados pelo valor dos princípios monetários. Para melhorar o planeamento e para diminuir a perda de informação, pode ser usado o *Building Information Modeling* (BIM), que tem vantagens para todas as fases do ciclo de vida de uma edificação, devendo ser utilizado para apoiar a respetiva gestão. O BIM baseia-se num modelo 3D de estruturação de informação, que associado a várias dimensões, pode apoiar a determinação do custo do ciclo de vida (CCV) e o *Building Life Cycle Management* (BLCM). Assim, este artigo analisa a aplicação da metodologia BIM à reabilitação de um edifício e as suas vantagens para a determinação do CCV quando se consideram diferentes cenários de manutenção. Analisa também diferentes soluções de reabilitação em termos de durabilidade e custos.

1. Introdução

O conhecimento para modelar, analisar, manter, monitorizar, gerir, prever e otimizar o desempenho do ciclo de vida de estruturas e infraestruturas está a crescer continuamente. Estas, ao longo do seu ciclo de vida vão apresentando níveis não adequados de desempenho e segurança, pelo que, as decisões relativamente aos seus sistemas devem ser apoiadas por uma análise do ciclo de vida, baseada em múltiplos critérios de decisão, considerando entre outros fatores, o desempenho e o custo acumulado total esperado [1].

Os principais objetivos deste estudo são analisar a avaliação do desempenho do edifício ao longo seu ciclo de vida e otimizar a manutenção dos sistemas de construção e aplicar essa análise a um edifício caso de estudo. Pretende-se ainda ligar o *Building Life Cycle Management* (BLCM) e o *Building Information Modelling* (BIM) e realçar a importância do BIM no BLCM. O estudo é organizado da seguinte forma: primeiro são apresentados conceitos relacionados com o BLCM, avaliação do ciclo de Vida (ACV), custo do ciclo de vida (CCV) e BIM. Estes conceitos são importantes, uma vez que com base neles, é apresentada de seguida a metodologia aplicada e o caso de estudo realizado com base no CCV e na metodologia BIM. Por último, apresentam-se as conclusões.

2. *Building Life Cycle Management*

Building life cycle management (BLCM) é uma metodologia que inclui o planeamento, construção, operação e manutenção do edifício ao longo do seu ciclo de vida. Engloba todo o ciclo da construção, usando o processo digital para criar, gerir e partilhar informações de ativos, desenvolvendo um modelo colaborativo virtual: a metodologia BIM, que surge como um suporte essencial ao BLCM, permitindo a gestão e partilha de informação durante todo o ciclo de vida do edifício [2].

O *Building life cycle management* é um conceito holístico desenvolvido para gerir um edifício e o seu ciclo de vida, incluindo materiais, processos de construção, qualidade de construção, qualidade de fabricação, análise de resultados, especificações de teste, informações de componentes ambientais, normas de qualidade, requisitos de engenharia, mudança de ordens, processos de fabrico, fornecedores de componentes, etc [3].

Para realizar a gestão do ciclo de vida é muito importante saber como criar e realizar a gestão de dados e das informações corretamente [2]. As capacidades do *Building life cycle management* incluem *Workflow*, gestão de programas, processos que agilizam as operações de gestão e é um *backbone* de colaboração, permitindo que as pessoas nas várias empresas possam trabalhar em conjunto associando também o ACV e o CCV [3]. Torna possível controlar toda a vida útil de um edifício e as informações relacionadas com o mesmo, ou seja, permite uma gestão eficiente do ciclo de vida de um edifício, possibilitando aos proprietários comparar soluções diferentes, para encontrar a mais económica e menos prejudicial ao longo do seu ciclo de vida [3].

Considerando que cada edifício é único, a necessidade de manutenção, reparação e renovação de ativos varia de acordo com vários fatores, incluindo: a qualidade da construção, especificidades do projeto, condições de exposição, e o cuidado na utilização pelo proprietário e pela equipa de manutenção e gestão da propriedade. Apesar das diferenças entre construções, determinou-se que muitas delas seguem um padrão semelhante à medida que passam pelas diferentes fases que constituem os seus ciclos de vida [4]. Desta forma, indicam-se de seguida as fases gerais do ciclo de vida de um edifício.

2.1 Fases do ciclo de vida

O ciclo de vida começa com o fabrico do material, que inclui a extração da matéria-prima, transporte para o local de fabrico, fabrico de materiais intermédios, fabrico embalagem e distribuição de produtos de construção [5]. A fase de construção inclui atividades relacionadas com a construção e reabilitação de um projeto, incluindo, normalmente, as seguintes atividades: transporte de materiais e produtos para o local de construção, uso de ferramentas e equipamentos, fabrico no local e uso de energia para o estaleiro. A determinação dos impactos permanentes para o local de construção também se enquadra nesta fase, embora estes impactos sejam incluídos no ACV [5]. Na fase de utilização e manutenção, que se refere à fase operacional do edifício, inclui todas as atividades relativas ao uso do edifício ao longo da sua vida útil. Estas atividades incluem a manutenção das condições de conforto no interior do edifício, consumo de energia, consumo de água e produção de resíduos e poluentes ambientais. Também considera a reparação e substituição de sistemas de construção, bem como o transporte e uso de equipamentos necessários para estas atividades [5] e [6]. Finalmente, há o fim de vida, que inclui a energia consumida e os resíduos produzidos, devido à demolição, incluindo o transporte de materiais, depósito, atividades de reciclagem e reutilização [6].

Note-se que esta descrição das fases do ciclo de vida, baseia-se nos estudos de ACV. Cada ciclo de vida, pode incluir ou não todas as atividades descritas dependendo do âmbito do projeto [5].

2.2 Avaliação do ciclo de vida (ACV) e Custo do ciclo de vida (CCV)

Embora estas metodologias não sejam muito desenvolvidas neste trabalho considerou-se importante dar uma breve descrição sobre estes conceitos, uma vez que estão diretamente relacionados com o BLCM. O BLCM é uma estrutura que utiliza o ACV e CCV para apoiar as decisões sobre o desenvolvimento sustentável da gestão do ciclo de vida [5].

Avaliação do ciclo de vida compreende a avaliação do impacto ambiental de um produto ou serviço durante todo o seu ciclo de vida [7], apresentando 3 variantes, dependendo das fases do ciclo de vida estudadas: Cradle-to-Grave, Cradle-to-Gate e Cradle-to-Cradle, [8].

De acordo com a ISO 15686:2008 e Dixon (2012), o Custo do ciclo de vida (CCV) é o custo de um ativo ou de uma parte ao longo do seu ciclo de vida, enquanto cumprem os requisitos de desempenho. Estes custos podem ser calculados pela expressão (1) [9].

$$CCV = C + VAL_{recorrente} - VAL_{valor\ residual} \quad (1)$$

Na qual: CCV é o custo do ciclo de vida, C é o custo de construção no ano 0 (custos indiretos e diretos), $VAL_{Recorrente}$ é o valor atual líquido de todos os custos recorrentes (de utilização, manutenção, substituição, serviços, etc) e $VAL_{valor\ residual}$ é o valor atual líquido do valor residual do edifício em estudo (é recomendado ser igual a 0).

O trabalho desenvolvido, para além deste artigo, foca-se no custo, mas é importante reconhecer que a escolha dos materiais e produtos para cada projeto têm impactos diretos e indiretos no ambiente, bem como nos custos operacionais. A aplicação do CCV e do ACV permite às equipas de projeto demonstrar que consideraram os impactos ambientais e económicos nas suas

decisões e, desta forma, escolheram os melhores materiais e produtos para o trabalho a realizar [7].

Em todo o ciclo de vida do edifício, quer na fase de construção, quer na de manutenção ou no fim de vida, a minimização dos custos e dos seus impactos ambientais, é crucial, o que pode ser alcançado através da previsão das atividades de manutenção e do seu custo, logo na fase de projeto.

De seguida, apresenta-se a importância do BIM na gestão de edifícios e de seguida explica-se a aplicação da metodologia BIM ao caso de estudo.

2.3 BIM e BLCM

Combinando o BLCM com a informação digital criada, gerida e partilhada, o BIM surge como um suporte essencial que permite reduzir a perda de informações durante o processo de conceção, construção e gestão [2]. Além disso, os modelos virtuais precisos de um edifício são construídos digitalmente, apoiando o projeto em todas as suas fases, permitindo uma melhor análise e controle, do que os processos manuais. Os modelos digitais, quando concluídos, contêm geometria precisa e os dados necessários para apoiar a construção, fabricação e atividades de gestão, através das quais o edifício é realizado.

Quando bem adotado, o BIM facilita um processo de conceção e construção mais integrado que resulta numa melhor qualidade dos edifícios, a custos mais baixos e com redução da duração do projeto. Esta metodologia também melhora novas capacidades tais como, a verificação e deteção de conflitos num modelo multidisciplinar, antes da fase de construção, e a verificação automática do projeto quanto ao cumprimento de exigências legais e regulamentares [10].

O BIM tem benefícios para a fase de construção, através das suas ferramentas de coordenação e controlo do planeamento e para a deteção de conflitos, permitindo a deteção e consequente resolução de erros com antecedência, permitindo assim soluções mais económicas e menos pedidos de alterações que tornam os projetos e as construções mais caras [11]. Além disso, a combinação de *Industry Foundation Classes* (IFC), BIM, BLCM e *web services* (solução utilizada na integração de sistemas e na comunicação entre aplicações diferentes), torna possível chegar a uma plataforma que apresenta uma forma prática de perceber, criar, trocar, partilhar e gerir informações de todos os participantes da indústria da construção.

As diferentes informações tais como tempo, custos, medidas de segurança e qualidade, podem ser integradas nas bases de dados do BIM, e por isso os investigadores acreditam que o BIM tem um grande potencial para melhorar a construção e para gerir e partilhar informação durante todo o ciclo de vida do edifício [2]. O BIM torna ainda, a coordenação e a gestão do trabalho no estaleiro mais eficiente, devido à fácil compreensão do modelo, à sua capacidade de deteção de erros e omissões antecipadamente, facilitando a sua atualização e evitando problemas, custos e horas de trabalho a mais, durante a fase de construção.

Também é importante notar, que o BIM é considerado um sistema técnico-social multicamadas, que inclui o núcleo técnico e a parte social, que combina a tecnologia feita pelo Homem e as consequências sociais e institucionais da sua execução na sociedade. O núcleo técnico do BIM

é o software que permite a modelação 3D e a gestão de informações, no qual é possível inserir informações adicionais, tais como informação sobre sustentabilidade e ações de manutenção, como é possível no *software* Autodesk Revit [12].

No presente estudo, o BIM é aplicado na gestão do ciclo de vida, com o objetivo de introduzir as ações de manutenção preventiva associadas ao modelo do edifício. Alguns projetistas incorporam dados sobre custos de substituição esperados durante a vida do edificado, contribuindo assim para facilitar a análise de alternativas, nomeadamente permitindo ao proprietário analisar os benefícios de investir em materiais e sistemas que podem custar mais inicialmente, mas que têm um melhor retorno ao longo do ciclo de vida do edifício. Considera-se desta forma, a tecnologia BIM vantajosa na gestão de informações durante todo o ciclo de vida do edifício na arquitetura, engenharia e construção.

Neste caso de estudo, através do modelo BIM, pretende-se criar apoio ao desenvolvimento do CCV na reabilitação e às futuras ações de manutenção de um edifício. No entanto, a inovação da tecnologia BIM também pode melhorar a previsão, gestão e monitorização dos impactos ambientais dos projetos de construção [12]. Assim, é possível concluir que o BIM traz vantagens tanto para a ACV como para o CCV.

3. Caso de estudo

Foi considerado um edifício do século XX, sujeito a reabilitação, localizado em Vila Nova de Gaia, em Portugal, tendo sido aplicada a seguinte metodologia:

1. Caracterização do edifício;
2. Determinação da vida útil estimada dos materiais e componentes;
3. Definição de alternativas;
4. Planeamentos das ações de manutenção e reabilitações;
5. Estimativa de custos;
6. Cálculo do Custo do ciclo de vida;
7. Análise dos resultados;
8. Modelação do edifício em Revit, incluindo a integração de custos unitários e ações de manutenção correspondentes aos objetos.

No entanto, o âmbito deste artigo foca-se sobretudo nos passos 1 e 8.

3.1 Caracterização do edifício

O edifício em estudo localiza-se em Vila Nova de Gaia, numa encosta sob terreno argiloso com afloramentos rochosos. A fachada principal é orientada a norte e o edifício foi sujeito a uma profunda reabilitação recentemente.

É um edifício típico do Porto, de 2 pisos, constituído por paredes de alvenaria de pedra de granito, lajes com vigamento de madeira, e com cobertura constituída por asna de madeira com apoio nas paredes de granito laterais. A espessura das paredes de granito varia entre 0.50 m a 0.90 m. A reabilitação do edifício inclui a elaboração de uma laje colaborante para o primeiro piso, suportada pelas paredes de granito laterais. O acabamento das paredes interiores é de

reboco com pintura ou gesso cartonado e os forros do teto são, sobretudo, de gesso cartonado, havendo um de madeira. O acabamento das paredes exteriores é em pintura. Relativamente aos revestimentos de pavimento são de madeira e pedra natural.

De acordo com a sondagem geotécnica, o nível freático encontra-se à profundidade de 2.8 m. Embora a maior parte das anomalias identificadas estejam relacionadas com humidades e condensações, estas são relatadas como sendo provenientes da infiltração de água pela cobertura, causada por um sub dimensionamento das caleiras. Além disso, o edifício tem materiais e componentes envelhecidos e degradados que necessitam de uma remodelação para serem mais seguros e modernos. As Figuras 1 à 3 mostram o exterior do edifício antes e depois da reabilitação e as Figuras 4 à 6 mostram o interior do edifício durante e depois da reabilitação.



Figura 1: Edifício antes da reabilitação.



Figura 2: Edifício depois da reabilitação.



Figure 3: Edifício depois da reabilitação.



Figure 4: Edifício durante a reabilitação.



Figura 5: Edifício depois da reabilitação.



Figura 6: Edifício depois da reabilitação.

3.2 Metodologia

Foi desenvolvido um modelo 3D no *software* Revit 2016. Através da criação de parâmetros compartilhados foi possível associar cada ação de reabilitação ao modelo 3D, a cada objeto em cada família como se pode observar na Figura 7 relativamente à Cobertura EP.

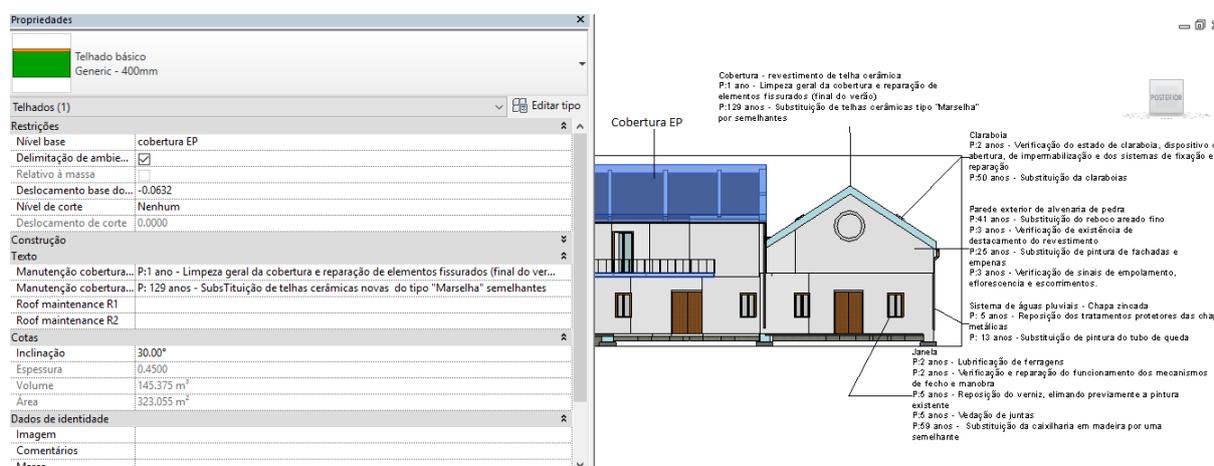


Figura 7: Parâmetros compartilhados associados aos elementos do modelo 3D.

O mesmo foi feito para os custos unitários das ações de manutenção consideradas. Através de uma *Schedule* pode ser extraído o custo de manutenção total de uma ação específica, bem como a listas dos trabalhos de manutenção a serem realizados, incluindo a sua periodicidade. Assim, através dos parâmetros compartilhados, das ações de manutenção e periodicidades adicionadas e dos custos incluídos é possível a elaboração do plano de manutenção.

Relativamente ao CCV, o custo do ciclo de vida deve ser usado para avaliar as alternativas em termos de custo e tempo. Neste caso de estudo, o CCV compara as vantagens de 3 estratégias de manutenção. Assim, foram criadas 3 alternativas (ciclo de vida sem manutenção, ciclo de vida com manutenção reativa e ciclo de vida com manutenção preventiva) e os respetivos cenários de manutenção, nos quais os fatores e as estratégias de manutenção mudam.

Para o cálculo do CCV foi necessário identificar os elementos fonte de manutenção e as suas vidas úteis de referência. Em seguida, foi determinada a vida útil estimada dos materiais através do método fatorial definido em [14]. Para aplicar este método, foi necessário definir e caracterizar um conjunto de condições e fatores que têm implicações no desempenho ao longo do ciclo de vida do elemento. É ainda necessário o planeamento das ações de manutenção, os seus custos e a sua programação, que permitem o cálculo do CCV atualizado ao longo de 50 anos, que é o período considerado neste estudo.

Em relação ao planeamento da manutenção e reabilitação, foram desenvolvidas um conjunto de especificações em projeto para estabelecer as ações de manutenção preventiva [15]. Estas, são incluídas no modelo BIM, processo que está em progresso.

3.3 Resultados obtidos

Neste trabalho, procedeu-se à modelação do edifício objeto de estudo no *software* Revit 2016, com o objetivo de obter os planos de manutenção, através da introdução de parâmetros compartilhados como foi explicado no subcapítulo 3.2, pretendendo-se concluir sobre as vantagens do BIM neste âmbito.

É ainda de notar que o BIM está a transformar o setor da arquitetura, engenharia e construção fornecendo informações precisas e relevantes ao longo do ciclo de vida dos edifícios. Embora o uso da tecnologia BIM ainda esteja em desenvolvimento, é claro o seu potencial para melhorar a eficácia do BLCM [11].

As Figuras 8 a 11 mostram o modelo 3D realizado em Revit, onde é possível observar a modelação de guardas, claraboias, escadas, estrutura do piso, forros e sancas, janelas, portas, paredes, vigas estruturais, telhado, sistema de drenagem de águas pluviais entre outros.



Figura 8: Modelo 3D – alçado Norte.



Figura 9: Modelo 3D – corte no alçado Este.



Figura 10: Modelo 3D – corte no alçado Oeste.



Figura 11: Modelo 3D – corte a meio do edifício.

O BIM é mais do que um *software* [16], pois além da modelação em 3D, inclui a colaboração de pessoas com diferentes funções, competências e interesses, atividades e processos. Permite, entre outras informações, extrair tabelas com a codificação do material e a sua respetiva medição, custos, descrição e tipo.

A Figura 12, mostra uma tabela extraída automaticamente do modelo 3D, que inclui as quantidades dos materiais, o custo total de manutenção e a lista de trabalhos de manutenção incluindo as respetivas periodicidades.

<Tabela de revestimento de pisos>						
A	B	C	D	E	F	G
Família e tipo	Material	Área	Custo	custo p área	Manutenção pisos 1	Manutenção Piso - (verificações)
Piso: sala 0	Ardósia	98 m ²	57.75	5665.05	P.79 anos - Substituição de pedra natural	P.3 anos - Verificação de processos patológicos
Piso: pavimento atrio0	Granito	159 m ²	52.17	8315.07	P.79 anos - Substituição granito	P.3 anos - Verificação de processos patológicos
Piso: varanda	Granito	23 m ²	52.17	1186.40	P.44 anos - Substituição granito	P.3 anos - Verificação de processos patológicos
Piso: varanda	Granito	2 m ²	52.17	102.25	P.44 anos - Substituição granito	P.3 anos - Verificação de processos patológicos
Piso: piso ceramico	Revestimento cerâmico	24 m ²	21.11	501.82	P.25 anos - Substituição do revestimento cerâmico	
Piso: piso ceramico 2	Revestimento cerâmico	32 m ²	21.11	666.41	P.25 anos - Substituição do revestimento ceramico	
Piso: piso ceramico	Revestimento cerâmico	8 m ²	21.11	168.58	P.25 anos - Substituição do revestimento cerâmico	
Piso: pavimento prova vi	Revestimento de madeira	106 m ²	85.77	9106.34	P.45 anos - Substituição de revestimento de madeir	P.19 anos - Substituição de pintura do revestimento
Piso: pavimento atrio 2	Revestimento de madeira	240 m ²	85.77	20612.85	P.45 anos - Substituição de revestimento de madeir	P.19 anos - Substituição de pintura do revestimento
Total geral: 9		692 m ²	449.13	46324.78		

Figura 12: Exemplo de tabela extraída do modelo 3D, no Revit, relativamente aos revestimentos de pavimento.

Quando o modelo é modificado, esta informação é automaticamente modificada também. Assim, para tirar vantagem desta metodologia, o modelo 3D desenvolvido tem como objetivo auxiliar na elaboração de planos de manutenção que sejam uteis durante a vida útil do edifício.

4. Conclusão

O caso de estudo apresentado destina-se a aplicar a metodologia BIM e explorar as suas potencialidades para o BLCM. Embora o BIM tenha muitas vantagens, é uma metodologia ainda pouco usada, e, quando utilizada, geralmente, só explora a representação tridimensional, não implementando todo o potencial do conceito.

O uso da metodologia BIM revelou-se importante, uma vez que além de reduzir a perda de informação, facilita a comunicação dos vários intervenientes, o que acaba por tornar mais eficiente a sua interação com o projeto. Assim, é possível detetar conflitos, minimizar o pedido de alterações, o que acaba por contribuir para a redução do custo de construção. Além disso, permite a inserção de ações de manutenção no modelo, o que facilita a realização dos planos de manutenção e minimiza o respetivo custo. Conclui-se assim que esta metodologia é vantajosa quando aplicada à manutenção do edifício permitindo a análise e otimização do CCV.

Os resultados obtidos permitiram concluir que a abordagem explorada, pode ajudar os profissionais, utilizadores e decisores a melhorar a gestão da manutenção, no âmbito do ciclo de vida, com o objetivo de atingir o mais alto desempenho. No futuro, o presente estudo poderia ser estendido para uma amostra representativa do edificado Português e portanto, poderia influenciar o mercado imobiliário e todas as partes interessadas, de acordo com as necessidades e desejos dos seus utilizadores.

Relativamente à metodologia aqui descrita, a presente abordagem destinou-se a analisar o custo do ciclo de vida para investigar os benefícios de diferentes alternativas de manutenção do edifício (ciclo de vida sem manutenção, ciclo de vida com manutenção reativa, ciclo de vida com manutenção preventiva). Para estudos futuros propõe-se a continuação deste trabalho na vertente do ACV, com o objetivo de analisar como é que o BIM pode ajudar a melhorar o estudo e aplicação do ACV na reabilitação de edifícios.

Referências

- [1] LCP, consulted on 4, June, 2016. available in <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15732471003594427>.
- [2] L. Qing, T. Tao, W. Ping, " Study in Building Lifecycle Management Platform Based on BIM " in . Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014, pp. 1-8.
- [3] A. Saaksvuori, A. Immonem, Product life cycle management. Springer, 2008.
- [4] M. Duraibi, "FM in Building Life Cycle MEFMA – Middle East Management Association Presented by Arch Mohammad Al Duraibi CEO – Da'em Real State Investement Company One of Manafea Golding Group, 2016.
- [5] C. Bayer, M. Gamble, R. Genry, and S. Joshi, AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice. American Institute of Architects, Washington, USA, 2010.
- [6] L. Cabeza, L. Rincón, V. Vilariño, G. Pérez, A. Castell, "Life cycle assessment (LCA) and life energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review " in Renewable and Sustainable Energy Reviews 2014, pp. 394-416.
- [7] W. Dixon, What is whole Life Cycle Costing, Life Cycle Analysis and Life Cycle Costing? WD Re-Thinking Ltd, 2012.
- [8] R. Mateus, "Avaliação da Sustentabilidade na Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis.," Tese de Doutoramento, Braga, Universidade do Minho, 2009.
- [9] SULB, "Guidelines for life cycle cost analysis" in Stanford University Land and Buildings, 2005.
- [10] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook : a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011.
- [11] FM, BIM: Revolutionizing Building Life Cycle Management. Article Magazine, Consulted on 4 June, 2016 available in <http://fmlink.com/articles/bim-revolutionizing-building-life-cycle-management/.2016>
- [12] J. Wong, J. Zhou, " Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review " in Automation in Construction 2015, pp. 156-165.
- [13] R. Vanlande, C. Nicolle, C. Cruz, "IFC and building lifecycle management" in Automation in Construction, 2008, pp. 70-78.
- [14] ISO 15686-1, " ISO 15686-1: (2008). Buildings and constructed assets – Service-life planning – Part 1: General principles," International Organization for Standardization (ISO),2008.
- [15] R. Rodrigues, " Gestão de edifícios: Modelo de simulação técnico-económica," Tese de Doutoramento, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2001.
- [16] E. Johansson, D. Haftor, B. Magnusson, J. Rosvall, " On Building Information Modeling: an explorative study." Department of Informatics and Department of Construction Technology, Linnaeus University, Linnaeus University Press Växjö, Sweden, 2014.
- [17] S. Pinho, " O Modelo IFC como Agente de Interoperabilidade," Tese de Mestrado, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.

MODELAÇÃO BIM DO PATRIMÓNIO EXISTENTE. O CASO DE UMA ETAR

Luís M. P. Rodrigues ⁽¹⁾, Sofia Henriques ⁽¹⁾, Jorge de Mello Vieira ⁽¹⁾

(1) CENOR Consultores, S.A., Lisboa

Resumo

Apresenta-se o caso de estudo da modelação BIM de uma ETAR para a qual foram previstas obras de beneficiação e ampliação na obra de entrada e respetiva unidade de desodorização.

A CENOR identificou a oportunidade de criar o modelo BIM da obra existente passando este modelo a ser a base para o desenvolvimento do projeto por parte do Empreiteiro e com o intuito de obter, no final da empreitada, o modelo *as built* dos órgãos sujeitos a intervenção.

O trabalho foi desenvolvido na perspetiva da realização de um cadastro do património existente e teve por base a informação disponível sobre a obra.

Apresentam-se as principais dificuldades decorrentes de se tratar da primeira experiência BIM da CENOR, não tendo ainda iniciado um processo formal de adoção de metodologias BIM e da insuficiente definição de objetivos e de níveis de detalhe (LOD) do modelo.

Durante o processo os objetivos do modelo BIM passaram a incluir, também, a possibilidade de integração com o sistema de Gestão, Operação e Manutenção, mediante ligação do modelo às bases de dados.

Na sequência deste processo, constatou-se que a adoção e implementação de processos, metodologia e tecnologias BIM obriga a um planeamento estratégico dessa implementação

1. Introdução

A gestão e manutenção de património têm ganho importância no sector AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), nos países mais infraestruturados. Em grande parte dos casos, tais infraestruturas aproximam-se do final do seu ciclo de vida mas é absolutamente

necessário mantê-las em funcionamento e/ou dotá-las de capacidade adicional. Assim, torna-se muitas vezes necessário realizar obras de conservação, beneficiação, ou ampliação das infraestruturas já construídas.

Face à necessidade de garantir o adequado funcionamento das infraestruturas, garantir os níveis de desempenho e de aumentar a eficiência da gestão e manutenção, as entidades gestoras necessitam de encontrar ferramentas de suporte apropriadas às novas exigências.

A adoção das metodologias e processos BIM (*Building Information Modelling*) na indústria AECO é um dos mais promissores e abrangentes desenvolvimentos para o sector e tem vindo a crescer por todo o mundo, tornando-se claramente uma tendência global, que não pode ser ignorada e sendo.

Um dos exemplos mais mediáticos da adoção de BIM na construção é o projeto *Crossrail* em Londres.

Contudo, as vantagens da utilização de BIM não se limitam às novas construções. O caso da Ópera de Sydney, um edifício de grande complexidade, construído entre 1958-1973, é disso um exemplo, onde as vantagens de utilização dos modelos BIM para FM (*Facility Management*) são muito relevantes. A conversão dos desenhos originais (desenhado à mão) para CAD concretizou-se no final dos anos 80 e em 2005 foi criado o Modelo BIM para FM, dadas as limitações e incoerências que encontravam nos desenhos 2D.

Segundo S. Ballesty *et al.* [1] desta experiência na Ópera de Sidney foi possível concluir que:

“The FM Exemplar Project has established that building information modelling is an appropriate beneficial technology enabling storage and retrieval of integrated building, maintenance and management data for Sydney Opera House. Using this approach yielded several advantages such as consistency in the data, intelligence in the model, multiple representations such as two- and threedimensional (2D and 3D) reports, an integrated source of information for existing software applications, and integrated queries for data mining. The standardised building model acts as main data structure which can be extended with other data sources as each element of the model such as a wall, furniture, a room, or a grouping of elements has a unique identifier. This unique identifier can be used as a basis for correlating different datasets, thereby opening up query capabilities across different datasets”

É no âmbito da modelação BIM de património existente que se apresenta o caso de estudo de desenvolvimento de um modelo BIM de uma ETAR (Estação de Tratamento de Águas Residuais) existente.

2. Enquadramento

Para a ETAR em estudo foram previstas obras de beneficiação e ampliação na obra de entrada e respetiva unidade de desodorização, para além de outras pequenas intervenções de substituição de equipamento noutros órgãos.

