



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

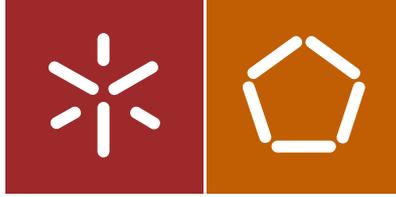
Juliana Araújo Fernandes

Gestão do estaleiro da
construção do túnel do Marão

Juliana Araújo Fernandes
Gestão do estaleiro da
construção do túnel do Marão

UMinho | 2017

novembro de 2017



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Juliana Araújo Fernandes

Gestão do estaleiro da
construção do túnel do Marão

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor João Pedro Couto

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor João Pedro Couto, pelo apoio, disponibilidade e compreensão ao longo desta jornada. Pelo saber que transmitiu e ajuda na resolução de problemas que surgiram.

Ao Engenheiro Manuel Tender também pela disponibilidade e pela oportunidade que me deu de visitar o túnel do Marão nas fases finais da sua conclusão.

À empresa Teixeira Duarte por disponibilizar todos os documentos necessários para a realização deste trabalho.

Ao Arquiteto Luís Santos pela ajuda na primeira fase da modelação do estaleiro.

Aos meus pais, irmão e cunhada por me apoiarem incondicionalmente todos os dias, pela dedicação e por acreditarem em mim. O vosso exemplo de força e coragem é uma inspiração.

À minha madrinha, Carla Ferreira, pela ajuda e apoio não só ao longo deste trabalho, mas em toda a minha vida. Tenho muito orgulho em ser a tua única afilhada.

Ao resto da minha família, primas, primos, tias e tios, por esta união sem igual. Com vocês tudo é muito mais fácil.

À Joana Magalhães pela amizade de longa data, pelas palavras de incentivo e carinho e por me ajudar a superar momentos difíceis.

Aos meus amigos, aldeões e não aldeões, pelo companheirismo, por me fazerem rir e pela oportunidade de me deixarem fazer parte da vossa vida.

A todos o meu profundo e sincero obrigada...

RESUMO

O mercado está em constante evolução e uma causa disso é a procura constante de métodos, produtos e serviços inovadores. É do interesse das empresas manter a competitividade entre si atendendo às novas exigências que são pedidas. Esta é uma forma de proporcionar aos clientes melhores condições de oferta. Assim, as empresas devem submeter-se a uma constante atualização dos mercados de maneira a melhorar as suas próprias metodologias de trabalho. Este assunto não deixa de ser importante para a gestão de estaleiros uma vez que a deficiente organização dos mesmos é uma das causas de acidentes de trabalho relativos à construção, por isso, é importante encontrar novos métodos de gestão que ajudem na melhoria daqueles aplicados atualmente. O estaleiro aqui estudado é referente ao da construção do túnel do Marão e em obras como esta, de elevada envergadura e complexidade, há mais probabilidade de ocorrência de erros que conduzem, eventualmente, a acidentes de trabalho. Com o propósito de contrariar este conceito vem este estudo que se foca na importância que um estaleiro gerido de uma forma otimizada, utilizando o BIM, representa para um maior controlo da segurança no decorrer da obra. Sendo assim, o grande objetivo desta dissertação é a utilização das tecnologias BIM na gestão de estaleiros e mostrar que este é um método completo e inovador que poderá ajudar a melhorar os sistemas utilizados no quotidiano de hoje. Para o desenvolvimento do estudo recorreu-se à modelação tridimensional do estaleiro para obter uma visualização o mais parecida possível com a realidade. Com a referida visualização torna-se exequível a manipulação do estaleiro conforme as necessidades no decorrer da obra, ajudando a gerir o espaço, a circulação de viaturas e trabalhadores e o armazenamento de materiais e equipamentos. Com esta abordagem, o controlo do estaleiro é maior de modo a possibilitar a prevenção e previsão de riscos, conduzindo ao aumento da segurança dos intervenientes. É importante referir que a modelação foi realizada após montagem do estaleiro, o que não torna menos relevante para o estudo de novas técnicas de gestão e proporcionar, no futuro, o uso das mesmas. Como resultado apresenta-se uma análise crítica ao uso do BIM na gestão dos estaleiros de construção, analisando a sua influência nos mesmos em termos de prevenção na área da segurança e saúde.

Palavras-Chave: Metodologia BIM; Gestão da construção; Segurança e saúde; Riscos.

ABSTRACT

The market is constantly evolving and the reason for this is the constant search for innovative methods, products and services. It is in the interest of the companies to remain competitive among them, always attending to the new demands. This is a way of providing customers better offer conditions. Thus, companies must undergo a constant updating of the markets in order to improve their own working methodologies. This issue is important for the management of shipyards since poor organization is one of the causes of work accidents related to construction; so, it is important to find management methods that help improve those currently applied. The shipyard studied here is related to the construction of the Marão tunnel and in works such as this one, of great scale and complexity, errors that eventually lead to accidents at work are more likely to occur. In order to counteract this concept, this study focuses on the importance that an optimally managed shipyard, using BIM, represents for a greater control of safety during the construction. Therefore, the main objective of this dissertation is to use BIM technologies in the management of shipyards and show that this is a complete and innovative method that can help improve the systems used in today's everyday life. For the development of the study three-dimensional modelling of the yard was used to obtain a visualisation as close as possible to reality. With this visualisation, it is possible to manipulate the shipyard according to the needs, helping to manage the space, the movement of vehicles and workers and the storage of materials and equipment. With this approach, the control of the yard is greater in order to enable, prevent and predict risks, leading to increased stakeholder safety. It is important to mention that the modelling was performed after the construction of the site, which makes it no less relevant for the study of new management techniques and, in the future, make possible the use of these techniques. As a result, a critical analysis of the use of BIM in the management of construction sites is presented, analysing their influence on them in terms of prevention in the area of safety and health.

Key-words: BIM methodology; Construction management; Safety and Health; Risks.

ÍNDICE GERAL

1	Introdução.....	15
1.1	Enquadramento	15
1.2	Objetivo do trabalho	17
1.3	Estrutura da dissertação	18
2	Metodologia.....	19
3	Estado da Arte	21
3.1	Enquadramento	21
3.2	BIM - Building Information Modeling.....	21
3.3	A implementação do BIM.....	24
3.3.1	Em Portugal	25
3.3.2	No mundo	26
3.3.3	Conclusão	30
3.4	Segurança e Saúde em obras subterrâneas.....	32
3.4.1	Conclusão	33
3.5	O BIM para a segurança e saúde.....	34
3.5.1	Planos de segurança e saúde.....	34
3.5.2	O planeamento e a comunicação	40
3.5.3	Impactos das ferramentas BIM nos estaleiros da construção	43
3.5.4	Conclusão	44
3.6	Realidade virtual	44
3.7	O BIM e o ambiente.....	46
3.7.