O Programa Base da obra a realizar, foi desenvolvido pelo consórcio CENOR/SISAQUA em 2014, constituindo a base para o projeto de execução, a realizar no âmbito de uma empreitada em regime de conceção/construção pelo Empreiteiro a seleccionar por concurso.

O Projeto Base foi desenvolvido sobre a informação da obra existente, designadamente:

- arquivo em papel do projeto de execução da ETAR de 1987
- arquivo em papel de projeto de ampliação de 1998
- arquivo digital de desenhos CAD de empreitada de renovação de equipamento de 2005

Durante a fase de elaboração do projeto, a CENOR identificou uma série de lacunas na informação de base disponível, pelo que se identificou a necessidade de realizar levantamento cadastral da obra existente.

Tendo a CENOR já identificado as potencialidades da metodologia BIM, propôs-se ao cliente a execução de modelo BIM da obra existente que constituísse a base para o desenvolvimento do projeto por parte do Empreiteiro, com o intuito de obter, no final da empreitada, o modelo *as built* dos órgãos sujeitos a intervenção.

O cliente aceitou o desafio proposto e deu-se início à primeira experiência BIM da CENOR que consistiu na modelação dos órgãos alvo de intervenção.

Note-se que, nesta altura, a CENOR não havia ainda iniciado um processo formal de adoção de metodologias BIM, pelo que a modelação teve também um carácter exploratório.

3. Caso de Estudo: Modelação BIM de uma ETAR

3.1 Objetivos e âmbito do projeto

O modelo BIM da Obra de Entrada da ETAR foi desenvolvido com o objetivo de reunir informação dispersa em telas finais de diversas empreitadas sucessivas de forma a servir de base ao projeto da empreitada de ampliação da infraestrutura.

Na prática, foi necessário recriar o construído (*as built*) a partir da documentação existente complementada com levantamentos locais para definição de alterações ao projeto não documentadas.

O modelo de levantamento existente, desenvolvido em Revit 2015, abrangeu a Construção Civil, Circuitos Hidráulicos e Equipamentos Hidromecânicos existentes dos órgãos afetados pela futura ampliação, nomeadamente:

- Obra de entrada e Pré-Tratamento (gradagem, elevação, separação e lavagem de areias e óleos);
- Desodorização da Obra de Entrada.

Foram também incluídos no modelo BIM os Decantadores Primários e o edifício de Desidratação de Lamas por se prever também a necessidade de substituição de equipamento nestes órgãos.

Durante o decorrer do processo de modelação do existente foi reconhecido o potencial do modelo BIM como ferramenta de apoio aos processos de Gestão, Operação e Manutenção, servindo para visualização e localização de equipamentos, permitindo o fácil acesso às suas características técnicas e outras informações relevantes para a gestão, operação e manutenção.

Este reconhecimento, por parte do cliente, foi facilitado pela perceção de que o modelo BIM pode ser encarado como uma representação gráfica e ponto de acesso a uma base de dados, à semelhança dos SIG (Sistemas de Informação Geográfica) que são já uma ferramenta plenamente adotada pelo cliente, e cujas vantagens são reconhecidas. Note-se, no entanto, que os SIG são uma ferramenta poderosa mas vocacionada para obras com dispersão geográfica, carecendo de capacidade para representar obras localizadas e com alto grau de complexidade num espaço relativamente concentrado e com o detalhe necessário.

Assim, os objetivos do modelo BIM passaram a incluir, também, a sua futura integração com o sistema de Gestão, Operação e Manutenção do cliente.

Foi entanto, definido que, no final da Empreitada o modelo *as built*, atualizado pelo Empreiteiro e incluindo a informação técnica relativa à Empreitada, será entregue ao cliente e submetido a um processo de validação para conferir a compatibilidade da informação com as Bases de Dados existentes e a adequação da mesma às necessidades dos intervenientes dos processos de Operação e Manutenção.

Face a esta redefinição de objetivos, pretendeu-se dotar o modelo de levantamento do existente realizado pela CENOR das características adequadas à integração com o sistema de Gestão, Operação e Manutenção do Cliente, designadamente a identificação dos elementos e sua caracterização de acordo com os parâmetros da Base de Dados.

3.2 Bases para a construção do modelo BIM

A informação existente e disponível sobre a ETAR que serviu de base ao desenvolvimento do modelo BIM encontrava-se dispersa por diversos arquivos e em formatos variáveis.

O modelo BIM foi desenvolvido, essencialmente, com base nos seguintes elementos (Figura 1):

- desenhos existentes em Arquivo: Telas Finais do projeto inicial da ETAR de 1987 e Telas Finais da Empreitada de Adaptação e Completamento da ETAR de 1998;
- levantamento por Nuvem de Pontos do exterior de toda a ETAR, realizado para apoio ao projeto de beneficiação.

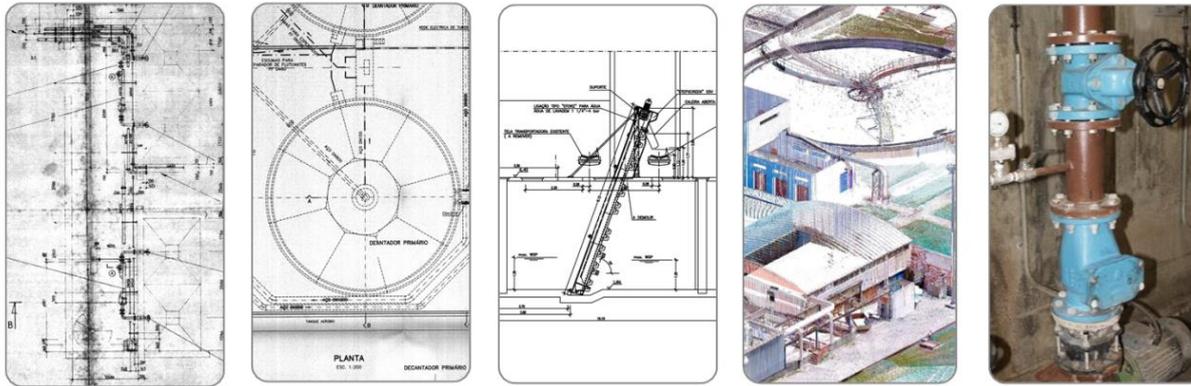


Figura 1: Informação base (da esq. para a dir.): telas finais (1987), desenhos da ampliação (1998), desenhos da renovação de equipamento (2005), levantamento por nuvem de pontos (2014), fotografia e vídeo (2014-2015)

O conjunto de desenhos das telas finais do projeto original de 1987, que se encontrava arquivado apenas em papel, foi encontrado incompleto e apresentava alguns desenhos de fraca leitura, devido ao seu estado de degradação.

Foi essencial, por isso, a recolha de informação no local – medições, verificação de códigos de identificação dos elementos, diâmetros de tubagem – apoiada por registo fotográfico e vídeo. Estes levantamentos revelaram a transposição incompleta das alterações realizadas para o arquivo de telas finais da obra.

Foram desenvolvidos 3 modelos, interligados entre si, de acordo com as especialidades – Modelo de Construção Civil, Circuitos Hidráulicos e Topografia – de forma a facilitar a gestão da informação em cada modelo.

3.3 Modelação

Refira-se que as peças de projeto encontradas em arquivo não referiam o sistema de coordenadas e os vários projetos divergiam do levantamento mais recente e entre si.

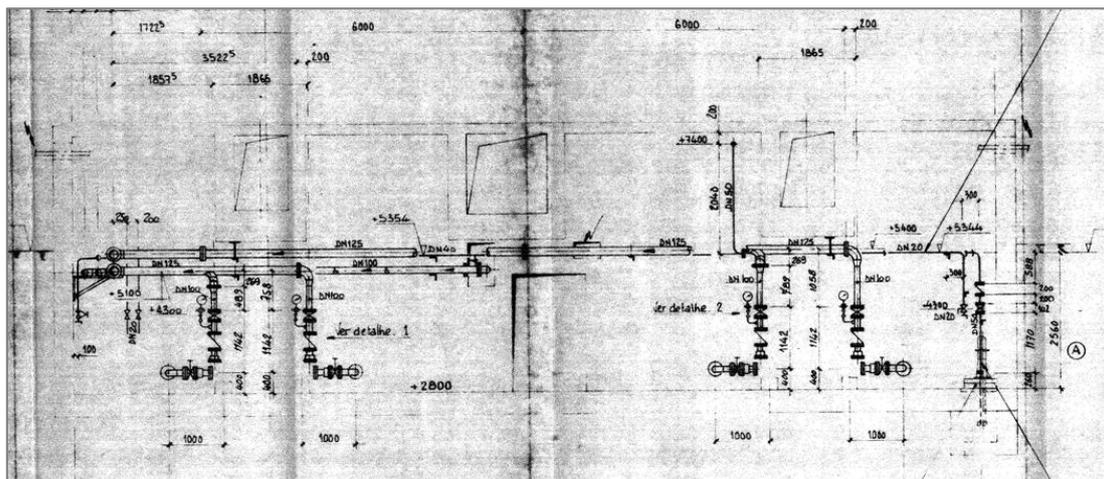


Figura 2: Telas finais (1987) – corte (extrato).

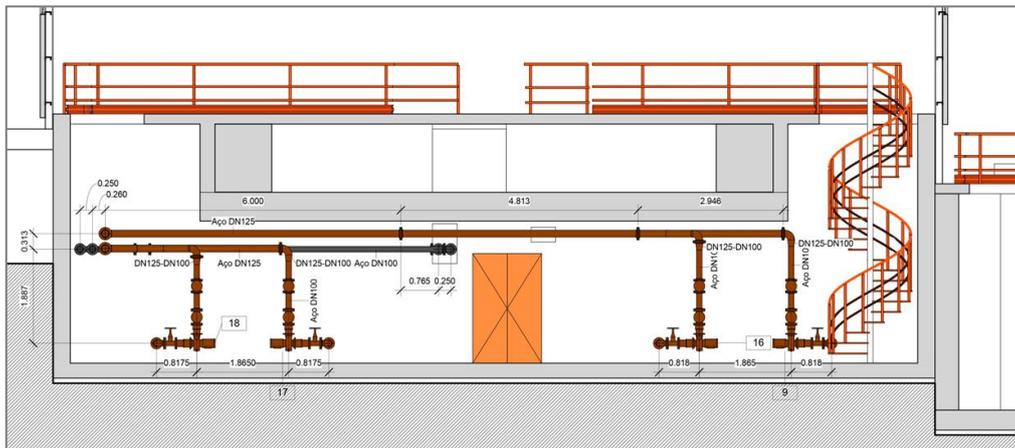


Figura 3: Modelo BIM – corte.

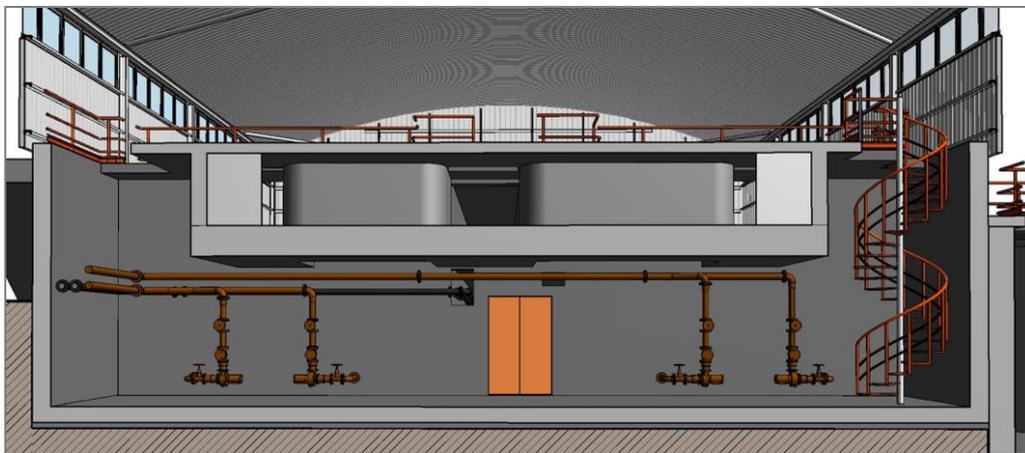


Figura 4: Modelo BIM – corte perspectivado.

O Modelo BIM foi posicionado em relação ao último levantamento realizado, por Nuvem de Pontos em Maio de 2014, tendo sido posteriormente conferidos alguns pontos de georreferenciação, de forma a clarificar as cotas de alguns pontos e esclarecer as diferenças entre os projetos antigos. O âmbito da Nuvem de Pontos cingiu-se ao levantamento externo da infraestrutura, mas foi uma referência importante para posicionar coberturas e outros elementos inacessíveis que foram ao longo dos anos acrescentados ou alterados e não registados nas telas finais existentes.

Ao longo da realização dos estudos, foram identificadas várias discrepâncias geométricas e incongruência entre os Datum altimétricos utilizados nos vários projetos, bem como diferenças entre o existente e o arquivo documental.

A criação do modelo 3D obrigou à verificação sucessiva da informação de base por comparação com a informação da nuvem de pontos e do apoio topográfico no terreno.

O modelo 3D (Figura 2 a 4) resultante apresenta grau de coerência muito superior aos diversos projetos anteriores e foi incluído como parte integrante do processo de concurso.

Trata-se de um dos primeiros processos de contratação pública em Portugal com a exigência de desenvolvimento do projeto em BIM de que temos conhecimento.

3.4 O Modelo BIM para FM

Conforme já referido, durante a elaboração do modelo, verificou-se que o cliente possui um sistema de gestão de ativos armazenado sob a forma de base de dados estruturada, integrada com SIG, bem como sistemas de apoio à exploração e manutenção – FM.

Nesta fase foi identificada a necessidade de ligação às bases de dados de gestão, exploração e manutenção – FM, o que permitiria a utilização do modelo BIM como representação gráfica para interface de acesso à informação da base de dados.

Atualmente as bases de dados utilizadas na gestão, manutenção e operação da ETAR demonstram a raiz numa base de dados de cariz de gestão financeira, o que impõe alguns desafios às equipas no terreno, como por exemplo a identificação e localização exata de um dado equipamento. A interligação do modelo BIM às bases de dados da ETAR viria responder às dificuldades sentidas na gestão da infraestrutura e aumentar a sua eficiência.

Sendo a ETAR uma infraestrutura onde os equipamentos assumem grande importância nos processos de Operação e Manutenção, e sendo também os elementos que melhor estão caracterizados nas bases de dados existentes, foi escolhido o modelo dos Circuitos Hidráulicos como agregador da informação.

Uma das dificuldades sentidas na modelação da ETAR foi a definição do nível de detalhe (LOD - Level of Detail) da modelação em relação aos objetivos do modelo. O objetivo base era o cadastro do existente para servir de base ao projeto da empreitada de ampliação da infraestrutura, contudo o objetivo foi posteriormente alargado para incluir também a utilização como ferramenta auxiliar dos processos de FM.

Estes dois objetivos podem ter modos de modelação, principalmente a de cariz tridimensional, muito distintos: o primeiro requer um nível de modelação mais detalhado e elaborado; o segundo poderá ter uma modelação tridimensional mais simplificada, mas com informação associada detalhada e desenvolvida.

Neste projeto optou-se então por uma estratégia de compromisso. Os elementos tridimensionais foram desenvolvidos com algum detalhe (Figura 5 e 6), de modo a servir de base para o projeto da empreitada de ampliação da infraestrutura, mas de forma a não serem demasiado complexos e a permitirem uma ligação facilitada do modelo BIM às bases de dados existentes.

Todos os elementos foram caracterizados com parâmetros de localização – que dão origem a um identificador único – que permitem o relacionamento dos elementos com as base de dados utilizada pelo cliente e associá-los à correspondente informação disponível.

Tendo em conta que as bases de dados utilizadas na gestão, manutenção e operação já estavam estruturadas e organizadas, foi necessário encontrar uma forma eficiente de carregamento dos parâmetros e dos respetivos dados no modelo. Para este efeito, foi desenvolvido um *plug-in* específico para o projeto que automatizou o preenchimento dos campos de características. A

informação carregada para o modelo teve origem em ficheiros Excel disponibilizados pelo cliente. No decorrer deste processo foi possível identificar e retificar situações de incoerência nos dados, que foram posteriormente transmitidas ao cliente.

A inclusão e criação de parâmetros relacionados especificamente com a base de dados do cliente, não invalidou a possível criação dos parâmetros necessários para o desenvolvimento e entrega do Projeto de Execução e Telas Finais (Modelo BIM *as built*), de forma a permitir uma melhor incorporação do Modelo fornecido pelo Empreiteiro no Sistema de Gestão e Manutenção de Ativos do cliente e nos processos de Operação e Manutenção.

Durante o desenvolvimento do modelo foi fundamental o envolvimento das equipas de gestão e de manutenção e operação que trabalham no terreno, para encontrar a melhor estratégia para a interligação do modelo com as bases de dados existentes.

Por fim, para que o modelo estivesse preparado para a sua integração na solução de gestão de ativos utilizada pelo cliente era necessário que houvesse uma ligação inequívoca de cada elemento do modelo a um item da base de dados. Contudo, esse trabalho não foi concluído, porque certas zonas do modelo estão mais detalhadas do que a base de dados, não estando por isso disponível um código de localização para esses elementos.



Figura 5: Elevação - Corte perspetivado.

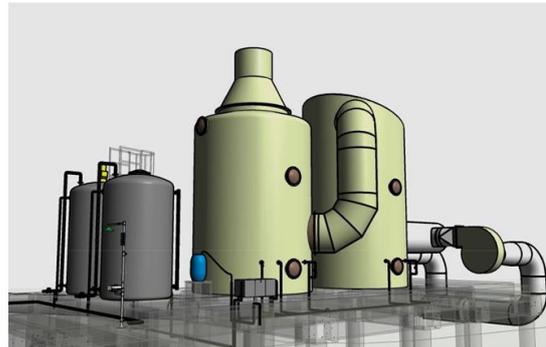


Figura 6: Desodorização – Perspetiva.

4. Conclusão

Conforme referido, este projeto foi a primeira experiência BIM da CENOR e foi desenvolvido numa altura em que a CENOR não havia ainda iniciado um processo formal de adoção de metodologias BIM, tendo um carácter exploratório.

Por estes motivos se compreende que a contratação do serviço de realização do modelo BIM revele insuficiências no que respeita à definição de objetivos e de níveis de detalhe (LOD) a atingir face aos mesmos. Assim verificou-se uma dificuldade na gestão de expectativas entre a CENOR e o cliente. Naturalmente, o cliente pretendia uma modelação com elevado nível de detalhe gráfico, pelo que o modelo foi desenvolvido com um nível de detalhe que, em retrospectiva, é excessivo no que respeita a alguns equipamentos, para o cumprimento dos objetivos do modelo, tanto de cadastro como de FM.

Na sequência deste processo, a CENOR constatou que a adoção e implementação de processos, metodologia e tecnologias BIM carece de um elevado grau de planeamento e necessita de um desenvolvimento adicional de normalização, definição de novos fluxos de trabalho e de regulamentação e que obriga a uma adaptação da formação de contratos.

No entanto, o desenvolvimento de um modelo tridimensional mais apelativo permitiu que as equipas de Gestão, Manutenção e Operação que trabalham no terreno, reconhecessem e identificassem de forma imediata os espaços e elementos da ETAR, tendo resultado num estímulo para a compreensão dos processos e metodologias BIM.

A interligação do modelo BIM às bases de dados existentes, que têm uma estrutura predominante de origem financeira, permitiria a mais fácil identificação e localização dos ativos e equipamentos para a gestão, manutenção e operação da ETAR. A integração total no sistema de Gestão, Operação e Manutenção, não foi ainda realizada por não ser oportuno, para o cliente, investir os recursos necessários. No futuro, será essencial a interligação do modelo BIM às ferramentas de gestão, manutenção e operação destas infraestruturas. Com esta interligação, outros parâmetros de análise poderiam ser explorados e rastreados, como custos associados à manutenção e operação dos equipamentos, incluindo a sua eficiência energética, permitindo a tomada de decisões mais informadas no que respeita a obras de beneficiação.

No caso em apreço, o modelo BIM, além de ser repositório e agregador da informação existente dispersa e em risco de se perder, cumprindo a função de cadastro, poderá também ser um ponto de acesso às bases de dados de Gestão, Operação e Manutenção existentes. Note-se que a entidade gestora, por já utilizar SIG e ter já obtido benefícios desse sistema, muito prontamente entendeu as vantagens do BIM para cadastro de infraestruturas tridimensionalmente complexas que os SIG não têm facilidade em representar.

O desenvolvimento do projeto apresentado neste artigo permitiu concluir que os processos, metodologias, e tecnologias BIM podem ser aplicados e trazer vantagens para as entidades gestoras de infraestruturas existentes.

O resultado foi incluído no processo de concurso, tratando-se de um dos primeiros processos de contratação pública em Portugal com exigência de modelação BIM.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Eng.º Luís Ribeirinho a sua colaboração na elaboração deste artigo.

Referências

- [1] S. Ballesty et al., *Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House*, Brisbane, Queensland, Austrália, Cooperative Research Centre for Construction Innovation, 2007.

INTERFACE BIM PARA A GESTÃO DE INSTALAÇÕES

André Reis Antunes ⁽¹⁾, Ruben Santos ⁽¹⁾, António Aguiar Costa ⁽¹⁾

(1) CERIS, Instituto Superior Técnico - UL, Lisboa

Resumo

As aplicações da tecnologia Building Information Modelling (BIM) têm sido amplamente exploradas nas diversas fases do ciclo de vida dos empreendimentos. A possibilidade de integração de modelos BIM com tecnologia existente e as vantagens da visualização em tempo real potenciam a versatilidade destes modelos para a manutenção de edifícios complexos.

Neste artigo, é proposta uma plataforma direcionada para infraestruturas urbanas complexas (hospitais, centros comerciais, aeroportos, etc.) que funcionará como repositório de informação e assegurará a interoperabilidade de fluxos de dados entre entidades, sistemas e dispositivos. Além disso, pretende-se que esta ferramenta de gestão seja capaz de captar em tempo real um grande volume de dados gerados no seu interior, por meio de elementos de monitorização (equipamentos, espaços, objetos, etc.) e pessoas (opiniões, níveis de satisfação, incidentes ou emergências, etc.), sendo possível visualizar os resultados diretamente no modelo BIM. O volume de dados gerado é carregado numa base de dados, permanentemente online, acedida em tempo real por meio de instruções em Linguagem de Consulta Estruturada (SQL) enviadas do modelo BIM através de um módulo de comunicação em programação visual criado em Dynamo.

1. Introdução

A metodologia Building Information Modelling (BIM) tem impacto significativo ao nível da Gestão de Instalações (GI), em que a sua utilização permite não só acelerar a resposta a diferentes pressões, mas também adaptar-se à crescente complexidade de instalações existentes e os padrões elevados de sustentabilidade [1]. A principal vantagem do BIM ao nível da GI consiste na agregação e tratamento de dados, permitindo aos responsáveis pela gestão das infraestruturas estruturar e controlar a informação do seu ciclo de vida e integrar, numa só solução, a gestão dos seus diferentes sistemas internos (e.g. eficiência energética, fluxos de pessoas, manutenção, segurança).

Uma eficiente GI é determinante na análise de custos ao longo do ciclo de vida do empreendimento, na deteção mais eficaz de anomalias nos sistemas, bem como numa redução do tempo de resposta das equipas no local, sendo estes fatores-chave para a minimização de encargos adicionais. Incorporando novas tecnologias e sensores é possível incrementar a eficiência da GI, possibilitando-se, por exemplo, que uma predição dos fluxos de pessoas nos diferentes espaços permita ativar os mecanismos de climatização de forma preventiva e não reativa, contribuindo para a eficiência energética e o conforto dos utilizadores do edifício.

O trabalho que se apresenta surge no seguimento de um projeto desenvolvido conjuntamente com a Siemens Portugal designado “3i Buildings” [2], no qual foi desenvolvida uma ferramenta de gestão de instalações incorporando a tecnologia BIM por meio de modelação 3D e motores de jogo (game engines) para virtualização dos modelos, abordando desta forma o conceito de gamificação e captação de grandes fluxos de informação. O sistema proposto é capaz de captar um grande volume de dados referente à monitorização em tempo real do interior das instalações, dos seus espaços e suas condições de temperatura e humidade, do fluxo de pessoas, dos sistemas que os constituem, etc.

No presente trabalho, pretende-se apresentar um avanço no protótipo desenvolvido, rumo a uma maior sinergia entre os modelos BIM e a GI, criando-se uma interface dentro do próprio software Autodesk Revit, que permite, a qualquer utilizador deste software, a manipulação e visualização de toda a informação do edifício em tempo real, permitindo integrar, num único modelo, toda a informação anteriormente referida e visualizá-la através de uma interface gráfica sobre um modelo tridimensional BIM. Assim sendo, toda a informação deste sistema multidisciplinar ficará estruturada numa única base de dados comum, podendo ser monitorizada em tempo real por meio de uma interface BIM.

Este artigo está dividido em quatro partes. A primeira parte apresenta uma revisão da literatura de forma a compreender os conceitos e aplicação do BIM e GI. A segunda parte explica a metodologia utilizada no estudo, enquanto a terceira parte descreve o desenvolvimento da interface BIM e sua implementação. Por último, a quarta parte apresenta os resultados obtidos num dos modelos dos três casos piloto do projeto “3i Buildings”. Pretende-se ainda que esta ferramenta seja expandida de forma a incluir outras variáveis exteriores e conferir uma capacidade preditiva à interface.

2. Revisão de literatura

2.1 Building Information Modelling

O paradigma BIM abre novas perspetivas sobre a forma de encarar o ciclo de vida do empreendimento da construção, em que todo o processo se desenvolve com base num modelo tridimensional (3D) capaz de englobar a informação relativa a todo o projeto [1]. O modelo 3D paramétrico do empreendimento de construção permite automatizar diversas operações geométricas, constituindo uma grande base de dados do empreendimento. Tendo em conta que toda a informação do edifício concentra-se num único modelo 3D paramétrico, não só é possível agilizar a partilha de informação e a colaboração entre os diversos intervenientes no projeto,

como também permite o desenvolvimento de aplicações capazes de automatizar processos, cálculos e verificações com base na informação existente no modelo.

O termo BIM é, provavelmente, um dos termos mais utilizados e menos compreendidos na indústria da construção, sendo muitas vezes utilizado quando alguém cria um modelo 3D de um edifício ou de uma parte do mesmo. Estabelecer uma definição do BIM é importante para a sua compreensão, não sendo uma tarefa fácil no entanto, visto este ser um conceito em constante evolução que depende dos avanços da tecnologia e das capacidades dos utilizadores [3].

O BIM, resumidamente, pode ser definido como um processo de criação e gestão da informação do empreendimento de construção de uma forma interoperável que permite a integração e reutilização da informação da obra e o domínio do conhecimento ao longo do ciclo de vida da mesma por parte dos utilizadores [4]. Permite também que um edifício seja representado por componentes inteligentes, que contêm informação detalhada, e possibilita a estruturação das relações semânticas entre os componentes do mesmo modelo [1]. Assim sendo, a mudança de paradigma entre o desenho assistido por computador (CAD) e o BIM é notória, fazendo com que a comparação entre os mesmos seja totalmente irrealista [5].

2.2 Avanços na Gestão de Instalações: otimização com base em diversas fontes de informação

No contexto da GI são tipicamente implementados sensores para avaliar as variáveis temperatura, corrente e tensão elétrica, caudais, presença de fumo, concentração de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂), humidade, luminosidade e ocupação. Contudo, é possível encontrar na literatura o desenvolvimento de técnicas e modelos capazes de determinar valores para outras variáveis com relevância significativa neste contexto.

Por exemplo, Liao e Barooah [6] desenvolveram um modelo estocástico com o objetivo de determinar o número aproximado de ocupantes em diferentes locais de um edifício, em contraste com os métodos utilizados atualmente, onde um espaço poderá estar apenas ocupado ou desocupado, de forma binária. Para este efeito, utilizaram um modelo baseado em agentes¹ (*agent-based model*) para simular o comportamento de um número arbitrário de ocupantes individuais (agentes) de um edifício com um número arbitrário de zonas, extraindo de seguida, através de uma simulação de Monte-Carlo, os modelos gráficos da ocupação por zonas. Liu *et al.* [7] desenvolveram um sistema que determina com precisão a taxa de ocupação de uma divisão, adquirindo dados através da utilização de sensores de visão inteligente. Um grupo de sensores é instalado no interior da divisão para medir a ocupação interna e outro grupo é instalado na sua entrada, de forma a contar os ocupantes de passagem. O espaço é dividido em diversas sub-regiões e cada uma delas é equipada com um sensor de visão colocado nos cantos da divisão junto ao teto, para medir a ocupação no seu interior sem sobreposição das áreas cobertas e sem interferência de objetos como secretárias ou cadeiras. Esta deteção é feita através de reconhecimento de imagem, com base no contorno das cabeças. A ocupação de toda a divisão é estimada através do somatório das deteções nas sub-regiões, combinado com as

¹ *Agent-Based Models* – É uma categoria de modelos computacionais que simula as ações e interações de agentes autónomos, que tanto podem ser entidades individuais como coletivas, como organizações ou grupos, com vista a avaliar os seus efeitos no sistema como um todo. Combina elementos de Teoria de Jogos, Sistemas Complexos e Emergência, Sociologia Computacional, Sistemas Multiagentes e Programação Evolutiva.

deteções do sensor de movimento da entrada por intervalos de tempo. No seu trabalho no âmbito da domótica (*home automation*), Silva *et al.* [8] fizeram um levantamento do estado da arte referente a edifícios inteligentes, enfatizando as aplicações das tecnologias de vídeo, áudio, sensores e sistemas integrados de vídeo, áudio e sensores (multimodais). Destacam-se as aplicações para segurança por intermédio da deteção de ruído e movimento, cuidados de saúde, cuidados a idosos e a crianças por intermédio de deteção de movimento, ruído e reconhecimento de imagem (detetando, por exemplo, a queda de um idoso), eficiência energética com base na ocupação das divisões e através de interruptores equipados com Wi-Fi, e a melhoria da qualidade de vida.

2.3 Desafios da aplicação do BIM à Gestão Inteligente de Instalações

A GI é uma área de conhecimento multidisciplinar que requer a colaboração de profissionais com experiência nos mais diversos campos de conhecimento e que envolve grandes quantidades de informação dispersa por diferentes especialidades [9]. Este ambiente complexo beneficia fortemente a implementação de tecnologias de informação e comunicação (TICs), que podem ter um papel relevante no incentivo à colaboração e otimização de processos e um papel crítico na eficiência da GI [11-13]. O dinamismo das operações da GI exige uma análise em tempo real de informações de várias fontes e resolução urgente, obrigando os responsáveis a interagir com interfaces diferentes de ferramentas TIC, levando muitas vezes a análises dispersas. Apesar da sua importância, a integração de ferramentas TIC em GI tem sido tradicionalmente difícil [10]. No sentido de garantir o máximo proveito da implementação das TICs no âmbito da GI, diversos padrões de intercâmbio de informações têm sido desenvolvidos [14] e algumas bases de dados integradas para a gestão de informação dos edifícios têm sido propostas [15]. No contexto de complexidade referido, a criação de um ambiente interoperável onde diferentes ferramentas tecnológicas combinam-se, tornando-se componentes do mesmo sistema de informação, é incontornável [16, 17].

O problema da integração de ferramentas TIC na GI transpõe a partilha de informação entre sistemas, sendo a visualização da informação de forma unificada um dos principais desafios e que não têm sido abordados de forma consistente. Com a exceção do desenvolvimento de interfaces de colaboração online multidisciplinar [18], não existem desenvolvimentos relevantes a este nível. Atividades como a inspeção virtual do edifício para a localização de um equipamento e verificação do seu estado, análise visual do perfil de consumo de energia de um determinado espaço ou obtenção de informações de ocupação são exemplos de interações que ainda não foram devidamente aprofundadas. Na base de todos estes exemplos está a existência de informação espacial que deve ser integrada com a restante informação, levantando desafios consideráveis. A virtualização tem sido, aliás, a tendência recente não só na arquitetura, engenharia e construção (AEC) [19], como em outras atividades específicas, como a gestão de projetos [20] e a manutenção [21, 22]. No entanto, as interfaces não estão ainda utilizando as ferramentas virtuais de uma forma consistente, nem têm por base os modelos BIM gerados ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

O desenvolvimento de um sistema capaz de representar graficamente a fusão entre a informação espacial e a restante informação do edifício é assim um desafio inovador no âmbito da GI, que poderá transformar a experiência do gestor e do utilizador numa interação mais intuitiva e imersiva, capaz de potenciar operações mais avançadas. A disseminação crescente da

tecnologia BIM promove de forma incontornável este desenvolvimento, não só porque os modelos BIM representam o suporte espacial ideal para a construção de uma interface 3D mas também porque estes modelos incluem toda a informação gerada ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos.

3. Método de Investigação

O objetivo deste estudo foi o desenvolvimento de uma ferramenta BIM-GI com base num conhecido software de modelação BIM, o Revit™, para apoiar os gestores das instalações ao longo do ciclo de vida do empreendimento, permitindo recolher uma diversidade de dados e estrutura-los de forma a serem acedidos por um modelo BIM. Para alcançar este objetivo, foi desenhado um modelo conceptual da interface para mostrar o seu espectro de aplicação, os diferentes componentes, a tecnologia utilizada e o modo de utilização da interface. Em segundo lugar, foi criada uma base de dados, onde todos os tipos de dados que se pretendem monitorizar foram estruturados manualmente. Os dados são obtidos através de sensores e transferidos para a base de dados alojada num servidor atualizado em tempo real. Estes dados são organizados associados a um determinado espaço, perfeitamente identificado no modelo BIM. Deste modo, o modelo BIM é capaz de captar essa informação e mostrar, de forma tridimensional, os seus efeitos, através de uma ligação assegurada por um algoritmo desenvolvido em Dynamo. O Dynamo é um suplemento de programação visual do Autodesk Revit que permite automatizar várias operações baseadas no modelo BIM. Neste caso foi utilizado para realizar uma troca de diversa informação entre a base de dados estruturada e o modelo software BIM, extraindo a informação de uma lista com todos os dados recolhidos pelos sensores, e também do Revit para a base de dados, em situações que seja necessária a atualização da nomenclatura ou numeração de espaços. Posteriormente, por meio da aplicação de filtros de visualização e esquemas de cores, o Dynamo é usado para colorir os espaços no modelo BIM de acordo com o critério escolhido. Neste sentido, foram definidas 4 variáveis: Ocupação, Temperatura, Níveis de CO₂ e Humidade. Finalmente, vários ensaios foram realizados para testar o protótipo da interface, com base num modelo Revit de um edifício de escritórios.

4. Desenvolvimento da interface BIM

4.1 Modelo Conceptual

Na Figura 1 é possível observar o modelo teórico da interface BIM proposto neste artigo. Inicialmente, os dados obtidos através dos sensores são enviados para um Servidor BIM. Os identificadores (IDs) de cada espaço têm leitura comum no Modelo e no Servidor sendo que, com base nesses IDs, os dados recolhidos são inequivocamente associados a cada espaço. O próximo passo consiste na extração de uma lista de espaços do modelo BIM, obtido através da utilização do Dynamo. O Gestor da Instalação pode, assim, através da interface BIM, fazer as leituras dos dados obtidos sobre um modelo 3D onde toda a informação acerca de cada espaço se encontra facilmente visível, auxiliando a tomada de decisão do Gestor do Edifício. Para tal, a cada espaço é atribuído, conforme a variável em análise, uma cor no modelo BIM seguindo o sistema de código de cores estabelecido.

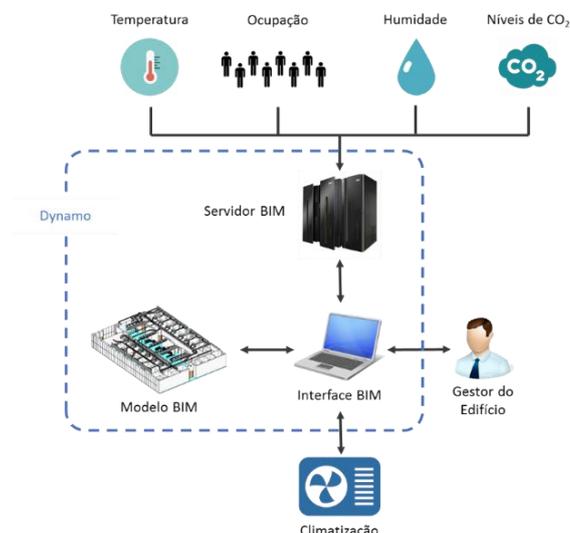


Figura 1: Modelo conceitual teórico da interface BIM.

4.2 Criação da interface BIM

Através das potencialidades de programação visual fornecidas pelo Dynamo, é possível criar de forma intuitiva o algoritmo que irá desempenhar a ligação entre os dados medidos e o modelo BIM. Na tabela 1 é possível identificar que o algoritmo se encontra dividido em grupos, sendo que cada grupo desempenha um papel específico no algoritmo.

Tabela 1: principais grupos do algoritmo.

Grupo	Descrição
Interação com a Base de Dados	Neste grupo é possível ao gestor do edifício organizar a estrutura da base de dados, edição de tabelas e de parâmetros permitindo a sua expansibilidade ao longo do empreendimento.
Carregamento de Informações no Modelo	Neste grupo a informação recolhida da base de dados é inserida nos espaços do modelo BIM através do seu ID de elemento.
Esquema de Cores	Constituído por 4 conjuntos de código, este grupo filtra cada um dos espaços em função do valor atribuído para determinado parâmetro e atribuir-lhe uma cor mediante um esquema de cores pré-definido, podendo facilmente ser alterado.
Atualização do modelo BIM	Este grupo permite que apenas os elementos que foram atribuídos por uma cor sejam mostrados na vista 3D do Revit.

Estas interfaces de programação visual permitem uma alternativa à programação tradicional, substituindo a codificação convencional por um sistema visual de “blocos” com funcionalidades independentes [22], sendo o Dynamo desenhado para aumentar as capacidades de modelação paramétrica do Revit. O utilizador interage com Dynamo usando elementos chamados "nós", sendo que cada nó tem um número de "portas" que permitir a comunicação entre os restantes nós ao longo de "conectores". A ligação de todos os elementos cria o "fluxo",

demonstrado na figura 2 [22]. A figura 2 mostra o algoritmo no ambiente de trabalho do Dynamo.

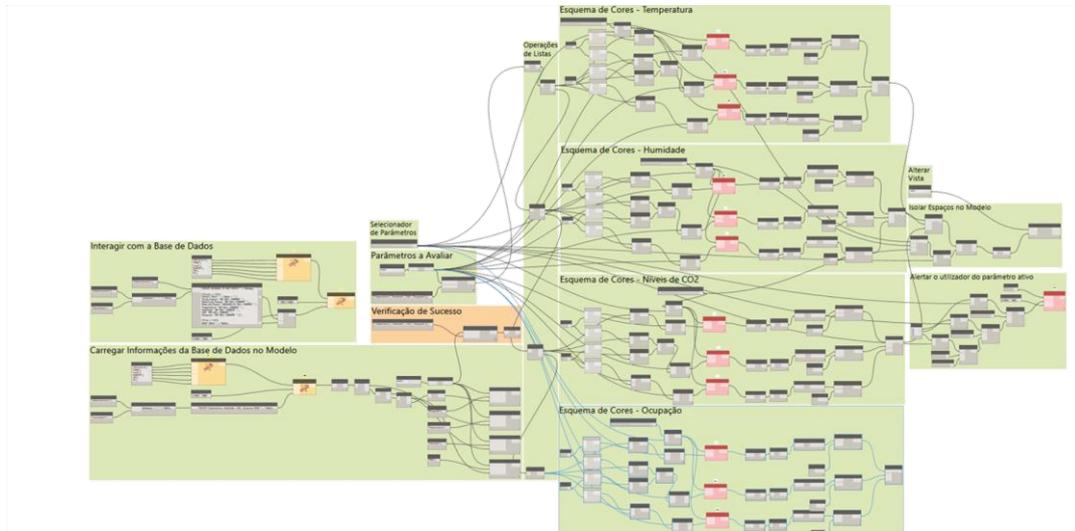


Figura 2: Algoritmo Dynamo.

4.3 Interoperabilidade entre a Interface e o Revit

Sendo o Dynamo um software que atua como suplemento de programação visual para o Revit, as questões de interoperabilidade encontram-se salvaguardadas, conferindo um valor acrescido à solução descrita anteriormente face às alternativas com múltiplos programas de diferentes proprietários. O Gestor da Instalação pode aceder à interface BIM e consultar, em tempo real, o modelo BIM do empreendimento, onde estarão agregados todos os dados respeitantes ao edifício, como as taxas de ocupação, a temperatura e as concentrações de CO₂ de cada espaço. Para tal, o utilizador precisa somente de manipular o Selecionador de Parâmetros consoante o parâmetro que pretenda monitorizar, conforme mostra a figura 3.

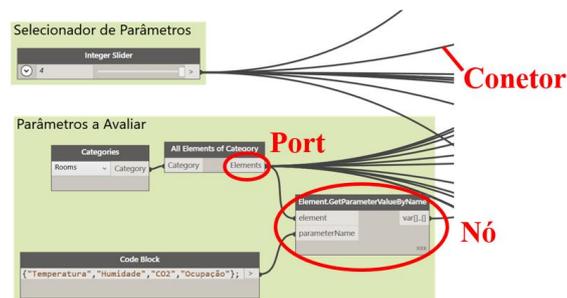


Figura 3: Escolha de parâmetro a medir.

4.4 Desafios

Diversos autores referem que ainda existem vários problemas por resolver no domínio da interoperabilidade, nomeadamente ao nível da perda de informação [23-26]. Neste caso particular, a utilização de ferramentas de programação de fácil compreensão permite aumentar as capacidades de interoperabilidade alargando o espectro de aplicações do BIM. Esta diversidade torna a troca de informações entre modelos BIM e programas um enorme desafio.

Um outro desafio foi o desenvolvimento de uma interface que fosse orgânica o suficiente de forma a poder ser adaptada pelo próprio gestor do edifício, permitindo a introdução de novas variáveis de análise, modificação do sistema de cores, alteração da origem dos dados ou até mesmo dos próprios elementos no modelo, não perdendo a respetiva associação entre o modelo BIM e os dados recolhidos.

5. Resultados

A interface foi testada num modelo de um edifício de escritórios com um único piso e uma área de 675 m². Este modelo foi o mesmo utilizado para a ferramenta do projeto conjunto com a Siemens, “3i Buildings”. Antes de iniciar as simulações, foi preparada uma base de dados de forma a simular dados recolhidos pelos sensores, a fim de introduzir posteriormente esses dados no modelo BIM. A introdução destes dados no modelo BIM foi feita usando um código de Dynamo, através de instruções SQL, e atribuídos aos espaços respetivos conforme indicado na tabela 2. Em seguida, foram executadas as simulações para diferentes grandezas analisadas.

Tabela 2: Dados recolhidos no instante da simulação.

<Informação dos Espaços>						
A	B	C	D	E	F	G
Number	Name	Area	Temperatura	Humidade	CO2	Ocupação
1	Sala de Servidores	23 m ²	30	50	42	19
2	Sala de Reuniões 1	19 m ²	28	82	21	19
3	Copa	49 m ²	21	87	60	20
4	IS Masculino	9 m ²	29	88	56	12
5	IS Feminino	7 m ²	22	82	14	12
6	Sala de Reuniões 2	17 m ²	29	57	9	15
7	Sala de Apresentação	40 m ²	30	73	97	10
8	Escritório 1	97 m ²	26	68	41	12
9	Escritório 2	208 m ²	28	76	40	13

A Figura 4 ilustra os resultados obtidos em vista temporária para as duas simulações que representam o os espaços do edifício. No entanto, se o objetivo for a visualização da parte estrutural do edifício, tais como paredes e pavimentos, devem ser alterados os filtros aplicados. Neste caso, considerou-se mais apropriado apenas a visualização dos espaços do edifício.

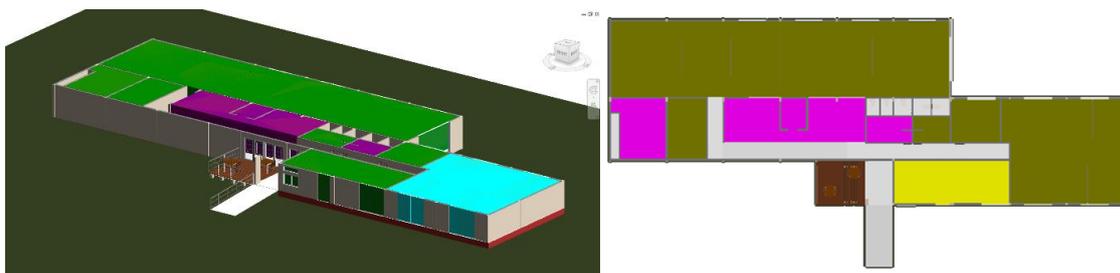


Figura 4: Análise 2D e 3D para as dimensões “Temperatura” e “Ocupação” respetivamente.

As vistas apresentadas mostram que a transposição dos dados recolhidos para o Revit foi bem-sucedida, uma vez que as cores refletem os valores gerados. Além disso, devido ao código de cores adotado, facilmente se identifica quais as áreas mais quentes e de maior ocupação do edifício. Por exemplo, as cores frias (azul e verde) indicam que não existem problemas, enquanto as cores quentes (vermelho e amarelo) alertam para uma condição crítica. Além disso,

é possível exportar os dados por cada simulação realizada sob a forma de relatório numa folha de Excel.

No entanto, importa referir o especial cuidado a ter caso sejam feitas alterações manuais na base de dados ou no modelo BIM, de forma a não corromper o emparelhamento dos dados a cada um dos respetivos espaços.

A interface criada mostrou que a utilização de ferramentas de programação visual aumenta as capacidades de softwares BIM, possibilitando ao utilizador visualizar tridimensionalmente zonas críticas em instalações complexas com a ajuda de um sistema de código de cores.

6. Conclusões

Com o sistema de automação e controlo de edifícios modular desenvolvido, é possível, graças à sua versatilidade, adaptá-lo a projetos de todas as dimensões e a todo o tipo de edifícios. Este tipo de sistema normalizado pode ser expandido e alargado sempre que necessário, evoluindo de sistemas pequenos e simples para sistemas mais complexos.

O caso piloto foi globalmente positivo, embora não tenha sido testado o seu desempenho em situação real. As simulações apresentadas foram as leituras de cada um dos parâmetros num dado instante. No entanto, a simulação em tempo real é bastante mais complexa. Um caso de estudo real permitiria ter feedback de gestores das instalações, verificando, deste modo, se a ferramenta é efetivamente útil para monitorização e gestão do conforto interior e eficiência energética. Por último, importa referir que a ferramenta tem potencial para se estender a outras aplicações, favorecendo a automatização e otimização de processos.

Agradecimentos

A investigação desenvolvida enquadrou-se no âmbito do projeto 3i Buildings, liderado pela Siemens. Este projeto foi cofinanciado pelo Portugal2020.

Referências

- [1] C. Eastman, P. Teicholz, R. Sack and K. Liston, BIM Handbook, A Guide for Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors, 2nd ed., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [2] Costa, A. A. et al. (2015). Creative Construction Conference 2015 (CCC2015): 3I Buildings: Intelligent, Interactive and Immersive Buildings. Procedia Engineering
- [3] CDI. (2008). Getting to the Starting Line with BIM and VDC. Adding Value to Model Integration and Design Collaboration, 1-9. Retrieved from Complete Digital Integration website: http://www.cdi-grp.net/uploads/Starting_Line_for_BIM_and_VDC.pdf
- [4] Lee, G., Sacks, R., & Eastman, C. M. (2006). Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. Automation in

- Construction, 15(6), 758-776. doi: 10.1016/j.autcon.2005.09.009
- [5] Crowhurst, M. (2012). Misunderstanding BIM. website: <http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/misunderstandingBIM.asp>
- [6] Liao, C. & Barooah, P., 2010. An Integrated Approach to Occupancy Modeling and Estimation in Commercial Buildings. Baltimore, American Control Conference.
- [7] Liu, D., Guan, X., Du, Y. & Zhao, Q., 2013. Measuring indoor occupancy in intelligent buildings using the fusion of vision sensors. *Measurement Science and Tecnlogy*, Volume 24.
- [8] Silva, L. C. D., Morikawa, C. & Petra, I. M., 2012. State of the art of smarthomes. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Volume 25, pp. 1313-1321.
- [9] Cotts, D. G., Roper, K. O., & Payant, R. P. (2010). *The Facility Management Handbook*.
- [10] Elmualim, A., & Pelumi-Johnson, A. (2008). Computer-Aided Facilities Management (CAFM) of Intelligent Buildings: Concepts and opportunities - *CentAUR. Facilities*, 27(11/12), 421 - 428.
- [11] Elmualim, A., & Pelumi-Johnson, A. (2009). Application of Computer-Aided Facilities Management (CAFM) for Intelligent Buildings operation. *Facilities*, 27(11/12), 421-428.
- [12] Lewis, A., & Riley, D. (2010). Defining High Performance Buildings for Operations and Maintenance. *International Journal of Facility Management*.
- [13] Madritsch, T., M. May, H. O., & Staudinger, R. (2008). Computer Aided Facility Management (CAFM) as a New Branch of Decision-making Support Technologies in the Field of Facility Management. Paper presented at the *Encyclopedia of Decision Making and Decision Support Technologies*.
- [14] IAI. (1996). "End User Guide to Industry Foundation Classes: Enabling Interoperability in the AEC/FM Industry."
- [15] Yu, K., Froese, T., & Grobler, F. (2000). A development framework for data models for computer-integrated facilities management. *Automation in Construction*, 9(2), 145 - 167.
- [16] Dennis, D. (2003). *Facility Management Information Systems*.
- [17] Mozaffari, E., Hammad, A., & El-Ammari, K. (2005). Virtual Reality Models for Location-Based Facilities Management systems. Paper presented at the *Procs. of the 1st CSCE Speciality Conference on Infrastructure Technologies, Management and Policy*.
- [18] Maher, M. L., Rosenman, M., Merrick, K., & Marchant, D. (2006). *DESIGNWORLD: A Multidisciplinary Colaborative Design Environment Using Agents in a Virtual World Design Computing and Cognition* (pp. 695-710): Springer Netherlands.
- [19] Campbell, D. A. (2007). Building Information Modeling: The Web3D Application for AEC. Paper presented at the *Procs. of the 12th Int'l Conf. on 3D web technology (Web3D '07)*.
- [20] Doil, F., Schreiber, W., Alt, T., & Patron, C. (2003). Augmented reality for manufacturing planning. Paper presented at the *Procs. of the Workshop on Virtual environments 2003*.
- [21] de Almeida Sampaio, A. Z., Ferreira, M. M. B., Rosário, D. P. E., & Martins, O. M. L. P. (2010). 3D and VR models in Civil Engineering education: Construction, rehabilitation and maintenance. *Automation in Construction*, 19, 819-828.
- [22] Keough, *Dynamo: designing a visual scripting interface for the Revit API* (notes), See also <https://github.com/ikeough/Dynamo/wiki> for more information about coding Dynamo, 2011.
- [23] Burt, B. A. (2009). BIM Interoperability (The Promise and the Reality). *STRUCTURE*

magazine.

- [24] Hamil, S. (2012). Building Information Modelling and interoperability.
<http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/bimAndInteroperability.asp>
- [25] Steel, J., Drogemuller, R., & Toth, B. (2010). Model interoperability in building information modelling. Faculty of Built Environment and Engineering; School of Design.
- [26] Weygant, R. S. (2011). BIM Content Development: Standards, Strategies, and Best Practices: John Wiley & Sons.

IMPLEMENTAÇÃO DA METODOLOGIA BIM-FM A UMA UNIDADE DESPORTIVA – PISCINA OLÍMPICA

Diana Bastos Silva ⁽¹⁾, José Pinto-Faria ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾

(1) ISEP, Porto

(2) BIMMS – Building Information Modelling & Management Solutions, Porto

Resumo

O *Facility Management* (FM) é implementado na fase de operação e manutenção dos empreendimentos baseando-se numa gestão integrada e pluridisciplinar. Apesar da necessidade de verificação dos princípios básicos duma metodologia de controlo, esta deverá ser ajustada às organizações para que sejam alcançados os indicadores de desempenho mais eficientes.

O *Building Information Modelling* (BIM) é uma abordagem suportada em meios tecnológicos de gestão de informação que, num ambiente colaborativo, permite a visualização tridimensional de um empreendimento nas suas diversas fases. Tal permite reduzir a incerteza, melhorar o planeamento e o controlo, e ainda analisar e resolver potenciais problemas que possam ocorrer.

A integração do FM e do BIM combina as capacidades de visualização tridimensional e a disponibilidade da base de dados do BIM às técnicas do FM.

O artigo descreve o trabalho desenvolvido para um empreendimento sob exploração da PortoEstádio, “Piscina de Campanhã”, envolvendo a modelação tridimensional e o FM.

Após estudo bibliográfico da área BIM-FM e análise de casos de estudo em que a metodologia foi aplicada, dividiu-se o trabalho em três fases. Inicia-se pela identificação das exigências de informação para a gestão e manutenção de edifícios. A PortoEstádio definiu as prioridades da área da manutenção das instalações, para obter resposta às suas principais necessidades. Na segunda fase, tendo em conta a informação recolhida, procedeu-se à modelação da arquitetura, seguindo-se as especialidades de mecânica e hidráulica com base no primeiro modelo. Finalmente, todas as informações inseridas foram exportadas para o *software* adequado à organização da PortoEstádio.

1. Introdução

O presente artigo é resultado de um estágio desenvolvido nas instalações da BIMMS, e pretende apresentar a implementação da metodologia BIM-FM a uma unidade desportiva – neste caso a piscina de Campanhã, que está sob gestão da PortoEstádio, SA, bem como a modelação 3D das referidas instalações.

A BIMMS – *BIM Management Solutions* é uma instituição internacional de arquitetura e engenharia que visa a criação e desenvolvimento de modelos digitais para a produção e otimização de processos de conceção e construção de edifícios. Para tal, utiliza as tecnologias de informação e modelos de simulação para minimizar riscos e erros. A BIMMS é formada por uma equipa de profissionais com elevada experiência em projeto, com foco na integração das diferentes partes interessadas, bem como dos materiais e dos diversos processos tecnológicos. A utilização de modelos BIM permite a simulação de alternativas em vários contextos e cenários, de forma a atingir diferentes objetivos.

A PortoEstádio – Gestão e Exploração de Equipamentos Desportivos, SA, enquanto prestadora de serviços, reúne todas as valências relacionadas com a gestão e exploração do património imobiliário desportivo. A PortoEstádio tem, assim, como principal missão gerir, promover e reabilitar continuamente todo o património imobiliário do grupo Futebol Clube do Porto, como é exemplo a Piscina de Campanhã, alvo de estudo.

Inicialmente foram feitas visitas à Piscina de Campanhã de modo a perceber o âmbito preferencial de intervenção da PortoEstádio relativamente à manutenção; realizando-se apenas a modelação das especialidades mais importantes para a organização: rede de tratamento de águas e AVAC.

2. Metodologia BIM-FM

A aplicação da metodologia BIM ao FM faz particular sentido quando aplicada a instalações que necessitem de manutenções periódicas como, por exemplo, piscinas, instituições hospitalares, centros comerciais.

Graças à capacidade dos modelos BIM em incluírem metadados como a idade dos equipamentos, as suas dimensões, a energia que consomem ou o tempo de manutenção, os proprietários e operadores reúnem informação suficiente para poderem antecipar os problemas e planear os orçamentos para explicar reparações de equipamentos e substituições. O BIM pode também ajudar a determinar onde um novo sistema de pode integrar no *layout* de uma instalação.

Com este tipo de monitorização dos equipamentos, o BIM torna-se especialmente útil no processo de aprovisionamento. Aquando a aquisição e instalação do equipamento, o contratante pode enriquecer o modelo com todas as informações pertinentes [1].

Apesar da prática do BIM-FM se encontrar ainda numa fase embrionária em Portugal, na Europa já se encontra numa boa fase de aceitação podendo já destacar-se vantagens do seu uso que, segundo Moreira e Ruschel [2], vão desde a melhoria de processos e precisão dos dados, aumento da eficiência na execução das ordens de trabalho e mesmo a melhoria de acesso aos dados FM já que podem ser encontrados no modelo BIM.

Com a utilização desta prática, é possível aceder a informações como manuais, garantias, ordens de trabalho e planos de manutenção, permitindo uma significativa redução no tempo de resposta de uma equipa, tornando ainda possível a visualização em realidade aumentada para uma tomada de decisão mais fácil e eficiente.

Atualmente, já existem no mercado soluções BIM-FM que facilitam esta interação, sendo que para tal é sempre necessária a utilização de um *software* extra para modelação e o cálculo dos *key performance indicator* (KPI). Estes indicadores permitem a gestão e controlo mais eficiente da qualidade de um serviço, existindo vários autores que já realizaram estudos para medir os indicadores de desempenho. Estes estudos, mais direcionados para a manutenção, como o de Shohet [3] em equipamentos hospitalares e os da norma EN 15341, fornecem uma análise global aos edifícios, sendo possível a adaptação dos KPI ao tipo de utilização de cada edifício. Até ao momento não foram ainda publicados estudos relevantes com aplicação em piscinas.

3. Piscina de Campanhã – Caso de Estudo

O projeto inicial da Piscina de Campanhã data de 1972 e foi realizado pelo arquiteto Leopoldo Coutinho. A piscina foi inaugurada a 21 junho de 1984, tendo beneficiado de remodelações em 2001, vindo a ser reinaugurada em fevereiro de 2001.

Em 2015 foi requalificada pelo Futebol Clube do Porto que ficou responsável pelas instalações durante 25 anos, com a obrigação de manter horários para usufruto da comunidade. A Piscina de Campanhã é a única piscina olímpica do Porto com pista de 50 metros e uma das poucas cobertas do país. Para além de constituir um complexo para natação do clube, alberga também as secções de boxe e desporto adaptado. Estas instalações atraem mais jovens para a prática do desporto e possibilita a obtenção de melhores resultados desportivos.

3.1 Levantamento de dados

De modo a que o processo de modelação e integração dos dados se concretizasse da melhor forma, foram realizadas várias visitas *in situ*, fazendo registo fotográfico da estrutura e arquitetura das instalações, assim como o esboço das redes hidráulicas e AVAC, que teriam sofrido alterações não identificadas no projeto referenciado como “telas finais”.

Este pormenorizado levantamento de dados tornou-se muito útil para a modelação, onde foram detetadas diferenças entre o projetado e o construído, como o exemplo referenciado na figura 1.

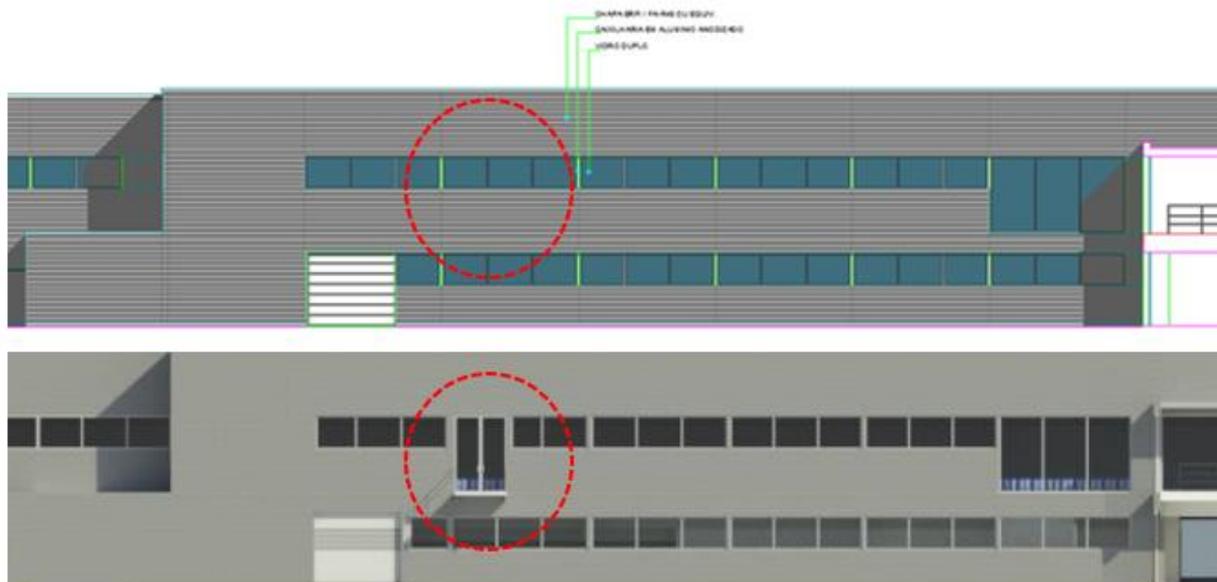


Figura 1: Alçado-Corte Norte - Exemplo da diferença entre o projetado (cima) e o construído (baixo).

3.2 Modelação da Arquitetura, Hidráulica e Mecânica

A modelação da arquitetura (figuras 2) teve por base as telas finais fornecidas pelo Dono de Obra. Como referido anteriormente, surgiu a dificuldade de encontrar conformidade entre os desenhos fornecidos e o que foi construído, sendo fulcrais as visitas ao local. Todas as plantas foram entregues em formato DWG, sendo a base para a modelação. Procurou-se simplificar a modelação, incluindo apenas a informação essencial afim de tornar o ficheiro digital o mais pequeno possível. Os pilares foram modelados apenas como elementos arquitetónicos, dado não existir informação acerca da sua composição estrutural, como material e capacidade resistente. O elevador não pertence à especialidade de arquitetura, mas tem a necessidade de ser acoplado a um elemento do tipo parede existente, tendo sido incluído também nesta disciplina.

No decorrer da modelação verificou-se que o *software* BIM Revit possibilita a monitorização do processo através das várias vistas, sendo assim mais fácil a deteção de possíveis erros que em 2D não seriam fáceis de encontrar.

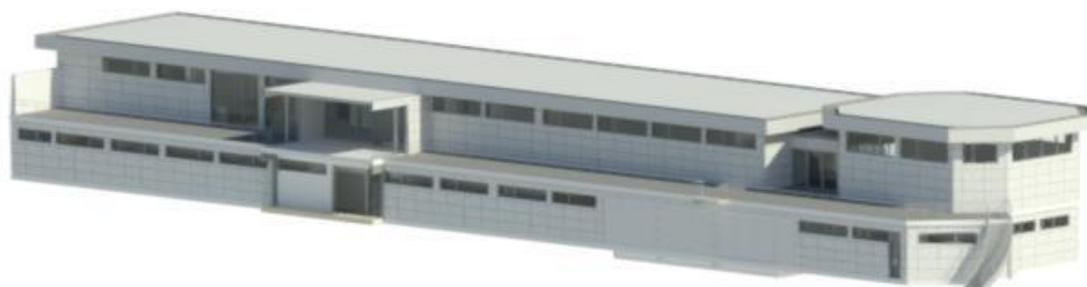


Figura 2.1: Modelo de Arquitetura – Área técnica e balneários – vista exterior.



Figura 2.2: Modelo de Arquitetura – Área técnica e balneários – vista interior.

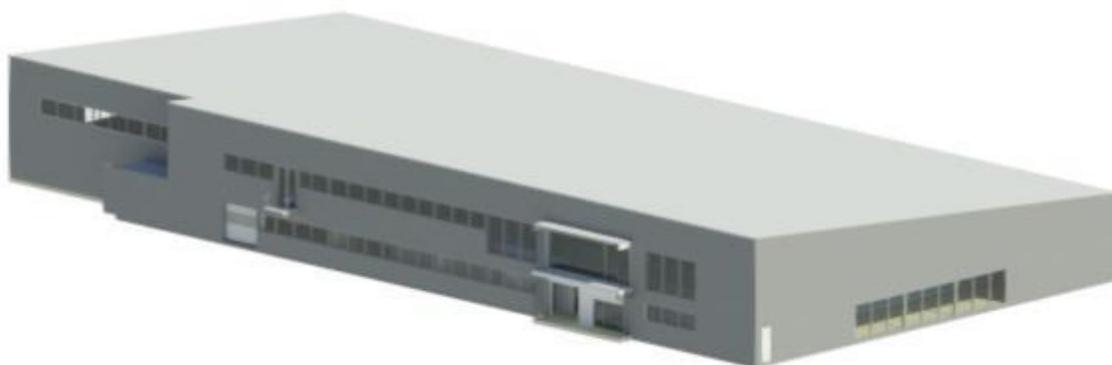


Figura 2.3: Modelo de Arquitetura – Nave – exterior.

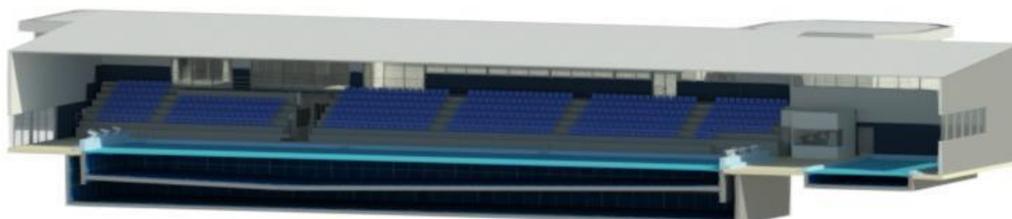


Figura 2.4: Modelo de Arquitetura – Nave – interior.

O modelo de tratamento de águas (figura 3) e o de AVAC seguiram o mesmo princípio, tendo por base as telas finais, sendo aqui ainda mais importante a informação adicional e as visitas ao local. Uma vez que a piscina sofreu uma reabilitação em tempo recorde, os projetos foram sofrendo várias alterações já em fase de exploração das piscinas, sendo importante a inspeção visual e o esboço do traçado das redes e localização dos equipamentos.



Figura 3: Rede de Tratamento de Águas.

Houve ainda a necessidade da criação de algumas famílias de equipamentos que não se encontravam em bibliotecas *online* com os parâmetros necessários. Na criação destas famílias é necessário ter em conta a colocação de conectores próprios para permitir a correta ligação aos tubos, podendo assim ser possível a constituição de um sistema.

Uma vez que o modelo será utilizado para *facility management*, foram atribuídos valores a campos relevantes à manutenção de edifícios, no *type properties* da família, assim como a associação do objeto aos catálogos online ou manuais de instalação. (figura 4)

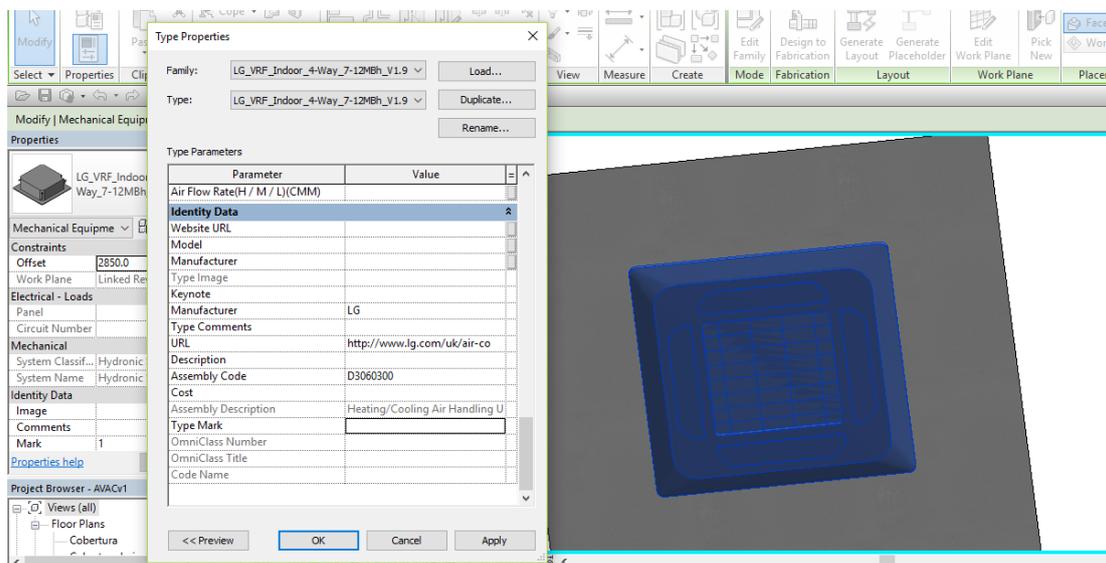


Figura 4: Atribuição de campos relevantes à manutenção de edifícios.

3.3 FM Software

Inicialmente foram pesquisados vários *softwares* com capacidade de utilizar os modelos BIM juntamente com o FM, como o IBM Maximo, FM:Interact, EcoDomus, YouBIM, ArchiFM e ArchiBus. Todos estes softwares BIM-FM oferecem funcionalidades semelhantes, como a possibilidade de executar em navegador *web*. A solução passa pela existência de um modelo BIM carregado com toda a informação inerente, facilitando a gestão dos edifícios. No que respeita à visualização do modelo BIM, onde com um simples clique num equipamento é

visualizado todo o histórico do mesmo, nem todos os *softwares* descritos anteriormente o permitem, sendo assim uma desvantagem em relação a outros. Uma das principais vantagens surge com a possibilidade de obter, com o *software*, ferramentas para manutenção programada que, juntamente com as informações sobre falhas dos componentes, permitem assegurar o funcionamento normal da instalação.

No entanto, tentou-se adaptar as soluções encontradas à solução de *software* FM utilizada pela PortoEstádio, sendo assim descartada a opção de utilização de um destes softwares, passando o estudo para a plataforma NextBitt, uma plataforma recente que suporta modelos BIM. Surge, assim, a possibilidade de utilizar o *software* em contexto real, moldado às necessidades da PortoEstádio.

Esta é uma solução que se adapta aos modernos requisitos de gestão de edifícios, automatizando pedidos com *workflows*, proporcionando uma proximidade entre os requisitantes e os prestadores de serviço. Desta forma, há garantia de que o gestor recebe informações acerca das ações que necessitem de intervenção ou decisão. Este *software* permite ainda simplificar a gestão de *Service Level Agreement* (SLA) e o controlo de custos e operações, assim como incluir *hard* e *soft services*.

4. Conclusões

O trabalho realizado tem como objetivo contribuir para a implementação da metodologia BIM no *facility management* em Portugal, através do estudo efetuado a um complexo de piscinas. Muitas vezes, este tipo de instalações constitui uma fonte de prejuízo para os proprietários, a maioria das vezes municípios ou empresas municipais que, por vezes, não fazem uma correta gestão de manutenção das mesmas.

A elaboração de um modelo de gestão integrado associado a um modelo BIM é, sem dúvida, uma mais valia pois contém toda a informação necessária e de fácil acesso.

A modelação é um processo moroso e difícil quando as telas finais não estão de acordo com o construído, sendo assim óbvia a importância da realização destes modelos desde a fase de projeto, com realização de alterações sempre que necessário. É fulcral a existência de um modelo *as-built* de modo a que visualmente e intuitivamente se consiga navegar no modelo.

É também de extremo interesse a utilização de dados de manutenção credíveis para a realização de um histórico de manutenção, sendo assim possível a previsão do tempo de vida útil dos equipamentos e até a elaboração de um plano de manutenção ajustado às necessidades da organização. A obtenção dos KPI assume também grande importância neste âmbito para que acompanhem o modelo no que respeita ao desempenho. Até à data não foram encontrados estudos publicados da aplicação destes indicadores a este tipo de instalação desportiva, procurando-se neste momento a obtenção de um estudo relativo aos KPI para a Piscina de Campanhã, podendo este no futuro servir de exemplo para muitos.

Deste modo, o *software* de manutenção aliado ao modelo BIM, constitui uma mais-valia no que respeita a informação disponibilizada e ao tempo poupado ao descobrir onde será a avaria. O relatório de um simples ato de manutenção constitui também uma vantagem para a diminuição de tempos de tarefas e custos.

A organização responsável pelo caso em estudo, uma vez que já utiliza *software* de gestão da manutenção, teria todo o interesse em implementar a metodologia BIM nos seus processos de manutenção, podendo assim obter benefícios significativos ao nível de tempos e custos.

Referências

- [1] J. Marchese e C. Rudderow, (2013) The Power of 3D: Using BIM for facility Management, [Online] disponível em: <http://www.areadevelopment.com/AssetManagement/Q2-2013/building-information-modeling-facility-management-0272892.shtml> ,
- [2] L. C. Moreira e R. C. Ruschel (2015), Impacto da adoção de BIM em Facility Management: Uma classificação, [online] disponível em <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v6i4.8634982>.
- [3] I. Shohet, "Key performance indicators for strategic healthcare facilities maintenance" in ASCE Journal of Construction Management and Economics 2006, 132(4), pp. 345-352

A METODOLOGIA BIM – BUILDING INFORMATION MODELING NA GESTÃO DA MANUTENÇÃO DOS EDIFÍCIOS: ESTUDO DE CASO DO CAMPUS 2 DO IPLEIRIA

Cláudio Carvalho ⁽¹⁾⁽⁴⁾, **António Aguiar Costa** ⁽²⁾, **Luísa M. S. Gonçalves** ⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

(1) Instituto Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão (Portugal)

(2) CERIS/Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa (Portugal)

(3) Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores de Coimbra -INESC Coimbra (Portugal)

(4) NOVA IMS - NOVA Information Management School, Universidade Nova de Lisboa (Portugal)

Resumo

No processo de gestão de manutenção de um edifício é fundamental o uso e a boa gestão de um vasto leque de informação, seja ela geográfica, do edifício, dos seus utilizadores, etc. A metodologia BIM - Building Information Model surge, neste contexto, como uma ferramenta integradora, que permite gerir de forma mais eficiente toda esta informação e, assim, apoiar a manutenção otimizada das instalações técnicas (IT) e dos edifícios. Para o efeito, é necessário garantir uma interligação entre o conceito BIM e a gestão da manutenção, com especial ênfase na adoção do 6D/7D BIM como aplicação ao *Facility Management* (FM).

Neste artigo é apresentado o desenvolvimento de um modelo de GM integrando capacidades 6D/7D BIM, a partir da qual são desencadeadas e planeadas as operações de manutenção das IT e equipamentos dos edifícios num campus universitário. O modelo foi implementado num edifício do campus 2 do Instituto Politécnico de Leiria (IPL), cuja arquitetura e IT foram modeladas com recurso a ferramentas BIM.

Neste artigo são demonstradas as vantagens da implementação de um método dinâmico de utilização e atualização de informação entre os gestores de manutenção e as equipas técnicas, permitindo assim um melhor planeamento e gestão dos trabalhos bem como uma melhor quantificação dos custos de manutenção associados, comparativamente à atual plataforma de FM existente no IPL.

O estudo de caso demonstra a forma como a metodologia BIM deverá ser parte integrante das soluções de gestão de manutenção assistida por computador – GMAC, evidenciando a necessária interoperabilidade entre BIM e GMAC.

1. Introdução

Segundo [1] a Gestão de Edifícios é uma área de conhecimento que abrange as atividades relacionadas com as operações diárias do edifício, a administração de serviços, o planeamento estratégico, e a gestão de manutenção, ou *facility management* (FM). Embora a NP EN 13306:2001 defina o conceito de gestão de manutenção, segundo [2] o termo tem vindo a sofrer alterações ao longo do tempo, podendo ser considerado como o conjunto de processos administrativos, técnicos e de gestão (em torno de um edifício), durante o seu ciclo de vida, e que visam garantir as ações necessárias a manter ou repor o edifício no estado para o qual foi concebido. Os autores acrescentam que a gestão de manutenção é um processo estratégico que pode resumir-se a um termo – a gestão de manutenção é planeamento.

Segundo [3] o desempenho de um edifício é alcançado potenciando a sua utilização otimizada e promovendo ações de manutenção, que protejam o edifício de fatores externos.

Outro aspeto relevante é o custo de manutenção. Considerando que um edifício novo tem um valor aproximado de 80% do seu custo global (considerando uma vida útil de 60 anos), o custo anual de manutenção representa aproximadamente 1,3% dos custos de construção do edifício [1]. Por outro lado, é de salientar que é nas fases de conceção, projeto e fiscalização (5%), que podem ser introduzidas as melhores medidas de controlo de custos totais do edifício, fase em que a metodologia BIM pode contribuir de forma integrada, intervindo desde logo na fase inicial de conceção. (ver figura 1).

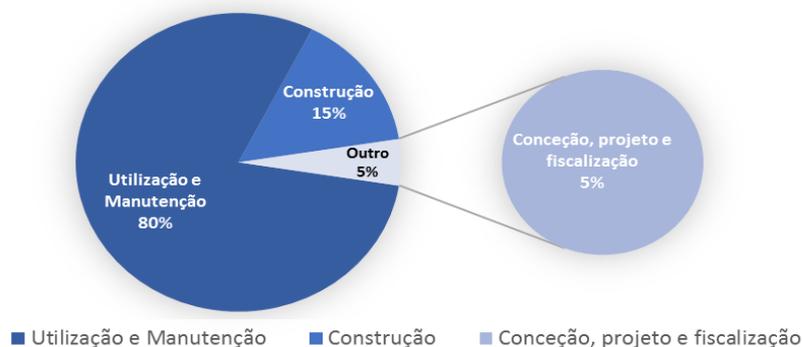


Figura 1: Distribuição de custos globais de um edifício (adaptado de [4]).

Atualmente, a metodologia BIM já demonstrou o potencial na indústria de arquitetura, engenharia, construção (AEC), sendo agora igualmente reconhecida no contexto da Operação e FM (AECOFM), acrescentando assim um interveniente no processo de interação entre os vários intervenientes, da arquitetura, engenharia, construção e operação. Contudo, existe ainda um conhecimento pouco profundo da eventual integração da metodologia BIM com outras tecnologias e aplicações que já operam na indústria de FM, tais como as soluções de Gestão da Manutenção Assistida por Computador (GMAC) da tradução de *Computer Management Maintenance Systems*.

Neste artigo pretende-se abordar quais os princípios a ter em consideração no desenvolvimento de um modelo que suporte as ações de manutenção em edifícios, mais especificamente no processo de GM no campus 2 do IPL. Para isso é apresentado um estudo de caso em que a metodologia BIM aplicada deverá ser parte integrante das soluções de gestão de manutenção assistida por computador – GMAC.

2. A manutenção e a gestão de edifícios

O Regulamento (UE) n.º 305/2011 de 9 de Março de 2011 (revogou a Diretiva 89/106/CEE de 21 de Dezembro), estabelece que são sete as exigências essenciais a impor aos edifícios: (1) Resistência mecânica e estabilidade; (2) Segurança contra risco de incêndio; (3) Higiene, saúde e ambiente; (4) Segurança e acessibilidade na utilização; (5) Ruído; (6) Economia de energia e isolamento térmico; (7) Utilização sustentável de recursos naturais.

A interação entre a conceção arquitetónica (fase de projeto), a construção e manutenção, e os aspetos determinantes da manutenção do edifício, devem obedecer a um conjunto de premissas funcionais [5], tais como a segurança, conforto, durabilidade e economia.

Para [6], o desempenho da manutenção é uma componente crítica na competitividade de uma organização, e portanto igualmente vital para o desempenho sustentável de uma organização que dependa dos seus ativos físicos. Os indicadores chave de desempenho (*Key Performance Indicators* – KPI), são hoje uma ferramenta usada para medir o desempenho do processo de alcance dos objetivos traçados.

A escolha dos KPI's de manutenção dependem dos objetivos definidos por uma organização, e está altamente relacionada com o seu contexto específico de atividade. Segundo [7], os gestores de manutenção tem a tarefa de lidar com as complexas tarefas de encontrar indicadores de desempenho que possam ajudar a alcançar as metas. Segundo o mesmo autor, a NP 4483 refere que uma organização deve planear e implementar a monitorização, medição, análise e melhoria dos processos de manutenção para: (1) Demonstrar a conformidade dos requisitos do serviço; (2) Assegurar a conformidade do sistema de gestão da manutenção; (3) Melhorar continuamente a eficácia do sistema de gestão da manutenção.

Segundo a EN 15341, quando o desempenho real ou esperado de um objetivo não estejam a ser atingidos, ou não se considere satisfatório, deverão ser utilizados os seguintes indicadores: (1) Controlar o progresso e as alterações; (2) Medir o estado; (3) Avaliar o desempenho; (4) Comparar o desempenho; (5) Identificar as forças e fraquezas (análise SWOT); (6) Elencar o objetivos definidos; (7) Planear as estratégias e ações; (8) Divulgar os resultados.

O autor [8] refere que o gestor da manutenção é hoje uma figura a quem compete a responsabilidade de desenvolver indicadores que permitam assegurar o alcance dos objetivos do negócio. Segundo o mesmo autor, a FM é uma atividade desenvolvida por este gestor, a quem compete entre outros objetivos, gerir os conflitos decorrentes da atividade, monitorizar e acompanhar a evolução dos objetivos com referência ao alcance das metas, e determinar de forma clara, as estratégias a aplicar aos procedimentos [8].

No estudo de caso apresentado, procura-se evidenciar os pontos-chaves a ter em consideração na implementação de um processo de GM em edifícios.

3. Gestão da manutenção assistida por computador

Para se garantir um eficiente processo de gestão de manutenção, é hoje possível recorrer a soluções informáticas que disponibilizam um conjunto de ferramentas capazes de dar resposta ao processo de gerir a manutenção. Um sistema de GMAC, traduzido do original *Computerized Maintenance Management System*, é hoje reconhecido por vários autores como sendo uma ferramenta indiscutível no processo de gestão da manutenção [9]. No estudo de caso em particular, o processo de FM é feito recorrendo apenas a uma aplicação de gestão de pedidos, que embora útil, está já limitado nas capacidades de extração e utilização de informação. Por outro lado, a aplicação não faz qualquer interação com pedidos anteriormente registados, nem relaciona as intervenções com os equipamentos ou instalações, muito menos é possível analisar um pedido com referência a um histórico, plantas, ou fotografias, que não seja por um processo de consulta de pastas, arquivos e outras formas de armazenamento de informação.

Hoje um GMAC consiste num sistema de processamento de dados relativos a equipamentos e instalações, muitas vezes conhecidos como os ativos, e tem como principal objetivo: (1) Estabelecer planos sistemáticos para ações de manutenção preventiva; (2) Emitir ordens de trabalho; (3) Registrar ocorrências e falhas; (4) Construir um repositório de histórico de ações para eventual uso em diagnóstico de falhas possíveis; (5) Descrição de como as falhas foram identificadas – informação do pedido; (6) Registo de eventuais causas – capacidade preditiva; (7) Recursos disponibilizados e utilizados; (8) Toda a informação associada que possa de certa forma auxiliar ou ser relevante em ocorrências futuras.

Tendo em conta as características descritas, e segundo [10], um GMAC deverá cumprir 6 funções essenciais: (1) Permitir a gestão simples de ordens de trabalho; (2) Definir ações de planeamento; (3) Interagir as ações de manutenção no tempo (calendário/agenda); (4) Orçamentar ações e determinar previamente custos (diretos e indiretos); (5) Gerir inventário; (6) Permitir criar indicadores-chave de desempenho – KPI.

Um GMAC é assim uma forma estruturada de consultar, armazenar e atualizar a quantidade de informação que é gerada na atividade de gestão de edifícios tornando o processo de gestão de manutenção mais eficiente. De salientar que um GMAC não incide apenas na área da gestão de manutenção, como também na área mais abrangente da Gestão de Edifícios ou vulgarmente conhecida por FM – *Facility Management*.

Os GMAC são ferramentas sobejamente reconhecidas na indústria de AECO e por isso importa aprofundar de que forma poderão contribuir para a metodologia BIM. A integração de GMAC com a tecnologia BIM é hoje o desafio de muitos intervenientes da indústria de AECO.

Segundo [11], existem alguns fatores a ter em conta no eventual processo de integração do processo BIM com GMAC:

- A utilização de informação em FM requer que a mesma seja exacta e atualizada;

- A implementação da metodologia BIM requer a curto prazo a necessidade de integrações adicionais (eficiência energética, recursos hídricos) nomeadamente com o previsível aumento de restrições regulamentares;
- Utilização de ferramentas como COBie (*Construction Operations Building Information Exchange*) e outras formas de transferência de informação;
- Considerar a compatibilidade de controladores BAS (*building automation systems*), ATC (*automatic temperatures controles*) e SCADA (*Supervisory control and data acquisition*), para desencadear *tickets* (pedidos de intervenção) em GMAC para que sejam identificados os locais (edifícios, sala, equipamentos) e os associem com a informação de fabricante, manuais de intervenção/ reparação, garantia etc.

Segundo [12], um dos principais problemas dos atuais GMAC são os custos e tempo necessário para desenvolver e carregar os dados numa aplicação GMAC. Por este motivo, a indústria de AECO procura na tecnologia BIM, novas formas de reunir e armazenar a informação, explorando novas ferramentas de interligação ou troca de informação como COBie ou IFC [13].

4. estudo de caso

4.1 Metodologia

Atualmente o Instituto Politécnico de Leiria (IPL) tem um serviço de manutenção e reparação (SMR), onde é efetuado o registo e gestão de pedidos de intervenção. O SMR é uma ferramenta acessível a todos os utilizadores: alunos, funcionários docentes e não docentes do IPL (11000 utilizadores). O SMR é alimentado por uma base de dados de espaços não espacial que representa o cadastro de todos os espaços que compõem os campi do IPL (Leiria, Caldas e Peniche). Por consequência, não há uma relação espacial entre os pedidos realizados, nem é possível modelar a informação pelos seus atributos, quaisquer que sejam.

No referido formulário do SMR, constam um conjunto de atributos que permitem caracterizar a natureza do trabalho a realizar, e identificar o proponente do pedido, os seus dados pessoais (ext. telefónica, gabinete e email), identificar a localização da área a intervir, sua prioridade, etc. Contudo, é de salientar que os pedidos não são geo-referenciados, nem existe forma de associar a um pedido novo, o eventual histórico de intervenções efetuados, numa mesma localização, equipamento ou espaço. Para isso, seria necessário ser considerada a utilização de um GMAC com as funcionalidades evidenciadas na secção 3 e tendo por base os princípios do processo de gestão da manutenção.

O estudo de caso apresentado foi desenvolvido num princípio de modelação *as-managed*, [14] que significa que é feita uma modelação do edifício em funcionamento e no pleno período de exploração. Por esse motivo, poderá ser necessário compatibilizar a informação existente em projeto, com aquilo que efetivamente está executado.

Na figura 2 está representada a matriz de processo de uma intervenção, desde o momento do pedido até à sua resolução.

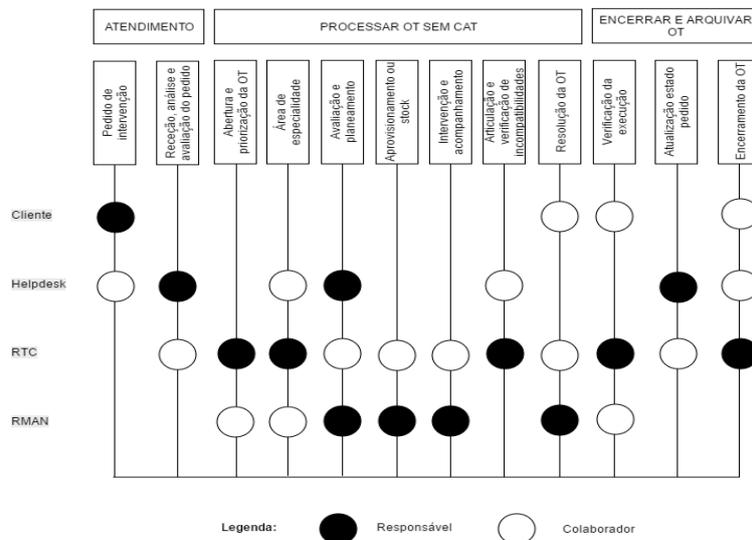


Figura 2: Matriz de Processo - Pedido de SMR (RTC – Responsável técnico por campus; RMAN – Responsável manutenção).

Para os autores [12], BIM deverá estar no centro de interação entre os diversos intervenientes da indústria de AEC. Os referidos autores referem que BIM representa um modelo gráfico que contém a informação paramétrica do edifício. Por outro lado, um GMAC contém ferramentas que permitem interagir com a informação do edifício, desencadeando ações – ordens de trabalho (OT), a partir das quais se enviam para o campo as equipas necessárias à intervenção. As OT contêm uma breve descrição da intervenção a efetuar, e permitem aos técnicos de campo descrever a resolução, apontando ainda eventuais necessidades de melhoria, reposição de peças, ou outras informações que deverão ficar associados à reparação.

O processo de recolha e uniformização desta informação poderá ser oneroso quer seja para ser utilizado num modelo BIM, quer seja para inserir num GMAC.

A metodologia proposta, esquematizada na figura 3, pretende demonstrar a interação entre BIM e GMAC, evidenciando os aspetos que poderão potenciar o desenvolvimento de interações específicas de BIM a outras aplicações, nomeadamente na partilha (exportação/importação) de informação, quer da eventual expansão dos atuais GMAC que possam recolher e devolver ao BIM, informação de campo (informação decorrente do processo de intervenção/ reparação).

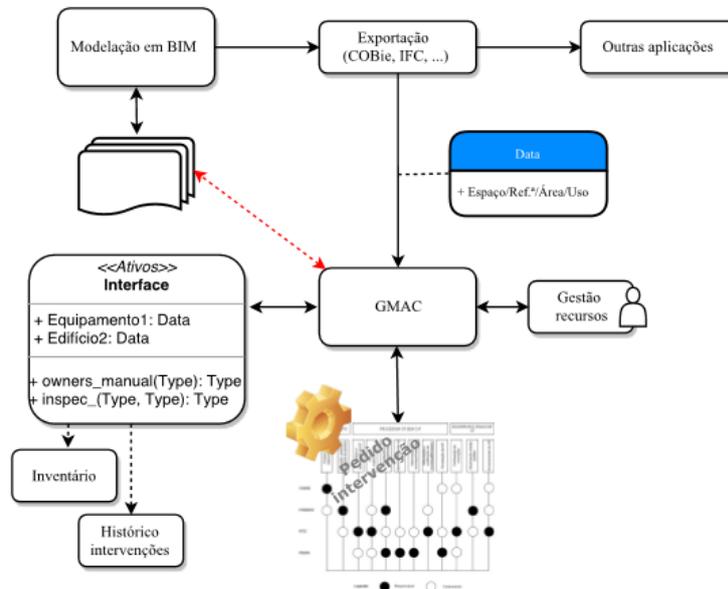


Figura 3: Interligação de BIM a GMAC.

4.2 Modelação e Interligação BIM e GMAC

Para desenvolvimento do estudo de caso, foi feita a modelação da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnicos de Leiria. O processo de modelação foi feito a partir da recolha de informação vetorial (DWG), do cadastro existente e que corresponde por isso, ao edifício conforme está construído – *as managed*, e constituiu a base a partir da qual foi contruído o modelo. A modelação foi feita com recurso ao programa Autodesk® Revit 2014®. Com o recurso às opções de ligação aos modelos CAD em 2D (link), foi possível desenhar e adicionar com maior rigor as componentes paramétricas do edifício (paredes, janelas, portas, Etc.) e complementá-los com edição e criação de objetos das bibliotecas (figura 4, figura 5).

O nível de desenvolvimento (LOD – Level of Development) a considerar para um edifício que venha a ter funcionalidades de gestão de manutenção, implica que o mesmo contenha um grau de detalhe considerável, e por isso, deverá ser considerado o LOD 500. Por outro lado, quando se modela um edifício numa fase de exploração, a pormenorização da informação pode não corresponder ao detalhe pretendido, por não existir ou por ser de difícil acesso. No presente estudo de caso foi modelado o edifício considerando o detalhe necessário a retirar a informação para a gestão de manutenção.

A figura 4 representa a visão geral do edifício modelado. Na figura 5 podemos ver alguns dos pormenores construtivos, modelados de acordo com os objetos existente e efetivamente construídos. Através da edição das propriedades dos componentes existentes nas bibliotecas, é possível adequar as mesmas à realidade.



Figura 4: Vista geral do Edifício.



Figura 5: Vista de pormenores de modelação – vãos de fachada, escadas e portas.

No caso de estudo, foi modelada uma rede de águas e esgotos (figura 6) contendo informação específica dos materiais e suas características (fabricante; manual instalação; tipo material; dimensões; tipo de ligação, etc.). O objeto em causa foi importado a partir do sítio da internet, do próprio fabricante, disponibilizando informação específica do componente.

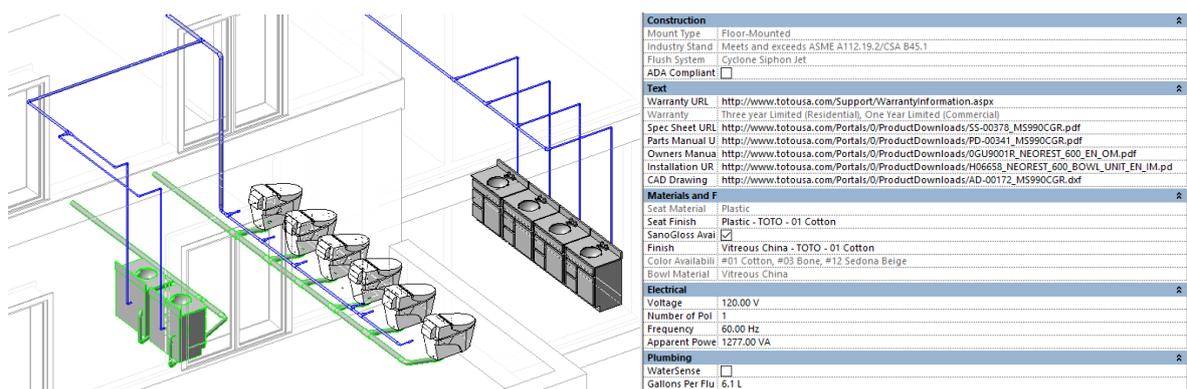


Figura 6: Rede de água e esgotos com a tabela dos parâmetros do objeto - Sanita.

Na figura 7 podemos ver os formulários retirados de uma aplicação de GMAC com a informação que pode estar associada a um objeto/componente. A informação que consta dos referidos formulários, pode ser carregada diretamente na aplicação, criando objetos inseridos em estruturas mãe (em árvore). Alternativamente poderiam ser criados a partir da modelação orientada por objetos, característica base da metodologia BIM, em que são criados objetos e

estabelecidas as relações paramétricas existentes com outros objetos. Para isso, aos objetos é-lhes atribuída uma natureza – famílias, onde são adicionados os parâmetros que determinam a forma de interação e comportamento dos objetos [15].

Figura 7: Formulário tipo de *objeto* em aplicações GMAC (Navaltik® - InnWinWin®).

É importante salientar que tanto o BIM, como o GMAC, contém o mesmo tipo de informação e por isso, considerar eventual interligação, obrigará à definição da melhor forma de recolha e validação e armazenamento da informação. Se consideramos o BIM como um processo que se inicia com a conceção na fase de arquitetura, será legítimo considerar o fluxo de partilha e exportação da informação de BIM para um GMAC na fase de operação. Quando abordamos a metodologia BIM, e a forma como é construído o modelo do edifício, a partir do princípio colaborativo de partilha de dados correspondentes a cada especialidade desde a arquitetura, estrutura e instalações técnicas até à manutenção, torna-se perceptível que qualquer disciplina complementar que esteja associada ao edifício, deverá fazer parte integrante da metodologia BIM. Por esse motivo, toda e qualquer forma de partilha de informação entre BIM e outras aplicações de GMAC, deverá garantir a integridade da informação.

Concluída a modelação, foi feita a exportação dos dados do modelo BIM, através de COBie, com adição de um *plug-in* Autodesk® para o Revit®. COBie é um formato para partilha dos dados a partir de um modelo BIM para outras aplicações tais como um GMAC. Contudo o processo de exportação envolve um conjunto significativo de ações que tornam o processo consideravelmente sensível.

5. Conclusão

O desafio deste estudo de caso passa por evidenciar os benefícios de interligação de BIM com GMAC de forma a garantir um fluxo transversal de informação em processos de edição, atualização e alteração de informação para ações de manutenção. A utilização da metodologia BIM nas ações diárias de gestão de manutenção, obriga a uma interação constante entre os sistemas de informação e as ferramentas já disponíveis para realização das operações em campo. A interação entre as equipas técnicas a quem cabe o papel de planear, preparar e garantir

o bom funcionamento das instalações, e as equipas especialistas intervenientes nas ações de gestão e planeamento, obriga a uma maior agilidade no uso e manuseamento da informação.

Durante a realização deste artigo, foi possível verificar que a temática BIM/GMAC ainda está a dar os primeiros passos. Em Portugal, apesar da temática ainda ser abordada de forma tímida, ao consultar algumas empresas portuguesas de referência que desenvolvem aplicações de GMAC, foi possível constatar que apesar de já conhecerem a metodologia BIM, ainda não desenvolveram processos que permitam avançar no sentido de eventual integração.

As aplicações de GMAC são produtos já com alguma maturidade de implementação em Portugal, e por isso, deverão ser parte integrante do processo de interação da indústria de AECO, de forma a contribuir para o desenvolvimento de ferramentas capazes de integrarem a metodologia BIM em todo o ciclo de interação do mesmo.

A continuação desta pesquisa poderá passar por explorar formas mais eficazes de interoperabilidade ou interligação de BIM a GMAC, através de processos mais colaborativos, em tudo semelhantes aos que hoje já operam na metodologia BIM, tais como Dynamo.

A limitação de acesso a aplicações de GMAC associada à necessidade de as conhecer em profundidade e detalhe, nomeadamente nas suas potencialidades, são uma limitação à investigação e pesquisa de soluções cada vez mais eficientes.

Bibliografia

- [1] C. Tavares, "Gestão de Edifícios – Informação Comportamental" Tese de Mestrado, FEUP, Porto, 2009.
- [2] J. P. S. Cabral, Gestão de Manutenção de Equipamentos, Instalações e Edifícios. 3.^a edição - Lidl: Lisboa - 2013.
- [3] R. Calejo, "Gestão de edifícios: Modos de simulação técnico-económica." Tese de Doutoramento. FEUP, Porto, 2001.
- [4] A. Alves, "Sistemas Integrados de Manutenção: Processo SIM". Tese de Mestrado, FEUP, Porto, 2008.
- [5] P. Rocha, "Metodologias de conceção arquitetónica com base na perspetiva de Manutenção." Tese de Mestrado em Reabilitação do Património Edificado. FEUP, Porto, 2005.
- [6] Al-Najjar, B. "The lack of maintenance and not maintenance which costs: A model to describe and quantify the impact of vibration-based maintenance on company's business." *International Journal of Production Economics*, Vol. 107, No.1, pp 260-273, Maio 2007 doi: 10.1016/j.ijpe.2006.09.005.
- [7] C.D.F. Gonçalves, "Gestão da Manutenção em Edifícios: Modelos para uma abordagem LARG (Lean, Agile, Resilient e Green)" Tese de Doutoramento. FCT-UNL, Lisboa, 2014.
- [8] S. Lavy, "Facility Management practices in higher education buildings: A case study." *Journal of Facilities Management*, Vol. 6 Iss: 4 pp 303-315, 2008, doi: 10.1108/14725960810908163.

- [9] C. D. F. Gonçalves, J. A. M. Dias, V. A. C. Machado, "Multi-criteria decision methodology for selecting maintenance key performance indicators" in *Internacional Journal of Management Science and Engineering Management*, Taylor & Francis. doi: 10.1080/17509653.2014.954280.
- [10] J. N. L. Barata, "GMAC - computerized maintenance management systems : uma abordagem integrada para PMEs industriais." Tese de Mestrado em Engenharia Informática, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2004.
- [11] G. R. Colins "Integrating BIM with GMAC" myfacilitiesnet: consultado em 26/07/2016: <https://myfacilitiesnet.com/general/f/6298/t/10778>.
- [12] M. Schley, P. Teicholz, A. Lewis "BIM for Facility Managers" IFMA Facility Fusion Conference & Expo, Los Angeles, EUA, 2013.
- [13] A. Lewis, B. Foster, Maio 2013 – "BIM and COBie: Taking GMAC to Next Level": <http://www.facilitiesnet.com/software/article/BIM-and-Cobie-Taking-GMAC-to-Next-Level--14048>.
- [14] T. Cerovsek, "Bim Lifecycle/ BIM-FM" in BIM Internacional Conference (2013), Porto, Portugal, 2013, pp 5/57 - <https://docs.google.com/file/d/0B-Q651RX0S3wR0ZPb0VaZXktWXc/edit>.
- [15] J. D. R. T. Soares, "A metodologia BIM-FM aplicada a um caso prático" Tese de Mestrado, ISEP, Porto 2013.

RENTABILIZAÇÃO DA GESTÃO DE ATIVOS DE INFRAESTRUTURAS ATRAVÉS DO BIM

Hugo Pina ⁽¹⁾, **Pedro Mota da Silva** ⁽¹⁾, **Hugo Rodrigues** ⁽²⁾ e **Fernanda Rodrigues** ⁽³⁾

(1) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

(2) RISCO – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Leiria, Portugal

(3) RISCO-Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

Resumo

As entidades gestoras de infraestruturas, após os elevados investimentos efetuados para a sua construção, têm atualmente preocupações no âmbito da gestão da sua exploração com o máximo de rentabilização e o mínimo de risco quer económico quer de desempenho. Para se alcançar este objetivo é necessário otimizar a exploração e manutenção dos seus ativos, ou seja, proceder à respetiva gestão. A gestão de ativos entre outras definições, consiste num processo integrado de tomada de decisão, planeamento e controlo quanto à aquisição, uso, proteção e eliminação de ativos, visando maximizar o seu potencial de resposta em serviço e benefícios e minimizar os riscos e os custos que lhes estão associados ao longo do seu ciclo de vida. No entanto, para se implementar eficazmente este processo de gestão as entidades gestoras enfrentam uma dificuldade inerente à falta de informação sistematizada dos seus ativos. Este trabalho pretende demonstrar através de um caso de estudo, como é que o BIM pode contribuir para a eficaz gestão de ativos de infraestruturas de armazenamento e distribuição de águas, bem como para a gestão dos riscos inerentes às mesmas. Para se atingir este objetivo procedeu-se à elaboração de modelos 3D de acordo com a metodologia BIM e desenvolveram-se os respetivos ficheiros COBie, cuja integração no sistema de gestão de ativos (Computerized Maintenance Management System: CMMS) existente na empresa foi analisada. Concluiu-se que apesar da empresa ter um software de gestão de ativos, este poderá ser otimizado com a introdução da metodologia BIM.

1. BIM e o Facility Management (FM)

As atuais dificuldades económico-financeiras levam a que as oportunidades de negócio estejam cada vez mais focadas na criação de valor com o mínimo de custos. A necessidade de avaliar, identificar e coordenar torna-se cada vez mais crítica para atingir a sustentabilidade. Assim, adotar uma abordagem estratégica no que respeita Facility Management (FM), ou gestão de

ativos, está a começar a tornar-se uma atividade chave e uma norma para se atingir uma organização de excelência por parte dos gestores de operações e manutenção [1].

Ao longo da construção de uma instalação, um grande número de documentos é gerado para acompanhar as diferentes fases. O rápido crescimento do volume de informação sobre o projeto ao longo destas fases torna cada vez mais difícil de encontrar, organizar, aceder e manter as informações exigidas pelos utilizadores do projeto. A necessidade dessas informações é evidente, devido aos inúmeros benefícios que pode trazer para os ocupantes e utilizadores do edifício, bem como para os operadores/gestores da instalação [2]. Este processo tem lugar na fase exatamente antes do edifício ser ocupado, onde se acredita ser o melhor período para adquirir informações da instalação.

Como referido anteriormente, os projetos de construção são cada vez mais complexos, sendo necessário um alto nível de informação e detalhe para a sua gestão. Esta informação é vital e é importante que se encontre disponível de forma perceptível. Os grandes desafios do FM são revelados quando os desafios de intercâmbio de informações durante a fase de conceção/construção são multiplicados em todo o ciclo de vida de uma instalação [2].

Atualmente a utilização do BIM no FM leva a que os gestores das edificações e instalações tenham à sua disposição uma ferramenta que lhes permite gerir com eficácia todas as ações de manutenção e reparação, bem como os respetivos custos. De acordo com o GSA Guide [3], para a implementação do BIM no FM, é necessário:

- Definir as informações necessárias e o modo como são utilizadas;
- Determinar em que fase do ciclo de vida da instalação se está a iniciar a implementação;
- Determinar em que fase do ciclo de vida da instalação a informação é criada e por quem;
- Avaliar qual a abordagem de entrega de projeto (tradicional, a ponte entre projetar e construir, ou outra alternativa para a sua entrega) poderá afetar a responsabilidade contratual para a entrega de informações;
- Desenvolvimento de cláusulas contratuais adequadas para exigir as prestações de informação.

A ISO 55000:2014 fornece uma visão geral sobre a gestão de ativos, os seus princípios e terminologias e os benefícios que podem advir da adoção desta metodologia. Esta norma pode ser aplicada a todos os tipos de ativos e por qualquer organização. Deste modo, a norma propõe como principais benefícios para a aplicação desta metodologia (ISO 55000, 2014) [4]:

- Melhorar o desempenho financeiro: permite melhorar o retorno dos investimentos e pode ser alcançada uma redução de custos, preservando o valor patrimonial, sem que seja necessário comprometer a curto ou a longo prazo a concretização dos objetivos das organizações.
- Informar sobre as decisões tomadas: permite a cada organização melhorar as tomadas de decisões e equilibrar eficazmente os custos, riscos, as oportunidades e um melhor desempenho;
- Melhorar a gestão dos riscos: permite uma redução de perdas a nível financeiro, minimizando o impacto social, melhorando o nível de reputação, podendo resultar numa redução de passivos.

- Permitir a sustentabilidade da organização: faz com que exista uma gestão eficaz das despesas e do desempenho a curto e a longo prazo, podendo melhorar a sustentabilidade das operações e da organização.
- Melhorar a eficiência e eficácia: permite rever e melhorar processos, procedimentos e desempenhos dos ativos, fazendo com que tenham melhor eficiência, levando à realização dos objetivos da organização.

Deste modo, a aplicação da metodologia BIM no FM consiste, resumidamente, na gestão das instalações com recurso às funcionalidades proporcionadas pelo modelo BIM, como modelo geométrico e uma base de dados que contém todos os dados necessários de todos os elementos. Assim, a sua aplicação requer a utilização das ferramentas informáticas compatíveis com ambas as metodologias, sendo assim necessária a utilização de dois tipos diferentes de softwares [5]. O processo de integração do BIM-FM consiste fundamentalmente em três etapas, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Processo de integração do BIM-FM [4].

A primeira etapa consiste em desenvolver o modelo tridimensional da instalação, onde, recorrendo a um software específico de modelação, se conseguem definir as propriedades de todos os elementos e equipamentos dessa instalação. A metodologia BIM tem particular interesse nesta fase, pois, é através dela que se consegue definir um correto LOD para que seja possível integrar de forma detalhada todas as informações numa base de dados, para posterior análise pelos intervenientes na instalação.

A integração dos dados de todo o modelo em folhas de cálculo específicas dá-se na segunda etapa. Depois de todos os parâmetros se encontrarem corretamente atribuídos a cada elemento do modelo, o software pode, ou não, ter a capacidade de gerar os COBie que consistem em *spreadsheets* onde toda a informação é armazenada. Estes ficheiros serão detalhados posteriormente.

Após o armazenamento de toda a informação de uma determinada instalação nestas *spreadsheets*, é fundamental a integração destes dados num software que tenha a capacidade de importar estes ficheiros para fazer a gestão da manutenção da instalação. Nesta fase, a gestão é feita através de CMMS, que pode ser um software comercial. É a partir daqui que os responsáveis pela manutenção conseguem gerir corretamente toda a rede da sem terem que recorrer a mais ferramentas.

O grande objetivo da utilização do BIM no FM é permitir a utilização de dados da instalação através de todo o seu ciclo de vida, fornecendo segurança, garantia e ambientes de trabalho eficientes. Como é gerada uma vasta quantidade de dados durante a fase de construção da instalação, a correta manutenção desses dados permite obter maior eficácia na gestão, através

das informações *as-built*, na redução de custos e tempo, no aumento da satisfação do cliente e na otimização da operação e manutenção dos sistemas e da própria edificação [6].

No entanto, e face ao número elevado de construções existentes, muitas das instalações já se encontram construídas e em funcionamento, sendo necessário tomar uma abordagem diferente. Soares [5], referenciando Tomo Cerovsek, refere essa abordagem como *as-managed*, termo utilizado na fase de operação e manutenção, pois implica a atualização do modelo com todas as alterações que foram efetuadas durante a sua vida de serviço até ao momento da implementação do sistema de gestão da manutenção. Uma das particularidades das construções existentes observáveis nesta fase está relacionada com o facto de, mesmo na fase de projeto e construção, não terem sido compilados com grande rigor todos os dados finais, sendo bastante provável que durante uma ação de reabilitação, também não sejam guardados os elementos relativos a essa ação, trazendo dificuldades ao processo de modelação da edificação existente [5].

2. Caso de estudo

2.1. Enquadramento

A instalação utilizada no presente caso de estudo, para a implementação da metodologia BIM na gestão da manutenção, é uma estação elevatória (ver Figura 2).

A instalação em estudo é constituída por anéis de betão armado e possui diferentes câmaras, tais como a de entrada, visita e de inspeção. A estação é dotada dos seguintes equipamentos: i) Grupo eletrobomba submersível; ii) Medidor de caudal eletromagnético; iii) Conversor de sinal do medidor de caudal; iv) Célula de carga; v) Conversor de sinal da célula de carga; vi) Sondas de nível; vii) Escadas de acesso à câmara; viii) Válvula de seccionamento de cunha elástica; ix) Válvula de retenção esférica; x) Transdutor de nível ultrassónico.

Uma estação elevatória, por norma, encontra-se num nível abaixo do da superfície (encontra-se enterrada). A Figura 2 pretende ilustrar a vista do local da estação em estudo, e posteriormente serão apresentadas as plantas e cortes da instalação.



Figura 2: Vista do local da instalação.

A escolha desta instalação baseou-se na necessidade de intervenção de forma planeada das ações de manutenção em todos os seus elementos, pois neste sistema, é importante prevenir avarias ou falhas que possam ocorrer devido à importância do seu correto funcionamento para eliminar/minimizar os possíveis prejuízos causados por qualquer falha.

Foi necessário definir algumas fases para o desenvolvimento deste caso de estudo, de forma a ordenar e simplificar o processo. Assim, o trabalho é dividido em três fases principais:

- Recolha de toda a informação necessária, quer da instalação, quer dos equipamentos da mesma.
- Modelação da instalação e dos seus constituintes.
- Partilha da informação originada pelo modelo e o software de gestão da manutenção.

É importante referir que o objeto de estudo é apenas uma das estações do plano de intervenção anteriormente referido. O objetivo passa por perceber e aplicar o conceito do FM para uma estação, sendo possível depois generalizar para toda a rede, desenvolvendo assim um sistema de gestão da manutenção eficiente graças a esta metodologia. A dimensão deste trabalho, tanto a nível de modelação como ao nível da própria informação que é extraída do modelo, enfrentou algumas dificuldades: o tempo de realização limitado e a pouca experiência na utilização do software de modelação.

2.2. Informações sobre o modelo e seus constituintes

Toda a informação utilizada para a criação do modelo foi fornecida pela empresa responsável pela execução da instalação, sendo que a sua entrega foi feita em formato digital, tendo sido fornecida informação referente às telas finais do processo de entrega da obra. A informação foi utilizada e dividida em duas partes: relativa à construção e sobre os equipamentos.

A informação relativa à construção da instalação foi utilizada no seu todo para a construção do modelo e dos seus vários sistemas, e a informação sobre os equipamentos foi utilizada para inserir diretamente nos elementos modelados, para posteriormente ser possível a criação dos ficheiros COBie.

Para a realização do modelo, foram utilizados os desenhos referentes a cada uma das especialidades, disponibilizadas em formato digital 2D, mais concretamente as suas plantas e cortes.

Relativamente à informação dos equipamentos, foi necessário fazer um estudo prévio de qual a informação a utilizar, bem como quais os equipamentos mais importantes para inserir mais ou menos informação. Como a informação disponibilizada era bastante elevada, tornou-se fundamental ordenar essa informação segundo as características pretendidas na criação da folha de cálculo para a próxima fase de trabalho. A informação recolhida foi então ordenada segundo: i) Marca/Modelo; ii) Características da garantia; iii) Tempo de vida útil; iv) Dimensões; v) Forma, tamanho e cor; vi) Acabamento; vii) Constituintes; viii) Manual de utilização.

É importante ter em conta que esta informação dos equipamentos foi obtida com a finalidade de ser inserida posteriormente no ficheiro COBie, que não é mais que a base de dados do modelo.

3. Aplicação ao caso de estudo

A modelação foi feita com recurso ao software de modelação Autodesk Revit 2016. A escolha deste software teve por base a dimensão do projeto e as especialidades a serem modeladas, uma vez que se trata de uma instalação de pequenas dimensões e o Revit contempla todas as especialidades, não sendo necessário recorrer ao método de *worksharing*. Apenas foram modeladas as especialidades mais importantes para a finalidade deste trabalho: arquitetura e rede de águas residuais. Os elementos presentes na especialidade de estruturas são elementos que não precisam de manutenção sistemática frequente, pelo que devem ser monitorizados, não necessitando, contudo de inspeções feitas regularmente, principalmente pela instalação ser bastante recente. A especialidade de eletricidade também foi excluída do âmbito deste trabalho.

O LOD obtido no presente trabalho foi condicionado por alguns aspetos: o desconhecimento inicial do software de modelação, bem como as poucas competências do autor em modelação, foram um fator limitante, conjugado com a não existência de uma base de dados com objetos BIM de cada fornecedor, tornou quase impraticável a modelação de todos os equipamentos do objeto de estudo; outro fator a ter em conta está relacionado com a informação fornecida, dado que esta informação, principalmente dos equipamentos, foi facultada através de catálogos dos fabricantes. No entanto, o pretendido é obter a maior base de dados para que o ficheiro COBie criado esteja conforme as normas, e o que acontece é que essa informação não é igual para todos os equipamentos, o que dificulta essa criação. Deste modo, o LOD obtido no presente trabalho foi o LOD 400, que corresponde a um nível de desenvolvimento de uma maturidade elevada. Devido às condições anteriormente descritas, não foi possível obter o LOD 500, apesar de ser o indicado como o ideal no processo do *Facility Management*.

3.1. Arquitetura

Como referido anteriormente, a modelação da arquitetura teve por base os elementos de projeto fornecidos. Uma das principais dificuldades sentidas no processo de modelação foi encontrar coerência entre os desenhos fornecidos e o que foi construído na realidade. Depois de várias visitas ao local da instalação e reuniões com a empresa responsável pela execução da mesma, foi possível verificar que o projeto fornecido corresponde a um “projeto-tipo” de uma estação elevatória, tendo sido adaptado a cada uma das treze estações existentes no plano de intervenção. Na estação em estudo, constatou-se que existiam algumas alterações ao projeto inicial. As mais visíveis, principalmente ao nível do solo, são as tampas de saneamento, que no projeto estão marcadas como tendo uma forma quadrada e com uma determinada medida, e na realidade são redondas e com um diâmetro diferente. Outra dificuldade sentida reside no facto de a planta não indicar com grande rigor a localização das diferentes câmaras (aspiração, entrada e inspeção), apenas tendo sido possível concluir sobre ela com visitas ao local da instalação. Foi também feito um levantamento no local de todas as medidas necessárias para modelar corretamente os diferentes elementos da envolvente, como o passeio, lancis e distâncias entre tampas (Figura 3). A Figura 4 representa um corte da estação elevatória.

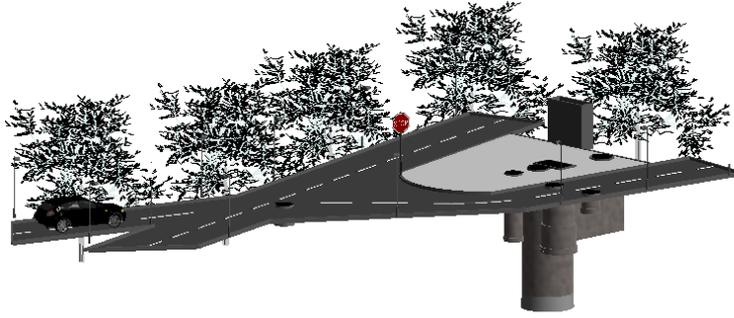


Figura 3: Modelo da envolvente da instalação.

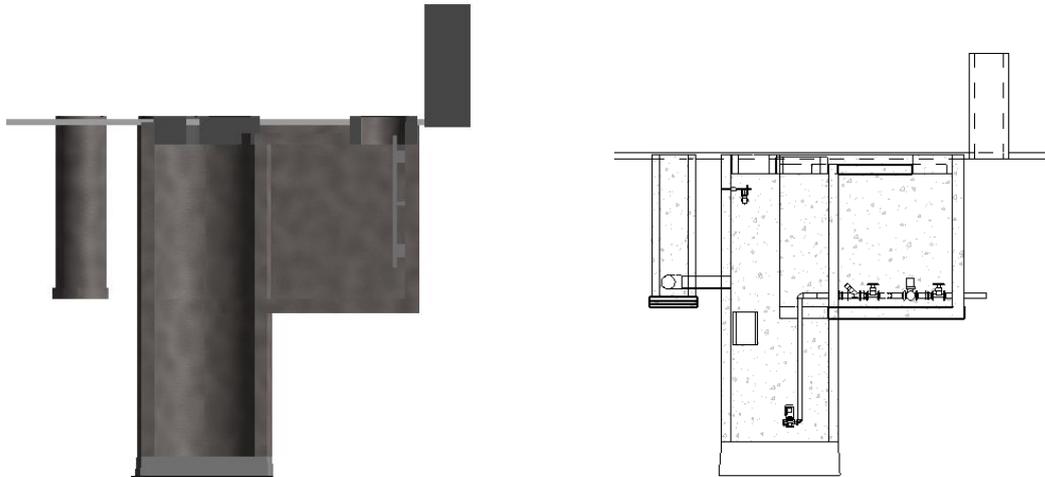


Figura 4: Corte.

Concluída a modelação da parte física do modelo, foi também necessário definir os espaços que constituem cada zona, cuja identificação seguiu a estrutura organizacional dos COBie, pois só segundo a definição correta dos espaços será possível saber a localização dos vários componentes presentes nos vários níveis. Assim, no presente trabalho, considerou-se a divisão em quatro espaços principais, a câmara de aspiração, câmara de entrada, câmara de manobras e câmara técnica.

3.2. Model MEP

De modo semelhante ao modelo de arquitetura, a modelação dos MEP teve por base as plantas e cortes fornecidos, bem como as informações complementares dadas pelos responsáveis da obra, para saber a localização exata dos componentes.

Nesta fase, a informação utilizada tem um papel fulcral no sucesso da metodologia. Para a realização deste modelo foi necessário um maior número de informação, que teve por base o maior número de especialidades, bem como um maior número de equipamentos que constitui cada uma dessas especialidades. Por se tratar de equipamentos muito específicos, verifica-se que o Revit não possui uma família que os represente, com os parâmetros necessários de acordo com as especificações do projeto. Por exemplo, para o grupo eletrobomba submersível, apesar

da existência de vários exemplos na biblioteca do próprio software, não existia nenhum que se equiparasse aos utilizados no projeto.

Deste modo, o próximo passo na criação do modelo MEP foi a modelação da especialidade das instalações hidráulicas, nomeadamente o sistema de saneamento de águas residuais. As informações fornecidas apenas indicavam as ligações no interior da estação elevatória, não tendo sido facultada qualquer informação da localização e das cotas das tubagens na envolvente da instalação. Estas informações foram recolhidas junto da entidade responsável pela construção da instalação, o que permitiu então concluir sobre a localização das tubagens para a criação do modelo (Figura 5).

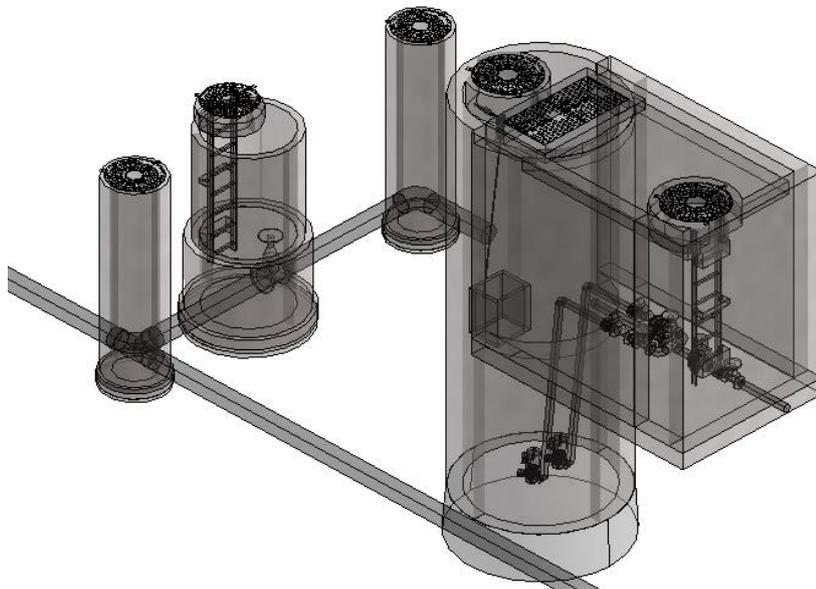


Figura 5: Modelo Mecânico final.

Como referido anteriormente, os equipamentos utilizados no modelo não possuem as características fornecidas pelo fabricante, uma vez que não se encontram ainda modelados ou têm informação insuficiente. Surgiu então a necessidade de criar alguns equipamentos que se assemelhassem à realidade. Segundo Aubin [7], para a criação de equipamentos é necessário ter em consideração:

- Atribuição de subcategorias ao objeto – Este passo nem sempre é necessário, sendo utilizado para atribuir a partes independentes de uma família um nível extra de visibilidade e controlo gráfico.
- Estabelecer regras de visibilidade – A utilização desta ferramenta permite controlar as definições de visibilidade da família. Por vezes, pode ser benéfico ver algumas partes em determinadas circunstâncias.
- Criação de conectores – Este passo tem uma grande importância na modelação dos elementos pertencentes à especialidade dos MEP, sendo apenas aplicado a estes elementos. As famílias que representam equipamentos e instalações mecânicas ou elétricas necessitam de conectores que lhes permitam ligar corretamente aos tubos, cabos ou fios e fazendo parte de um sistema.

4. Comentários Finais

4.1. Trabalho em Desenvolvimento

Depois da instalação elevatória se encontrar devidamente modelada, bem como todos os seus constituintes, é necessário atribuir as informações previamente adquiridas, a fim de criar a base de dados do modelo, através dos ficheiros COBie. Deste modo, é fundamental escolher o *template* que se ajuste aos requisitos do COBie, que no presente trabalho foi a versão COBie 2.4. Deste modo, e seguindo o manual de utilização para a extensão do Maximo para BIM [8], a escolha recaiu naturalmente para a utilização do Autodesk COBie Toolkit 2014. De referir que este tipo de ficheiro tem a capacidade de estabelecer relações entre os diferentes componentes da instalação e os espaços a que pertencem, como é possível observar na Figura 6. Esta base de dados, por si só, não tem a capacidade de definir ordens de trabalho ou estabelecer sistemas de manutenção preventiva, algo que só acontece numa fase posterior recorrendo a softwares de gestão da manutenção.

	A	B	C	D	E
	Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description
1					
2	Bomba Grundfos	hugopina	2015-06-02 23-60 30 21 17	Motor Pumps	Grupo electrobomba submersível
3	Conversor de sinal 1	hugopina	2015-06-02		Conversor de sinal do medidor de caudal
4	Medidor de caudal electromagnético	hugopina	2015-06-02		Medidor de caudal para condutas de escoamento em pressão
5	Conversor de sinal 2	hugopina	2015-06-02		Conversor de sinal da célula de carga
6	Célula de carga	hugopina	2015-06-02		Célula de carga
7	Sonda de nível	hugopina	2015-06-02		Sonda de nível
8	Escadas	hugopina	2015-06-02 23-30 70 17 14	Vertical Ladders	Escadas verticais
9	Válvula de seccionamento	hugopina	2015-06-02 23-65 55 14 17	Adjusting/Controlling Valves	Válvula de seccionamento de cunha elástica
10	Válvula de retenção esférica	hugopina	2015-06-02 23-65 55 14 17	Adjusting/Controlling Valves	Válvula de retenção esférica
11	Transdutor de nível ultrasónico	hugopina	2015-06-02		Transdutor de nível ultrasónico
12	Tampa circular	hugopina	2015-06-02		Tampa circular
13	Tampa retangular	hugopina	2015-06-02		Tampa retangular
14	Cesta de carga	hugopina	2015-06-02		Cesta de carga

Figura 6: Exemplo de um ficheiro COBie.

Em função do modelo criado, foram inseridas todas as informações existentes dos equipamentos que constituem a instalação, para posterior criação do ficheiro COBie, tendo este sido exportado diretamente do software de modelação. Foi também explicado o processo de importação do COBie para um software de gestão de manutenção, que neste trabalho foi o IBM Maximo, bem como o exemplo da gestão de um ativo a partir do mesmo

4.2. Dificuldades sentidas

O grande objetivo da aplicação da metodologia BIM no FM consiste em formular uma base de dados que consiga auxiliar o processo de manutenção dos ativos de uma determinada instalação. Essa base de dados, representada pelo ficheiro COBie, pode ser integrada num CMMS, onde as ordens de trabalho da manutenção preventiva podem ser automaticamente geradas. Como tal, os dados facultados por parte da empresa responsável pela construção da instalação são fundamentais para o processo de criação do ficheiro COBie [9].

A principal dificuldade sentida na parte da modelação foi a falta de congruência entre as peças de projeto fornecidas e o que efetivamente foi construído. Isto condiciona quem modela, uma

vez que, em edificações já existentes, é importante existir uma uniformidade na documentação, para que o modelo seja *as-built*. Para a modelação deste tipo de instalações, é necessário realizar previamente um levantamento das alterações realizadas na própria instalação. Para tal, foi necessário recorrer à empresa responsável pela construção da estação elevatória, e efetuar visitas periódicas ao local.

Outro problema que se verificou foi a falta de conhecimento por parte das empresas de equipamentos sobre esta metodologia. Não se encontrou, em grande parte dos casos, nenhum equipamento modelado por parte da marca, e nos casos em que existia o equipamento, não era possível aceder à informação que compõe o ficheiro COBie. Isto faz com que se perca tempo no processo de modelação dos equipamentos e na pesquisa da informação que é necessário introduzir no modelo.

O desconhecimento do software de modelação também é um fator condicionante, uma vez que o nível de detalhe obtido pode não ser o ideal. O facto de não existir total acesso ao software de gestão da manutenção também condicionou os resultados obtidos, uma vez que não foi possível proceder à importação do ficheiro COBie para a *cloud*, e logo não foi possível concluir sobre a dificuldade deste processo. A dificuldade de obter uma licença deste software reside no facto de serem, por vezes, licenças bastante dispendiosas para uma aplicação única num projeto de investigação, como uma dissertação de mestrado.

Referências

- [1] Saleh, A., Kamarulzaman, N., Hashim, H., Hashim S. (2011). An Approach to Facilities Management (FM) Practices in Higher Learning Institutions to Attain a Sustainable Campus (Case Study: University Technology Mara -UiTM). *Procedia Engineering*, 20, 269-278. doi:10.1016/j.proeng.2011.11.165.
- [2] Lavy, S., Jawadekar, S. (2014). A Case Study of Using BIM and COBie for Facility Management.
- [3] GSA Guide (2012). 3D-4D Building Information Modeling.
- [4] ISO 55000 (2014). Asset management — Overview, principles and terminology.
- [5] Soares, J. (2013). A metodologia BIM-FM aplicada a um caso prático. Relatório de Estágio para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.
- [6] Jordani, D. (2010). BIM and FM: The Portal to Lifecycle Facility Management. *Journal of Building Information Modeling*, 10, 13-16. Lavy, S., Jawadekar, S. (2014). A Case Study of Using BIM and COBie for Facility Management.
- [7] Aubin, P. F. (2011). Autodesk Revit Families: A Step-by-Step Introduction. Autodesk University 2011 (p. 35). Las Vegas: Autodesk.
- [8] Pilgrim, L., Wood, D., Lacey, P. (2011). Maximo Extension for Building Information Models (BIM).
- [9] Alves, A. (2008). Sistemas Integrados de Manutenção: Processo SIM. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

CONTRIBUTO DO BIM COMO SUPORTE DAS FASES DE MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DOS EDIFÍCIOS

Wilson Dias ⁽¹⁾, José Carlos Lino ⁽²⁾, João Pedro Couto ⁽¹⁾

(1) Universidade do Minho, Guimarães

(2) BIMMS, Porto

Resumo

A evolução crescente das construções levou à visualização de edificações mais complexas e sofisticadas usando novas tecnologias. Com esta evolução, os níveis de exigência dos utilizadores aumentaram, fazendo com que seja necessário acrescentar mais informação aos edifícios. Surgem novas preocupações não só na fase de conceção mas também ao longo da sua vida útil, acrescentando assim mais valor e atenção por parte dos donos de obra à fase de manutenção e operação.

O *Facilities Management* (FM) diz respeito à gestão de recursos onde se combinam os locais físicos, os intervenientes e a gestão de processos. Já o *Building Information Modeling* (BIM) permite armazenar toda a informação ao longo de todas as fases do ciclo de vida de uma edificação. Assim sendo, compreende-se a necessidade atual da utilização do BIM no FM, criando assim a metodologia *BIM for Facilities Management* (BIM-FM) que consiste na gestão das instalações tendo como apoio os recursos BIM.

Este artigo tem como principal objetivo a demonstração do contributo que o BIM pode oferecer na otimização da gestão da utilização dos edifícios bem como para a sustentabilidade dos respetivos edifícios.

1. Introdução

O presente artigo baseia-se na dissertação de mestrado integrado que o primeiro autor está a desenvolver na Universidade do Minho em regime de colaboração com a empresa BIMMS. Vários estudos indicam que com uma correta manutenção se consegue aumentar a duração de vida de um equipamento entre 30 a 40% em comparação com um equipamento que tenha uma manutenção inadequada [1].

O *Facilities Management* (FM) diz respeito à gestão de recursos onde se combinam locais físicos, os intervenientes e a gestão de processos, de maneira a criar uma gestão de serviços com maior organização e eficiência na coordenação das operações e manutenções [2]. Contudo, o uso tradicional do FM contém algumas limitações, nomeadamente, a sua tradicional falta de capacidades gráficas [3]. Para poder ultrapassar estas limitações pode recorrer-se ao uso da metodologia *Building Information Modeling* (BIM) que é uma metodologia onde existe comunicação entre todos os intervenientes do projeto e partilha da informação de todas as fases do mesmo. Deste modo, compreende-se a incorporação do BIM na metodologia FM, tornando-se assim a metodologia *BIM for Facilities Management* (BIM-FM) que apoia a gestão das instalações.

Considerando que o FM tem vindo a ser estudado e desenvolvido desde 1950 [4] e que o BIM também se encontra em desenvolvimento e é investigado por diversos especialistas, pretende-se com este artigo contribuir para a divulgação do papel e contributo do BIM no FM, na combinação BIM-FM.

2. Enquadramento

2.1 Manutenção

A manutenção é um conjunto de diversas ações com o objetivo de garantir o bom funcionamento de máquinas e instalações, ou seja, com o propósito de reparar ou repor o que se encontra estragado ou sem a funcionalidade desejada, de modo que consigam desempenhar as funções primitivamente requeridas, evitando a perda de função ou mesmo a redução do rendimento [5].

A gestão da manutenção consiste, assim, em assegurar a atividade de máquinas e de instalações de modo a obter o melhor do seu rendimento, em segurança, evitando avarias ou reparando-as quando elas acontecem. Para que tal aconteça, é necessário existir um empenhamento por parte das equipas técnicas e de engenharia que têm por objetivos o cumprimento das exigências legais relacionadas com a manutenção, o planeamento da manutenção, a gestão de equipamentos e sistemas, a gestão energética e da qualidade do ar, bem como a diminuição de avarias e a sua rápida resolução, entre outras. Resumindo, a manutenção é um sistema que contribui para um aumento da vida útil tanto de edifícios como de maquinaria devido à diminuição da sua degradação.

Para conseguir que este tipo de sistema seja eficaz, é necessário adotar políticas planeadas por um gestor com um forte domínio na área da manutenção. Este gestor fica encarregue de definir uma política que se adequa ao tipo de manutenção que se deseja realizar de forma a manter o desempenho funcional exigido inicialmente, através de ações preventivas, corretivas ou mesmo preditivas, tendo em consideração tanto aspetos económicos, como sociais, culturais e históricos [5] [6]. O proprietário do edifício ou maquinaria pode exercer o papel de gestor, bem como o administrador do condomínio, se for o caso. É possível também dar esse cargo a uma entidade especializada na área da manutenção. Existem vários tipos de manutenção tais como manutenção preventiva, corretiva e preditiva [5].

2.1.1 Manutenção Preventiva

Realiza-se de modo planeado de forma a evitar avaria, perda ou mesmo redução das funções. Esta manutenção pode dividir-se em dois modelos, manutenção preventiva sistemática, a qual se realiza por intervalos de tempo pré-definidos, e a manutenção preventiva condicionada que é realizada tendo em conta o controlo de determinadas condições [5] [7].

2.1.2 Manutenção Corretiva

Realiza-se reactivamente na sequência de uma avaria ou perda de função. Neste caso podem ter-se alguns tipos de intervenções como, por exemplo, as intervenções urgentes, as pequenas e grandes intervenções [5] [7].

2.1.3 Manutenção Preditiva

Trata-se de um acompanhamento periódico dos equipamentos, com base em dados recolhidos por meio de monitorização ou inspeções que informam o seu desgaste ou processo de degradação [5] [7].

2.2 Facility Management

A metodologia *Facility Management* (FM) consiste numa gestão integrada com um nível estratégico e tático de modo a combinar os locais físicos, os intervenientes e a gestão de processos com o intuito de melhorar a eficiência das atividades de cada organização [8]. Esta prática é cada vez mais utilizada pelas organizações com o objetivo de gerir as instalações da melhor forma. Para tal, já que se trata de uma área que abrange inúmeras matérias, existem diversas ferramentas de apoio ao FM.

A gestão e manutenção de edifícios é uma área que envolve um grande número de serviços (Figura 1) o que, conseqüentemente, torna o seu custo elevado, sendo de grande interesse para qualquer entidade gestora a otimização dos seus custos. Assim, é compreensível que o uso do FM seja aplicado nesta área, pois tem a finalidade de gerir da melhor forma os vários processos e serviços existentes.



Figura 1: Diversos serviços existentes na manutenção [9].

2.3 BIM

O BIM não se baseia apenas em modelos computacionais tridimensionais, mas sim, em toda a informação associada aos componentes desses modelos e equipamentos neles existentes. Para

além disto, toda esta informação pode ser gerida durante a vida útil da edificação (Figura 2). A utilização do BIM é uma mais-valia para a área de gestão da manutenção, pois torna as intervenções de manutenção mais rápidas, confiáveis e corretas devido à representação do edifício em 3D e ao facto de toda a informação do mesmo estar reunida numa única base de dados. Assim, qualquer responsável pela operação do edifício pode recorrer ao modelo tridimensional, com o intuito de conseguir as informações necessárias para operar, tendo também a possibilidade de acrescentar informação nesse mesmo modelo, garantindo que qualquer alteração que se efetue neste o torna automaticamente atualizado [10].

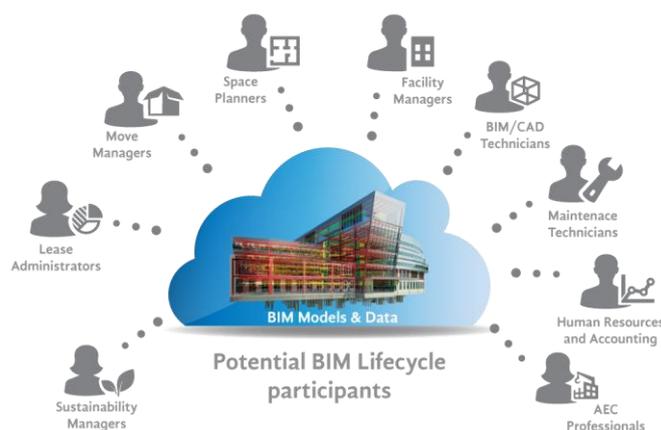


Figura 2: Os intervenientes e a informação utilizada num modelo BIM [11].

3. Software BIM

Ao realizar a modelação do edifício virtual é necessário que o modelo virtual contenha toda a informação, a sua representação gráfica, a análise construtiva, a quantificação de trabalhos e do tempo de mão-de-obra. Para isto é preciso utilizar *software* de modelação tal como o Revit, Archicad, Allplan, VectorWorks, Cype, Tekla Structures, entre outros [12].

A metodologia *BIM for Facilities Management* (BIM-FM) consiste na gestão das instalações tendo como apoio os recursos obtidos, sejam estes modelos tridimensionais, base de dados ou qualquer outro tipo de informação proporcionada pela metodologia BIM. O tempo que uma equipa de gestão de instalações demora a fazer uma avaliação, por vezes ultrapassa o desejável. Com todas as informações disponibilizadas quando aplicada a metodologia BIM, é possível o acesso quase instantâneo a essas informações, poupando assim bastante tempo em fazer análises morosas [13], como por exemplo os detalhes, a localização e historial, o fabricante, as normas, os custos de desempenho, entre outros.

Um dos protocolos de interoperabilidade mais utilizados em BIM-FM é o *Construction Operations Building information exchange* (COBie), consiste num padrão internacional para recolha e troca de informações não gráficas relacionadas com os ativos das instalações. Esta ferramenta encontra-se em formato digital (Figura 3) é utilizada para compilar, compatibilizar e partilhar os documentos gerados na conceção da edificação [13] [14]. Ao contrário da metodologia tradicional onde se acumula e reúne muita informação no final da obra, o COBie

incentiva a recolher e a introduzir a informação no modelo assim que ela é obtida, mudando assim a forma como a informação é reunida [14].

Com o desenvolvimento crescente da tecnologia, aparecem cada vez mais ferramentas e métodos com a função de facilitar e implementar o BIM-FM. Apresentam-se de seguida alguns pacotes de *softwares*, para o BIM-FM, existentes no mercado.

	A	G	H	I	J	K	L	M	N
	Name	ExtSystem	ExtObject	ExtIdentifier	SerialNumber	InstallationDate	WarrantyStartDate	TagNumber	BarCode
1									
26	Beam	n/a	Beam	20RwItJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available
27	Beam	n/a	Beam	20RwItJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available
28	Beam	n/a	Beam	20RwItJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available
29	Beam	n/a	Beam	20RwItJ6z	Available	n/a	n/a	n/a	Available
30	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available
31	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available
32	Bed	n/a	Furniture	20Brcmyk	Available	n/a	2012	n/a	Available
33	Bed 001	n/a	Furniture	20Brcmyk	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Figura 3: Exemplo de um folha de cálculo COBie [15].

3.1 Archibus

O Archibus tem o objetivo de reduzir a complexidade da gestão das empresas [16]. Este *software* permite: gestão do portfólio imobiliário, gestão do investimento, gestão e planeamento de espaço, gestão de movimentos, gestão de ativos, gestão ambiental e de risco, operações de construção, gestão de serviços e extensões de tecnologia (Figura 4).

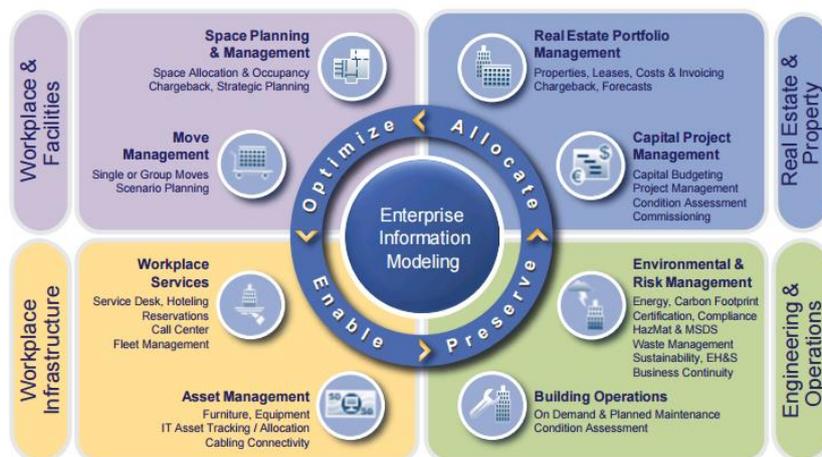


Figura 4: Áreas do Archibus [17].

3.2 ArchiFM

O ArchiFM, desenvolvido pela vintoCON Ltd, é uma ferramenta FM que funciona em conjunto com o *software* ArchiCAD da Graphisoft (Figura 5). Esta solução foi desenvolvida com o intuito de proporcionar uma gestão das instalações durante o ciclo de vida útil do edifício, utilizando um modelo gráfico criado no ArchiCAD.

Nesta parceria é possível aceder a um visualizador *web* onde o utilizador pode realizar a gestão sem ter que possuir o *software* de modelação. Esta ferramenta possui três áreas, nomeadamente

ArchiFM Assset Planning (Gestão de ativos), *ArchiFM Maintenance* (Manutenção - permite planear atividades relacionados com a manutenção das instalações bem como os seus custos) e *ArchiFM ProFM Reporting Services* (Serviços de informação- permite criar, editar e gerir relatórios em tempo real recorrendo a um navegador *web*) [13] [18].

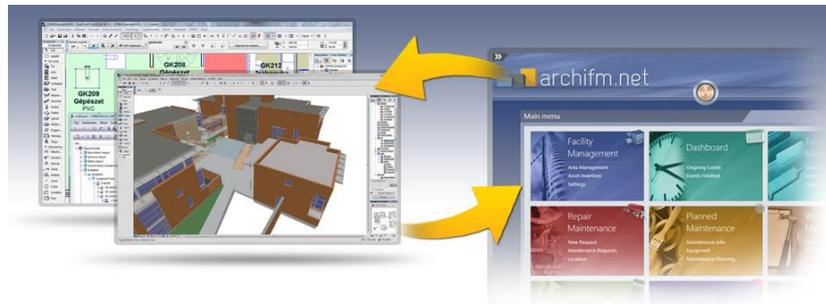


Figura 5: Ligação entre ArchiCAD e ArchiFM [18].

3.3 Bentley Facilities

O Bentley Facilities foi desenvolvido pela própria Bentley e é uma ferramenta composta por um conjunto de aplicações para suportar a gestão de espaços, de ativos e documentação, relacionados com as instalações. As aplicações referidas são: *Bentley Facilities Space Planner* (possibilita obter e estruturar todas as informações, tanto novas como as existentes na base de dados), *Bentley Facilities Manager* (trata-se de um interface que possibilita criar e manter toda a informação das instalações), *Enterprise Facility Management* (consiste num servidor de colaboração onde é possível registar todos os dados das instalações) e *Bentley Facilities Web Reports* (possibilita a criação de relatórios com as informações das instalações) [13].

3.4 EcoDomus

O EcoDomus fornece soluções BIM-FM, que trabalham com vários sistemas como modelos BIM (Figura 6), sistemas FM, sistema GIS, sistema de automatização predial (BAS – *Building Automation Systems*), o que permite gerir as instalações com uma maior eficiência. O EcoDomus fornece duas ferramentas, o EcoDomus PM e o EcoDomus FM. O primeiro possibilita a integração dos dados BIM em ferramentas FM e o segundo possibilita a integração em tempo real do BIM com *Building Automation Systems*. Pode servir como uma base de dados das instalações que pode ser sempre atualizada e que permite a filtragem de informação por localização e área [13] [19].

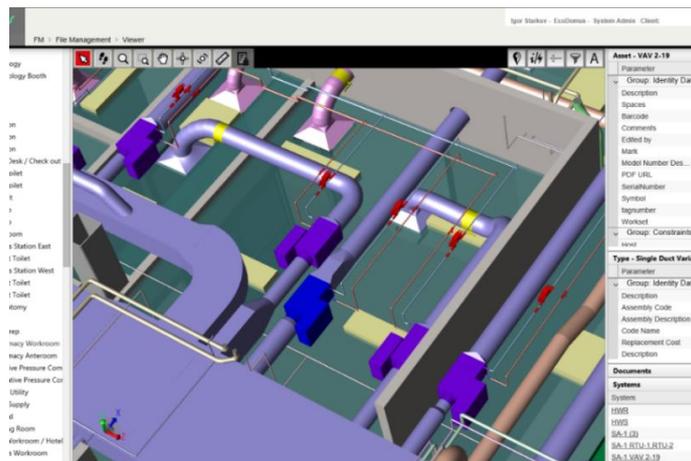


Figura 6: Utilização de modelos no EcoDomus [20].

3.5 FM:Interact

O FM:Interact foi criado pela FM:Systems e consiste numa ferramenta composta por um conjunto de aplicações que permitem organizar e analisar os dados relativos às instalações. Contêm uma ligação bidirecional (Figura 7) com o Revit da Autodesk, através do qual tem acesso a plantas e dados do modelo BIM, com o intuito de usar essa informação para a fase de operação e gestão das instalações [13]. As áreas principais desta ferramenta são *Space Management* (Gestão do espaço), *Strategic Planning* (Planeamento estratégico) e *Asset Management* (Gestão de ativos). O *Space Management* possibilita a criação de inventários com os detalhes dos espaços, da ocupação e *benchmarking* das instalações de forma a melhorar as taxas tanto da utilização do espaço como da ocupação. O *Strategic Planning* permite criar planos de estratégia com base em análises de requisitos do número de funcionários e previsão de espaço necessário. O *Asset Management* possibilita a localização de ativos físicos como equipamentos, computadores, móveis e sistemas, entre outros. O FM:Interact contém ainda outros módulos que são: *Facility Maintenance*, *Move Management*, *Project Management*, *Real Estate*, *Space Reservation*, *Sustainability*. *FM:Mobile*.

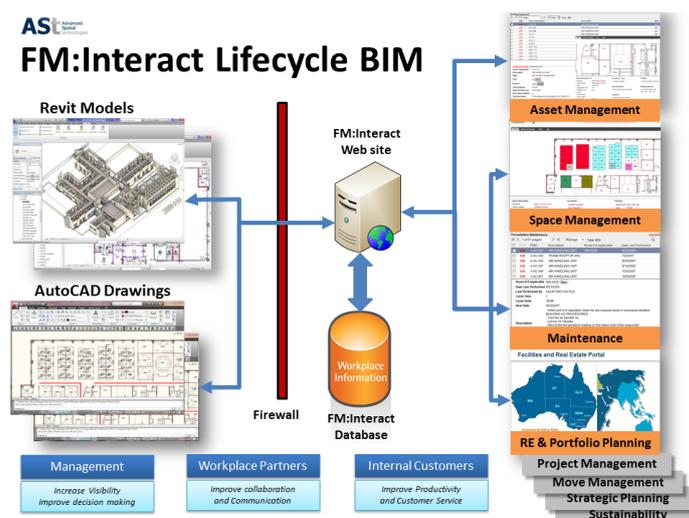


Figura 7: Ligação bidirecional do FM:Interact [21].

3.6 Maximo

O IBM Maximo é uma solução destinada para a gestão de ativos físicos. Esta ferramenta permite que as organizações consigam gerir todo o tipo de ativos (produção, infra-estrutura, instalações, transportes e comunicações). Para fornecer serviços de otimização, o Maximo, apresenta seis áreas de gestão (Figura 8) nomeadamente gestão de ativos, gestão de trabalho, gestão de serviço, gestão de contratos, gestão de inventários e gestão de *Procurement* [22].

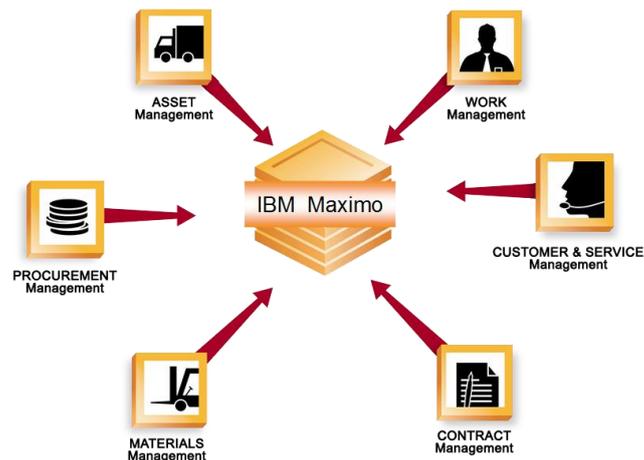


Figura 8: Áreas de gestão do IBM Maximo [23].

3.7 YouBIM

O YouBIM proporciona uma base de dados integrada e com acesso instantâneo à informação das instalações. No que se trata de gestão das instalações, o YouBIM permite aceder dados e à documentação do fabricante, aos objetos da base de dados do modelo *online* (Figura 9) do edifício e para além disso contém uma gestão de manutenção programada dos equipamentos do edifício [24].

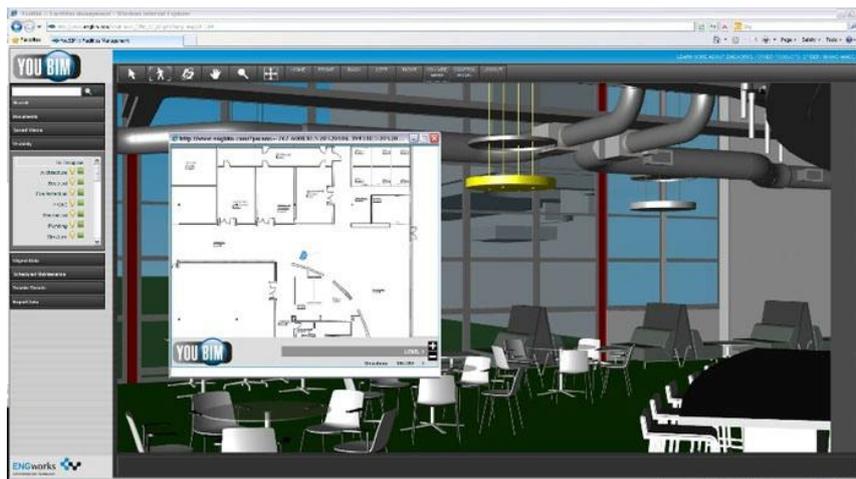


Figura 9: Modelo online do YouBIM [24].

4. Aplicação Prática

Para a aplicação da metodologia BIM-FM foi escolhido um projeto multiuso de reabilitação composto por escritórios, superfície comercial e espaços exteriores de arranjo urbano. As principais etapas do processo são a definição dos requisitos, a recolha dos dados, a modelação e a integração com uma ferramenta BIM-FM.

4.1 Definição dos requisitos

Esta fase tem um papel muito importante já que é ela que define tudo que vai ser essencial para o modelo. Para isso é de extrema importância definir o objetivo do modelo de maneira a poder modelar e recolher apenas o que é necessário, de modo a evitar que este processo seja desnecessariamente demorado e pesado [25]. De uma forma geral, para o modelo ter uma boa informação opta-se por considerar os seguintes objetivos: gestão dos contratos, manutenção, gestão do *stock* e criação de indicadores de desempenho (KPI's) para *Benchmarking*.

O facto deste trabalho abranger várias áreas, tanto no desenvolvimento do modelo, como na reunião e remoção de informação deste mesmo modelo, suporta a necessidade de alerta devido a vários aspetos no desenvolvimento do trabalho. Contudo neste projeto as áreas trabalhadas são a gestão e planeamento de espaço, gestão de ativos, operações de construção e gestão de serviços.

4.2 Recolha de dados

Nesta fase considera-se a recolha dos dados físicos do modelo como plantas, equipamentos e a informação essencial para a gestão da mesma.

Neste projeto, inicialmente, a recolha de dados começou por toda a informação que se encontra no formato digital, contudo, nem todas as informações estão nesse formato. Na informação recolhida é importante ter bem definido quais os dados essenciais, para que a modelação dos equipamentos seja o mais leve possível para não sobrecarregar o modelo.

4.3 Modelação

No que toca à modelação, é necessário ter em conta alguns aspetos, tais como: saber se se trata de uma construção nova ou de uma já existente e se já se encontra modelado ou se ainda se encontra em planta, sendo que a variação destes fatores define a trajetória do processo. Se o projeto for novo, toda a informação é diretamente direcionada para o modelo que será realizado, caso contrário, se o caso de estudo for um projeto existente, é necessário saber se já existe ou não uma modelação. Caso não exista, a modelação é criada de raiz; caso exista, é necessário saber se é preciso realizar alterações no modelo. Ainda nesta fase, é necessário introduzir toda a informação recolhida relativamente ao edifício e equipamentos.

Neste caso a modelação já existia e foi criada com recurso ao *software* Autodesk Revit (Figura 10). A modelação Revit consiste em três especializações: Arquitetura, Estrutura e MEP, estas podem estar ou não separadas. Optou-se por, inicialmente, usar a especialidade de arquitetura de modo a simplificar o processo e o tamanho do modelo, no entanto é também essencial fazer uma adaptação ao contexto e às necessidades deste trabalho.

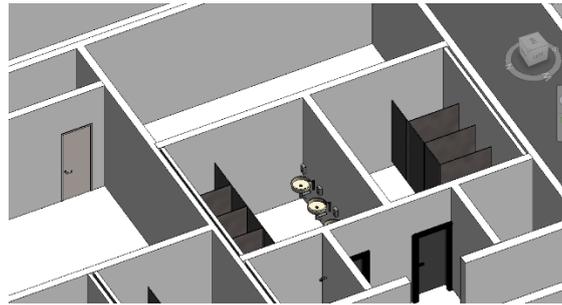


Figura 10: Imagem do modelo retirada diretamente do Revit.

4.4 Integração com uma ferramenta BIM-FM.

Nesta fase, é necessário que as etapas anteriores estejam concluídas, de forma que o modelo BIM seja sincronizado com as ferramentas BIM-FM.

No presente caso prático, a ferramenta BIM-FM utilizada foi o ArchiBUS, que possibilita fazer a gestão e planeamento de espaço, a gestão de ativos, as operações de construção e os serviços do local de trabalho. Para isso, primeiramente, é necessário que os dados recolhidos relativos ao edifício e aos equipamentos se encontrem no modelo Revit para que este esteja preparado para a integração do ArchiBUS.

Após o processo anteriormente descrito, é necessário instalar a expansão ArchiBUS no Revit (Figura 11), de forma que toda a informação seja sincronizada com o ArchiBUS. A partir deste ponto o utilizador pode consultar e gerir esta informação, bem como os seus objetivos de trabalho, através do *software* ArchiBUS Smart client (Figura 12) onde é possível aceder ao visualizador *web*.

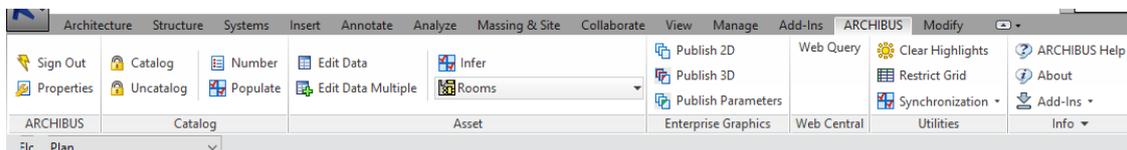


Figura 11: Expansão do ArchiBUS no Revit.

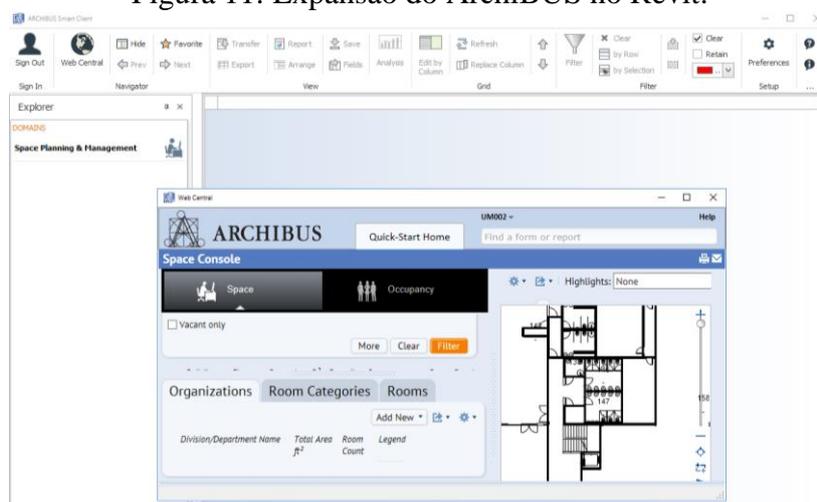


Figura 12: ArchiBUS Smart cliente e visualizador *web*.

5. Conclusões

A metodologia BIM-FM, devido ao facto de ainda estar em fase de desenvolvimento, pode ser alvo de alguma resistência, sendo importante difundir o seu interesse como ferramenta de apoio à manutenção das instalações, mudando o modo como o trabalho é desenvolvido e facilitando certas tarefas. Para que este trabalho seja devidamente desenvolvido é necessário, não só uma ação colaborativa de todos os intervenientes, mas também a existência de documentação ou uniformidade da documentação do caso em estudo. Em obras onde a metodologia BIM está implementada, a conexão com o FM é mais rápida e simples devido à informação já existente acerca destas. O contributo desta metodologia é deveras importante na elaboração de um projeto já que permite uma uniformização no processo de trabalho, contrariamente ao que acontecia no processo tradicional, onde a gestão das instalações e a restante construção são duas fases independentes. Com a introdução da metodologia BIM-FM, esta discriminação desaparece e o método de processo torna-se uniforme, o que traz maior funcionalidade e utilidade ao Dono de Obra. Relativamente ao Software utilizado, ArchiBUS, torna-se fácil a implementação do BIM-FM porque é possível retirar diretamente a informação do modelo Revit para o servidor e como existe uma relação bidirecional é possível atualizar os dados em ambos os Software. Durante a sua aplicação, é possível aferir que o uso deste tipo de plataformas web colaborativas é muito importante pois permite o acesso e controlo por todos os intervenientes, diretamente implicados na gestão dos ativos.

Referências

- [1] S. Raposo, “A gestão da manutenção de edifícios - Uma introdução ao tema,” Faro, 2012.
- [2] D. Sapp, Facilities Operations & Maintenance. 2013 [Online] Available at: <http://www.wbdg.org/om/om.php> [Accessed: March 15, 2015].
- [3] Azenha, M., Lino, J.C. & Caires, B., “Introdução ao BIM - BIM na Engenharia Civil: Projeto e Construção”. In U. do Minho, ed. Unidade curricular: BIM na Engenharia Civil - Projeto e Construção. Guimarães, 2015.
- [4] A. D. Weise, C. A. Schultz, and R. A. da Rocha, “Facility Management: contextualização e desenvolvimento,” in 11a Conferência Internacional da LARES, 2011.
- [5] J. Moreira, “Manutenção Preventiva de Edifícios - Proposta de um Modelo Empresarial,” Dissertação de Mestrado, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [6] J. Ramos, “Gestão de Instalações,” Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2012.
- [7] A. Nour, “Manutenção de Edifícios - Diretrizes para elaboração de um sistema de manutenção de edifícios comerciais e residenciais,” Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- [8] BS EN 15221-3:2011 “Facility Management. Guidance on quality in Facility Management”, 2012.
- [9] TCMS, “Facilities Management,” 2016. [Online]. Available: <http://www.tcmltd.com/services/facilities-management/>. [Accessed: 20-Sep-2016].
- [10] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas,” Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012, 2012.
- [11] B. Haines, “Ensured Success with a distributed BIM Lifecycle process,” 2015. [Online]. Available: <https://fmsystems.com/blog/distributed-bim/>. [Accessed: 16-Sep-2016].

- [12] I. Rodas, “Aplicação da metodologia BIM na gestão de edifícios, ” Dissertação de Mestrado, Faculdade de engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [13] J. Soares, “A metodologia BIM-FM aplicada a um caso prático,” Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [14] F. Sousa, “A evolução de um modelo BIM de construção para gestão de empreendimentos,” Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2013.
- [15] J. Jauhianen, “COBie enables owners to get serious about asset management,” [Online] Available:<http://www.solibri.com/journal/cobie-enables-owners-get-serious-asset-management/> [Accessed: 18-Out-2016].
- [16] Archibus, “Facilities and Real Estate Management Applications For Every Challenge,” [Online]. Available: <http://www.archibus.com/Applications/>. [Accessed: 17-Sep-2016].
- [17] ARCHIBUS, “ARCHIBUS: Your Integrated Solution for Real Estate, Infrastructure & Facilities Management”, Boston, 2016.
- [18] ArchiFM, ”Wide-ranging functionality in facility management” [Online]. <http://www.archifm.net/>. [Accessed: 17-Sep-2016].
- [19] EcoDomus, “ECODOMUS FM,” 2016. [Online]. Available: <http://ecodomus.com/products/>. [Accessed: 18-Sep-2016].
- [20] EcoDomus, “ECODOMUS FM,” 2016. [Online]. Available: <http://ecodomus.com/products/masonry?style/>. [Accessed: 18-Sep-2016].
- [21] “Take your CAD/BIM data to the next level: FM+BIM Integration,” 2014. [Online]. Available:<http://advancedspatialtechnologies.blogspot.pt/2014/02/fmbim?integration.html>. [Accessed: 19-Sep-2016].
- [22] IBM, “Gestão abrangente de activos empresariais para gestão de manutenção e ciclo de vida de activos,” 2016. [Online]. Available: <http://www-03.ibm.com/software/products/pt/maximoassetmanagement>. [Accessed: 20-Sep-2016].
- [23] STARBOARD CONSULTING, “IBM MAXIMO APPLICATION,” [Online]. Available: <http://starboard-consulting.com/ibm-maximo-software/>. [Accessed: 20-Sep-2016].
- [24] YouBIM, “BIM for Facility Management Cloud-Based Solution,” 2016. [Online]. Available: <http://www.youbim.com/features.html>. [Accessed: 22-Sep-2016].
- [25] ndBIM Virtual Building, “O PROXIMO PASSO EM BIM: GESTAO DE EMPREENDIMENTOS,” 2015. [Online]. Available: <http://ndbim.com/index.php/pt/component/k2/item/5-o-proximo-passo-em-bim-gestao-de-empreendimentos>. [Accessed: 22-Sep-2016].

O BIM NA CERTIFICAÇÃO ENERGÉTICA DE EDIFÍCIOS DE SERVIÇOS

Raul Lana Miguel ⁽¹⁾, Daniel Marcelo Ferreira ⁽²⁾

(1) Universidade do Algarve, Faro

(2) Enerfos, Faro

Resumo

O consumo de energia primária no setor dos edifícios de habitação e de serviços tem vindo a despertar um crescente interesse global, principalmente devido ao grande potencial de poupança disponível através de medidas de melhoria de eficiência energética e da utilização de fontes de energias renováveis.

Existem vários planos de ação para a progressão gradual para edifícios com necessidades quase nulas de energia (nZEB – *nearly Zero Energy Buildings*) a ser implementados em simultâneo nos diversos estados membro da União Europeia. Estas ações decorrem das transposições da Diretiva 2010/31/EU Reformulada (EPBD - *Recast: Energy Performance of Buildings Directive*) tendo em conta o contexto nacional de cada estado membro.

O presente artigo aborda o processo de determinação do desempenho energético de edifícios em Portugal, no contexto regulamentar atual, comparando uma abordagem tradicional com uma abordagem BIM.

São analisados dois processos de certificação energética de edifícios de serviços, comparando os indicadores que determinam a classe energética dos edifícios em estudo e os *workflows* de processo segundo duas metodologias distintas.

Ambas as metodologias recorrem a uma simulação dinâmica multizona com recurso a uma aplicação acreditada pela norma ASHRAE 140. Na abordagem tradicional os *inputs* necessários são obtidos a partir de peças desenhadas em 2D e da informação retirada das memórias descritivas dos respetivos projetos de arquitetura e especialidades. Na abordagem alternativa os *inputs* necessários são retirados de um único modelo criado numa plataforma BIM.

1. Introdução

O Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) entrou em vigor a 04 de abril de 2006 [1]. Este sistema marcou a nova fase da legislação de desempenho energético de edifícios em Portugal e resulta da implementação da Diretiva 2002/91/CE (EPBD) [2]. O sistema tem sido objeto de alterações, sendo que a mais importante resultou da transposição da diretiva 2010/31/EU (EPBD – recast) [3].

Apesar da evolução que o SCE tem sofrido ao longo dos últimos dez anos dois aspetos permanecem inalterados: i) a necessidade de verificar o cumprimento regulamentar e de quantificar o desempenho energético numa fase de projeto e ii) a necessidade de verificar a concordância entre a obra concluída e o projeto aprovado e previamente certificado no âmbito do SCE.

Os indicadores necessários à quantificação do desempenho energético nestes dois momentos são obtidos através de métodos de análise energética dos edifícios (AEE) que são habitualmente executados por especialistas ou peritos qualificados (PQ) registados no SCE.

Os técnicos responsáveis por este tipo de análise têm duas tarefas principais: i) reunir toda a informação relevante para a criação de um modelo energético do edifício e ii) fornecer resultados que apoiem o processo de decisão ao longo das diversas fases do projeto e garantam o cumprimento regulamentar. Este processo envolve habitualmente a utilização de complexas ferramentas de modelação energética, requerendo elevadas cargas de trabalho para a recolha e correta introdução da miríade de dados necessária à simulação do desempenho energético do edifício [4]. A modelação/simulação energética, numa fase prematura do projeto, constitui uma forma eficaz de prever e reduzir consumos energéticos em edifícios de qualquer tipologia. Contudo, ainda é habitual encontrar situações em que a AEE é realizada numa fase avançada de projeto, onde decisões cruciais já foram tomadas e o papel do especialista em energia é apenas o de fornecer os resultados da simulação para efeitos de verificação de cumprimento regulamentar e emissão de pré-certificado energético (PCE).

A possibilidade de simular diferentes cenários de forma a encontrar a melhor alternativa numa fase inicial do projeto não é aproveitada, em virtude da dificuldade e custos envolvidos na modelação energética do edifício. Atualmente a metodologia BIM permite ultrapassar estas barreiras, fornecendo aos utilizadores uma forma de avaliar diversas medidas de melhoria de eficiência energética sem necessitar do processo penoso de reintrodução de toda a geometria e propriedades da envolvente térmica do edifício, espaços, zonas e características dos sistemas de ventilação e climatização necessários para uma análise energética completa [5].

Os planos de ação para alcançar os edifícios nZEB pressupõem a realização de análises de sensibilidade e avaliações de custo ótimo [3]. A possibilidade de realizar uma grande quantidade de simulações de desempenho energético do edifício é fundamental para uma avaliação rápida e economicamente viável das soluções possíveis.

O presente artigo procura dar resposta às seguintes questões:

- É possível realizar simulações de desempenho energético de edifícios (SDEE) válidas baseadas em modelos BIM?
- Essas simulações fornecem os resultados necessários e suficientes para a certificação energética dos edifícios de acordo com a legislação em vigor?
- É mais vantajoso criar um modelo BIM para realizar uma SDEE ou utilizar o processo tradicional (introdução manual de dados na ferramenta de análise/simulação)?

2. A certificação energética de edifícios em Portugal: Conceitos fundamentais

A transposição da diretiva europeia 2010/31/EU (EPBD – recast), já referida, criou um único regulamento para a avaliação do desempenho energético dos edifícios, o Decreto-Lei 118/2013 [14], com o conjunto de despachos e portarias aplicáveis. Apesar da nova legislação constituir uma aparente unificação entre edifícios de habitação (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação – REH) e edifícios de comércio e serviços (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços – RECS), os princípios subjacentes às metodologias de avaliação dos consumos previstos para cada caso são substancialmente distintos.

No REH a avaliação contempla essencialmente a envolvente térmica, o clima local, a ventilação, a exposição solar e baseia-se num balanço de energia calculado numa base média sazonal. Os consumos previstos para o edifício real são depois comparados com os consumos previstos para o edifício nocional ou de referência e do seu rácio resulta a classificação energética cuja escala vai de A+ (mais eficiente) a F (menos eficiente). É interessante verificar a predominância de certificados emitidos com classificação D (Figura 1), de acordo com os requisitos regulamentares de 2016 [6], o que denota dois aspetos relevantes: i) os valores de referência são cada vez mais exigentes (progressão gradual para edifícios com necessidades de energia quase nulas – nZEB) e ii) a situação de pobreza energética (*fuel poverty*) em que se encontra grande parte dos agregados que habitam em edifícios com classificações baixas e sem sistemas de climatização (a metodologia de cálculo assume que o interior das habitações é mantido em condições de conforto – o que nem sempre corresponde à realidade [7]).

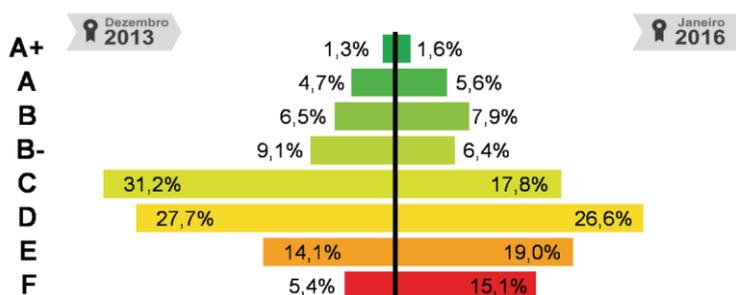


Figura 1: Distribuição de classes energéticas relativas aos certificados emitidos no período compreendido entre dez-2013 a ago-2016 e respeitantes aos edifícios de habitação (Fonte e elaboração: ADENE).

Por outro lado, nos edifícios de serviços, objeto do presente estudo, a regulamentação atual do SCE introduz modificações importantes na metodologia de cálculo dos consumos previstos e da classificação energética. Esta última deixa de ser baseada em condições nominais de funcionamento, numa lógica de *benchmarking*, e passa a ser efetuada em condições reais, considerando a envolvente térmica, o clima local, a ventilação, a exposição solar do edifício em estudo, comparando os consumos deste com aqueles do edifício notional ou de referência (Figura 2).

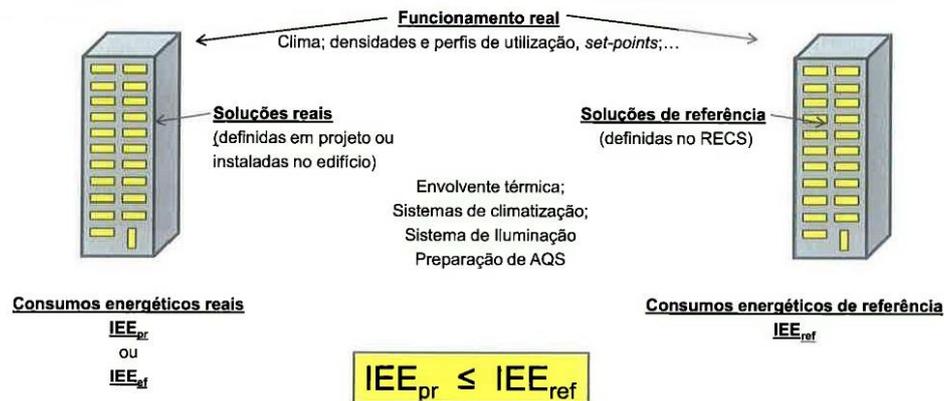


Figura 2: Classificação energética de um edifício de serviços com base nos IEE (Fonte e elaboração: ADENE).

As principais diferenças em relação ao REH são:

- As médias sazonais são substituídas por valores horários para um ano típico;
- Os consumos ligados à iluminação artificial são calculados e considerados para efeitos de classificação energética do edifício;
- Os ganhos internos passam a depender da utilização e afetam a classificação energética do edifício;
- Nem sempre um aumento de isolamento da envolvente térmica corresponde a uma redução do consumo global de energia primária, e.g. edifício com elevados ganhos internos em que a diminuição da possibilidade de dissipar calor pela envolvente conduz a maiores consumos de arrefecimento;
- Todos os consumos são avaliados e convertidos em energia primária por área de pavimento formando o Indicador de Eficiência Energética (IEE) expresso em $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$;
- Nem todos os consumos afetam diretamente a classificação energética do edifício, porém são todos indicados no Certificado Energético.

Existe a possibilidade de basear o cálculo em consumos efetivos, mas essa metodologia sai for do âmbito do presente estudo. Este contempla apenas edifícios novos ou, quando enquadrados como existentes no âmbito do SCE, sem um histórico de consumos documentado i.e. sem faturas de fornecedores de energia ou campanhas de monitorização.

3. Análise do desempenho energético de edifícios de serviços baseada em BIM

Atualmente existem mais de 40 ferramentas de simulação do desempenho energético de edifícios (SDEE) [8] com capacidade para simulação multizona e em conformidade com a norma ASHRAE 140 [9]. A maioria das ferramentas de simulação são compostas por duas partes: i) uma interface gráfica de utilizador (IGU) e ii) um algoritmo de simulação para o cálculo dos consumos energéticos.

A realização de uma simulação válida requer a introdução direta dos dados que caracterizam o edifício em estudo tais como a envolvente térmica (geometria e soluções construtivas), dados meteorológicos locais em formato normalizado, características dos sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (AVAC), perfis de operação para as diversas tipologias de utilização do edifício, cargas e ganhos internos por espaço (ocupação, iluminação e equipamentos) e tarifas dos comercializadores de energia. Esta informação encontra-se normalmente dispersa por peças escritas e desenhadas dos projetos de arquitetura e especialidades do edifício, especificações técnicas de fabricantes, levantamentos fotográficos, relatórios de peritagem, etc. (Figura 3-a). Os ficheiros de dados de entrada que contêm a informação relevante são lidos pelo algoritmo de simulação de forma a calcular as cargas térmicas do edifício e os consumos de energia final e primária associados ao edifício em estudo.

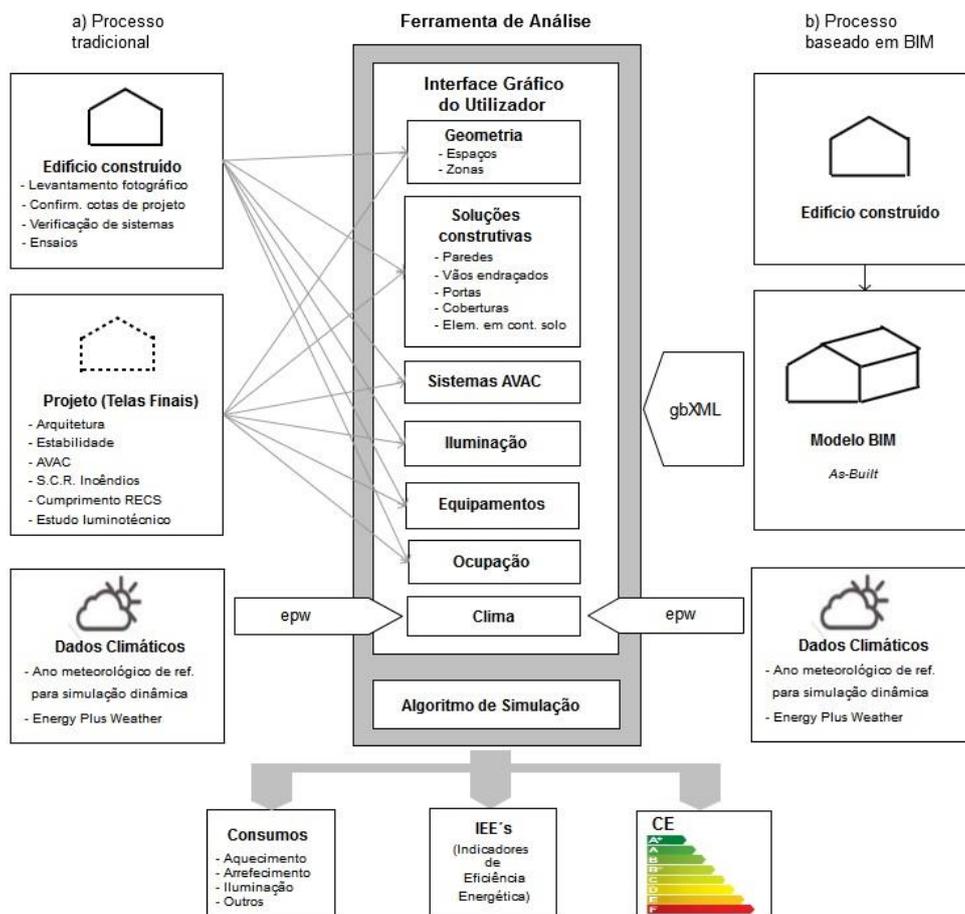


Figura 3: Fluxos de informação necessários à ferramenta de análise.

A certificação energética exige ferramentas de análise específicas. A diferença principal está no nível de detalhe exigido pelos regulamentos, principalmente na caracterização dos equipamentos. Por outro lado, a possibilidade de integrar algoritmos de cálculo no ambiente nativo de modelação geométrica permite obter um rápido feedback sobre os indicadores de desempenho energético ao longo do processo de conceção. Estes aspetos encontram-se definidos de uma forma clara por Negendahl [12], onde se defende que os utilizadores das ferramentas/plataformas de modelação geométrica (tipicamente arquitetos) têm necessidades substancialmente diferentes dos utilizadores de ferramentas de simulação de desempenho energético (tipicamente engenheiros). A utilização de ferramentas distintas conduz a uma deficiente convergência entre modelos geométrico e analítico (Figura 4) com consequências difíceis de acomodar em processos de desenvolvimento com alterações frequentes.

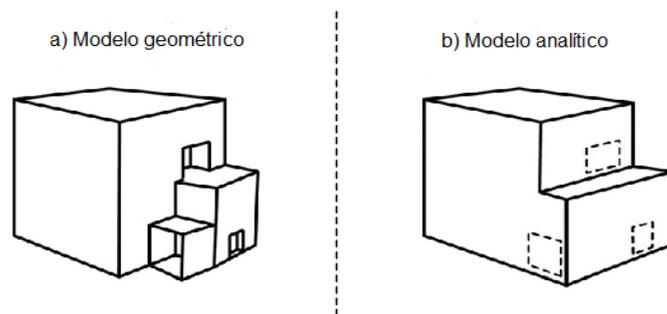


Figura 4: Divergências entre modelos geométrico e analítico, resultantes da introdução manual de dados (Fonte e elaboração: Negendahl [12]).

A solução parece residir numa maior integração entre as ferramentas de conceção e de simulação, o que nem sempre é fácil atendendo aos condicionalismos já expostos. Algumas das ferramentas de simulação de desempenho energético existentes (e.g. Green Building Studio, DesignBuilder, Hevacomp, eQUEST, HAP e IES <VE>) já permitem um grau de interoperabilidade aceitável com as principais plataformas de modelação BIM (e.g. Revit, Bentley e ArchiCAD). A interoperabilidade plataforma/ferramenta é garantida através de estruturas de dados normalizadas (schemas) do tipo Industry Foundation Classes (IFC) ou Green Building XML (gbXML), tendo-se esta última tornado na estrutura normalizada de facto da indústria, suportada pelas principais empresas de *software* tais como Autodesk, Graphisoft, e Bentley [22]. A CYPE tem vindo a desenvolver ferramentas de SDEE baseadas no EnergyPlus e apresentou recentemente um ambiente de desenvolvimento integrado baseado em BIM, com incorporação de metodologias de cálculo compatíveis com a regulamentação em vigor [14].

Com o caso de estudo proposto, procura-se dar uma resposta às questões formuladas na introdução e ao mesmo tempo dar alguns exemplos concretos que ajudem a entender de que forma se pode melhorar a convergência entre o modelo geométrico e o modelo analítico, sempre com o foco na certificação energética de edifícios de serviços.

Pretende-se calcular os consumos previstos e de referência para um edifício classificado como grande edifício de comércio e serviços (área superior a 1000 m²) através da utilização da ferramenta de análise Hourly Analysis Program (HAP), desenvolvida pela Carrier [13]. Esta ferramenta é amplamente utilizada principalmente pelas seguintes razões: i) cumpre os

requisitos da norma ASHRAE 140 [9], ii) o nível de detalhe é compatível com as exigências regulamentares [14] e iii) é fácil avaliar medidas de melhoria de desempenho energético baseadas na operação dos equipamentos (e.g. técnicas de arrefecimento noturno com ar novo, ajuste de set-points de climatização e iluminação, etc.).

O edifício em questão já tinha sido objeto de certificação energética, com obtenção dos indicadores relevantes através do processo tradicional (esquematizado na figura 3-a). Foi necessário criar um modelo BIM do edifício para poder chegar aos resultados necessários a uma nova certificação energética através do processo esquematizado na figura 3-b. O modelo BIM foi desenvolvido de raiz na plataforma Revit 2017, a partir das telas finais do projeto de arquitetura, da informação relevante dos projetos de especialidades e de inspeções pontuais no edifício construído.

Uma das principais vantagens do processo de transferência de informação através de importação/exportação por ficheiro gbXML é a verificação de coerência entre o modelo BIM e o modelo de simulação, que pode ser executada em qualquer altura através da comparação entre tabelas obtidas na plataforma BIM e na ferramenta de análise. Esta vantagem é especialmente valorizada em edifícios com geometrias complexas e em ferramentas de análise que não permitem uma visualização tridimensional do modelo de simulação. As figuras 5 e 6 ilustram este aspeto.

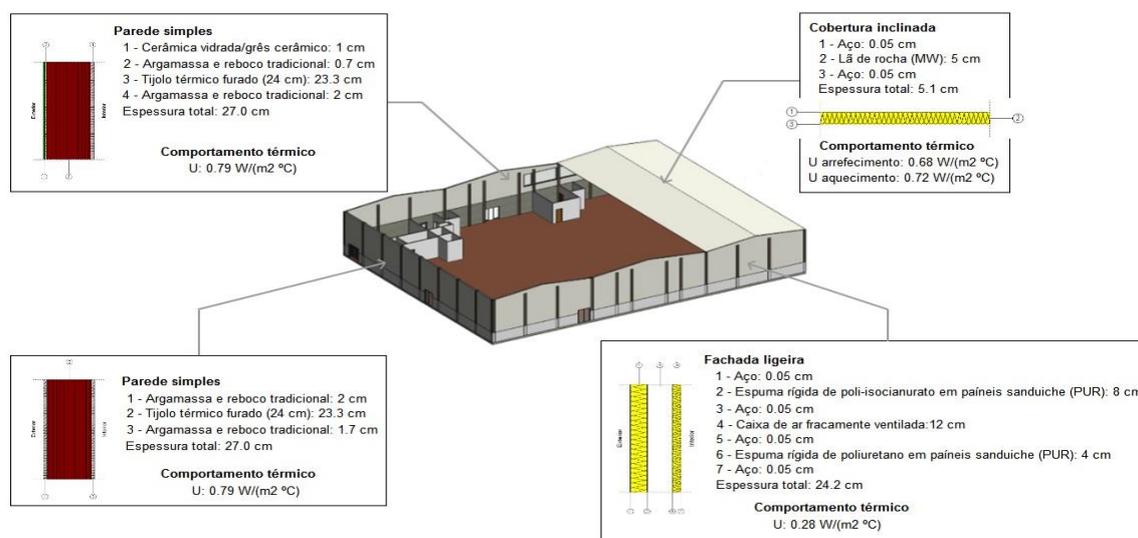


Figura 5: Soluções construtivas da envolvente térmica.

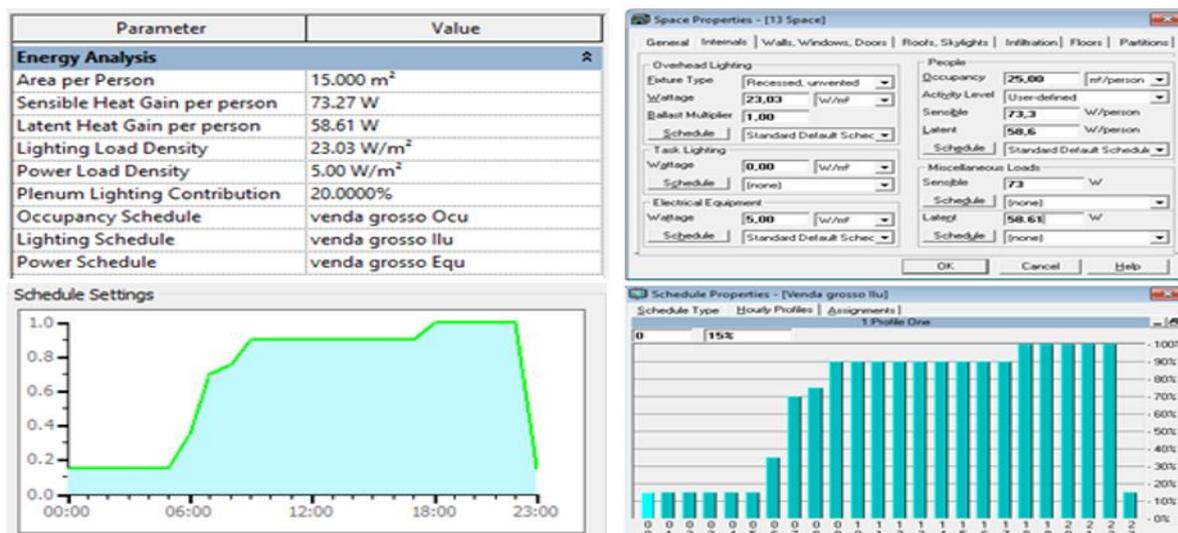


Figura 6: Densidades e perfis por espaço (Revit 2017 e HAP 4.8).

3.1 Limitações de interoperabilidade

Foram detetados alguns problemas de interoperabilidade entre a plataforma BIM (Revit 2017) e a ferramenta de análise (HAP 4.80). Estes podem ser descritos em dois tipos principais: i) incongruência entre superfícies analíticas da envolvente térmica do edifício e ii) perda de parâmetros analíticos em elementos de algumas categorias.

No tipo i) constatou-se que as coberturas eram consideradas como elementos de sombreamento, não pertencendo à envolvente térmica do modelo analítico. A forma de contornar este problema consistiu em aumentar o limite superior dos espaços definidos no Revit para que estes incluíssem as coberturas. O cálculo de áreas e volumes não foi afetado pois as coberturas tinham o constrangimento de “*room bounding*” verificado.

No tipo ii) o problema principal envolveu a categoria das janelas e a perda das propriedades analíticas dos vãos envidraçados durante o processo de exportação para o ficheiro gbXML. A forma prática de resolver o problema foi a edição direta dos parâmetros na interface do HAP. Trata-se de um procedimento expedito uma vez que os vãos envidraçados são caracterizados apenas por dois parâmetros, o coeficiente de transmissão superficial de calor do vão U, expresso em W/(m².K) e o fator de sombreamento (*shading coefficient* – SC), adimensional e que se relaciona com o fator solar (*solar heat gain coefficient* – SHGC) através da expressão $SHGC = 0,87 SC$. Foi apenas necessário introduzir estes dois parâmetros para cada tipo de vão envidraçado no modelo analítico e todos os elementos foram atualizados. O inconveniente que daí resultou foi a criação de alguma divergência entre o modelo BIM e o modelo analítico [12] uma vez que a informação relevante para efeitos de desempenho energético passou a residir apenas no modelo analítico.

Um problema mais difícil de contornar consiste nas limitações existentes nas propriedades de alguns elementos. No presente caso de estudo salientam-se duas categorias de elementos utilizados: vãos envidraçados e sistemas AVAC. Para ambas as categorias o Revit 2017 assume um conjunto de soluções construtivas ou tipologias pré definidas e assume que os

elementos/objetos utilizados deverão pertencer a uma delas. Mais uma vez a necessidade de contornar este problema através da edição manual de parâmetros na interface da ferramenta de análise revela-se como a única forma de chegar a resultados fiáveis.

É importante salientar que apesar da disponibilidade crescente de objetos modelados pelos respetivos fabricantes, com níveis de desenvolvimento (LOD) elevados (e.g. bim object [19], autodesk seek [20]), ainda se encontram omissos muitos dos parâmetros necessários à análise de desempenho energético, deixando ao utilizador a responsabilidade de definir os mesmos e reunir as evidências necessárias ao seu suporte.

3.2 Controlo de qualidade do modelo analítico

Como já foi referido, a forma expedita de verificar a convergência da envolvente térmica entre modelo de arquitetura e modelo analítico consiste na comparação de tabelas (*schedules*) obtidas na plataforma de modelação e na ferramenta de análise.

O Revit 2017 não permite a segregação de superfícies da envolvente térmica vertical (paredes, janelas, portas) por orientação. Este facto limita de forma significativa quer a verificação de convergência quer a obtenção de informação necessária ao processo de certificação. Foi necessária a criação de um parâmetro adicional para conter a informação relativa à orientação das referidas superfícies. O cálculo automático a partir das coordenadas do vetor normal a cada superfície e posterior cálculo do seu azimute foi efetuado a partir de programação visual através da aplicação Dynamo 1.1.0 (Figura 7).

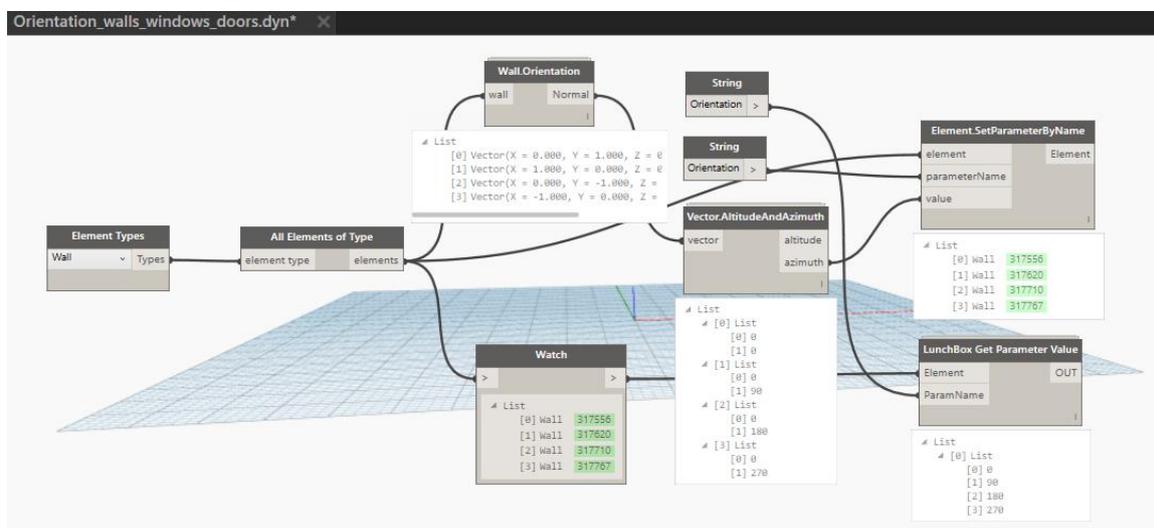


Figura 7: Cálculo do parâmetro orientação através de programação visual.

Na figura 8 compara-se a tabela de áreas totais de envolvente exterior do modelo de arquitetura, com as orientações agrupadas por azimute (valor expresso em graus) com uma tabela de áreas de envolvente exterior de um espaço do edifício, com as orientações agrupadas por setores de azimute com uma amplitude de 45° (N/NE/E/SE/S/SO/O/NO).

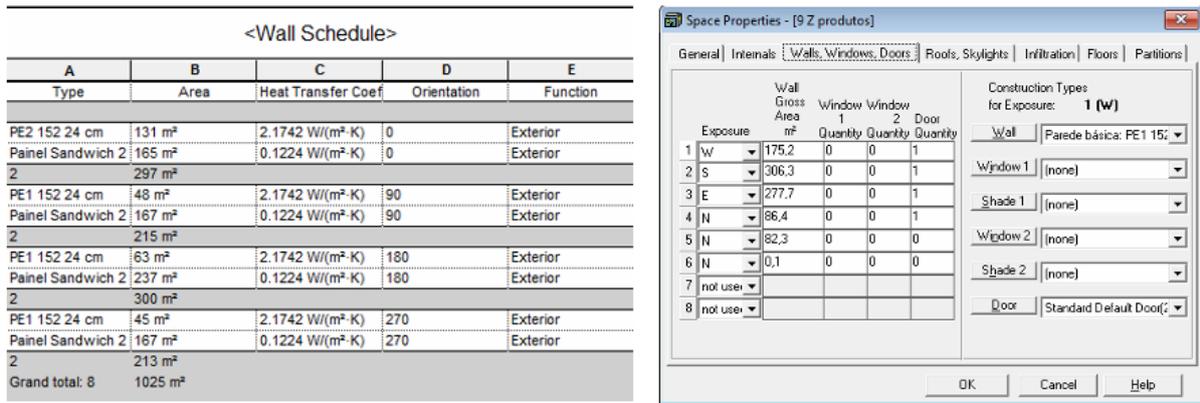


Figura 8: Tabelas de paredes agrupadas por orientação (Revit 2017 e HAP 4.8).

Uma forma de realizar um controlo de qualidade mais abrangente e eficaz consiste na utilização de visualizadores gbXML adequados. Desta forma é possível verificar a convergência entre modelo de arquitetura e modelo analítico em todas as vertentes relevantes. No caso em estudo utilizou-se o FZK Viewer [21] (Figuras 9 e 10), permitindo uma rápida verificação da geometria (envolvente e espaços), da coerência entre soluções construtivas e dos perfis associados a cada espaço (ocupação, iluminação e equipamentos).

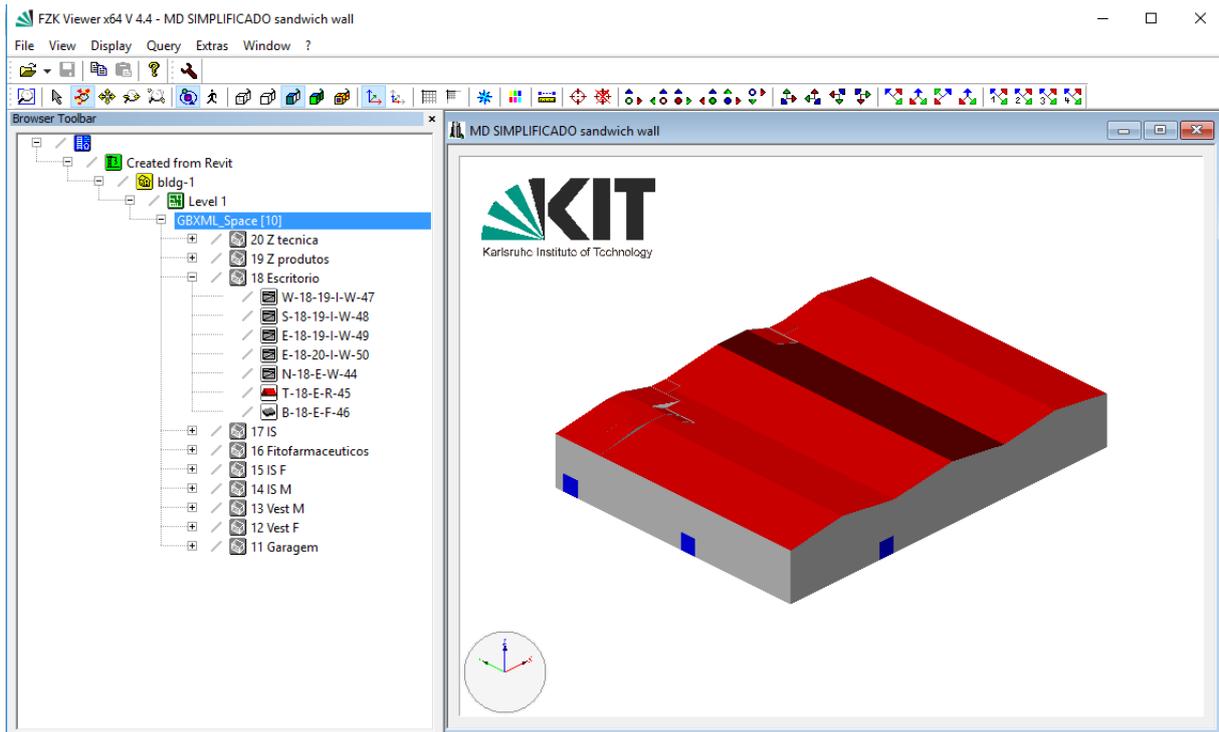


Figura 9: Controlo de qualidade com visualizador gbXML (envolvente e espaços).

Query Construction Parameter

Construction	Variable	Value	Unit
⊕ aim0672	Piso: Pavimento		
⊖ aim0706	Parede básica: Pannel Sandwich 242 cm		
	uValue	0.1211905	WPerSquareMeterK
	Roughness	VeryRough	
	Absorptance	0.1	Fraction
	ExtIR		
⊖ Layer			
⊖ aim0710			
⊖ Material			
⊕ aim0711	Aço: 1 [mm]		
⊖ Material			
⊖ aim0718	Isolamento XPS: 79 [mm]		
	Thickness	0.079	Meters
	R-Value	2.257143	SquareMeterKPerW
	Density	23	KgPerCubicM
	Specific Heat	1470	JPerKgK
	Conductivity	0.035	WPerMeterK
⊖ Material			
⊕ aim0725	Air: 122 [mm]		
⊖ Material			
⊕ aim0732	Isolamento XPS: 39 [mm]		
⊖ Material			
⊕ aim0711	Aço: 1 [mm]		
⊕ aim0741	Parede básica: Interior - 15		
⊕ aim0769	Telhado básico: COBI 152 RW 5		
⊕ aim0790	Parede básica: Interior - 15		

Figura 10: Controlo de qualidade com visualizador gbXML (soluções construtivas).

4. Resultados

A simulação dinâmica multizona foi efetuada através da ferramenta HAP 4.80 [13]. Esta simulação procura traduzir o consumo anual de energia do edifício com base na localização do edifício, nas características da envolvente, na eficiência dos sistemas técnicos e nos perfis de utilização previstos para o edifício.

No modelo de simulação foram consideradas diversas zonas térmicas tendo em conta os seguintes critérios: sistemas de climatização, exposição solar, cargas internas, perfis de utilização e controlo.

Tabela 1: Consumos anuais de energia por utilização (Referência).

	Simulação tradicional (kWh)	Simulação baseada em BIM (kWh)
Aquecimento	21181	20374
Arrefecimento	21922	22989
Iluminação	75751	77528
Equipamentos	29035	29750

Tabela 2: Consumos anuais de energia por utilização (Previstos).

	Simulação tradicional (kWh)	Simulação baseada em BIM (kWh)
Aquecimento	15202	14873
Arrefecimento	12458	14324
Iluminação	24615	25228
Equipamentos	29035	29750

Tabela 3: Parâmetros de cálculo da classe energética.

	IEE_{pr,S} (kWh_{EP}/m².ano)	IEE_{REN} (kWh_{EP}/m².ano)	IEE_{ref,S} (kWh_{EP}/m².ano)
Simulação tradicional	148,4	1,0	270,2
Simulação baseada em BIM	153,5	1,0	272,0

Tabela 4: Classe energética.

	Classe Energética	Intervalo de R_{IEE}	R_{IEE}
Simulação tradicional	A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$	0,46
Simulação baseada em BIM	A	$0,26 \leq R_{IEE} \leq 0,50$	0,47

5. Conclusões

A possibilidade de quantificar o desempenho energético de um edifício de serviços numa fase inicial do projeto constitui uma das vantagens principais da utilização de uma abordagem BIM. Para que essa quantificação seja compatível com as exigências regulamentares do SCE é necessário um nível de detalhe que obriga à utilização de determinadas ferramentas SDEE em detrimento de outras.

A realização do presente estudo permitiu retirar as seguintes conclusões:

- Foi possível realizar uma SDEE válida para o caso em estudo com a informação relevante retirada do modelo BIM especialmente criado para o efeito.
- Os resultados da simulação foram suficientes para a emissão de um certificado energético de acordo com a legislação em vigor.

- Compararam-se os recursos necessários em termos de tempo e esforço para a certificação energética do edifício em estudo através dos dois métodos (tradicional e baseado em modelo BIM) e foi possível constatar que para um utilizador com conhecimentos de modelação BIM de nível médio os dois métodos apresentam um consumo de recursos equivalente. Conclui-se assim que é preferível a criação de um modelo BIM do edifício a simular e a certificar, nos casos em que este não exista.

As soluções de integração e de interoperabilidade entre plataformas de modelação BIM e ferramentas de análise de SDEE estão em constante evolução e a possibilidade de criar modelos dinâmicos integrados entre elas, através de linguagens de programação visual [12] (e.g. Dynamo [16], Grasshopper [17] e GenerativeComponents [18]) constitui uma área de investigação bastante vasta e interessante.

Referências

- [1] Decreto-Lei nº 78/2006 Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), D.R. I Série A nº 67 (2004-03-19) p. 2411-2415.
- [2] Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios, Jornal Oficial das Comunidades Europeias.
- [3] Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010 relativa ao desempenho energético dos edifícios (reformulação), Jornal Oficial da União Europeia.
- [4] H. Kim, Z. Shen, I. Kim, K. Kim, A. Stumpf, and J. Yu, "BIM IFC information mapping to building energy analysis (BEA) model with manually extended material information," *Automation in Construction*, vol. 68, pp. 183-193, 8// 2016.
- [5] A. Stumpf, H. Kim and E. Jenicek, "Early design energy analysis using building information modeling technology," Relatório Técnico, US Army Corps of Engineers, ERDC/CERL TR-11-41, 2011.
- [6] ADENE, Agência para a Energia, Informação retirada de um certificado energético emitido em 22/09/2016.
- [7] S. M. C. Magalhães and V. M. S. Leal, "Characterization of thermal performance and nominal heating gap of the residential building stock using the EPBD-derived databases: The case of Portugal mainland," *Energy and Buildings*, vol. 70, pp. 167-179, 2// 2014.
- [8] J. B. Kim, W. Jeong, M. J. Clayton, J. S. Haberl, and W. Yan, "Developing a physical BIM library for building thermal energy simulation," *Automation in Construction*, vol. 50, pp. 16-28, Feb 2015.
- [9] ANSI/ASHRAE, "ASHRAE 140:2001 Standard method of test for the evaluation of building energy analysis computer programs," American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers" (ASHRAE), 2001.
- [10] Green Building Studio, v. 2016.180.35.7 (DOE-2.2-48r), <http://gbs.autodesk.com>, acessado em 23/09/2016.
- [11] Autodesk, Revit, <http://www.autodesk.com/products/revit-family>, acessado em 23/09/2016.
- [12] K. Negendahl, "Building performance simulation in the early design stage: An

- introduction to integrated dynamic models," *Automation in Construction*, vol. 54, pp. 39-53, 6// 2015.
- [13] Carrier Corporation, Hourly Analysis Program v. 4.80.0.30 – International Edition.
 - [14] Decreto-Lei nº 118/2013 Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE), Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), D.R. I Série nº 159 (2013-08-20) p. 4988-5005.
 - [15] CLIMAS-SCE - Software para o Sistema Nacional de Certificação de Edifícios, <http://www.lneg.pt/servicos/328/2263/>, acessado em 23/09/2016.
 - [16] Dynamo v. 1.1.0.2094, <http://dynamobim.org>, acessado em 23/09/2016.
 - [17] Grasshopper, <http://grasshopper3d.com>, acessado em 23/09/2016.
 - [18] Generative Components, <https://www.bentley.com/en/products/product-line/modeling-and-visualization-software/generativecomponents>, acessado em 23/09/2016.
 - [19] Bimobject, <http://bimobject.com/pt>, acessado em 23/09/2016.
 - [20] Autodesk Seek, <http://seek.autodesk.com>, acessado em 23/09/2016.
 - [21] Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Applied Science, FZKViewer v. 4.4, 05/05/2015 (Build 837)
 - [22] E. Guzmán Garcia and Z. Zhu, "Interoperability from building design to building energy modeling," *J. Build. Eng.*, vol. 1, pp. 33–41, 2015.

ÍNDICE DE AUTORES

- Alexandre Marques – 163, 173
Alfredo Soeiro – 419
Ana Alves – 527
Ana Quintela – 153
Ana Silva – 87
Ana Tomé – 513
André Ferreira – 163, 173
André Monteiro – 69, 77, 209
André Reis Antunes – 463, 547
André Santos – 381
André Silva – 19
Anne-Marie Mushamalirwa – 463
António Aguiar Costa – 463, 547, 567
António Leitão – 239, 251, 285
António Lopes – 501
António Raposo – 57
Armando Pinto – 309
Bruno Caires – 33
Bruno Costa – 381
Bruno Ferreira – 251
Carlos Canelhas – 57
Celso Lima – 173
Cláudio Carvalho – 567
Cláudio Gomes – 185, 381
Daniel Marcelo Ferreira – 601
Daniela Silva – 87
Diana Bastos Silva – 559
Dinis Leitão – 437
Diogo Coelho – 437
Diogo Drumond – 19
Diogo Ribeiro – 381
Fábio Alexandre Matoseiro Dinis – 45
Fernanda Rodrigues – 309, 527, 579
Fernando F.S. Pinho – 143
Flávio Silva – 87
Francisco Reis – 33, 153
Francisco Teixeira Bastos – 239, 321
Gabriel Lopes – 297, 359
Henrique Nunes – 143
Hugo Pina – 579
Hugo Rodrigues – 527, 579
Inês Caetano – 239
Joana Araújo – 475
João Fernandes – 343
João Frescata Pereira – 513
João Lima – 77
João M. Barroso – 121
João Morgado – 437
João Oliveira – 19
João Pedro Couto – 153, 195, 333, 409, 427,
437, 475, 589
João Poças Martins – 45, 419, 395
Joaquim Danado – 109
Jorge de Mello Vieira – 219, 537
Jorge G. Fernandes – 121
Jorge M. Branco – 121

José Carlos Lino – 33, 185, 195, 227, 333, 343, 409, 475, 489, 559, 589
José Cidades – 57
José Pinto–Faria – 559
Juliana Fernandes – 427
Kamar Aljundi – 309
Luís Coroado – 501
Luís M. P. Rodrigues – 77, 219, 537
Luís Pedro Bidarra – 333
Luís Ribeirinho – 77, 209
Luís Sanhudo – 395
Luísa M. S. Gonçalves – 227, 567
Manuel Tender – 427
Maria Helena Teixeira – 501
Maria João Falcão Silva – 143, 451
Martim Bernardo Ribeiro – 99, 371
Miguel Azenha – 131, 163, 195, 333
Miguel Chichorro Gonçalves – 99, 371
Miguel Conceição – 209
Miguel Pires – 69
Miguel Sales Dias – 501
Nuno Lacerda – 33
Nuno Pires – 489
Paula Couto – 143, 451
Pedro Mêda Magalhães – 99
Pedro Mota da Silva – 579
Pedro Rocha – 371
Pedro Santiago – 275
Pedro Serra – 57
Rafael Vieira – 263
Raquel Matos – 527
Raul Lana Miguel – 601
Ricardo Resende – 501
Ricardo Santos – 185, 343
Rita Rebelo Póvoas – 321
Rodrigo Giollo – 451
Rodrigo Sacadura – 501
Rosaldo Rossetti – 131
Ruben Santos – 547
Rui Dias – 87
Rui Gavina – 381
Sara Eloy – 501
Sofia Feist – 285
Sofia Henriques – 77, 219, 537
Taisiia Mitina – 227
Tiago Gouveia – 409
Vítor Mineiro – 131
Wilson Dias – 589



Universidade do Minho
www.ptbim.org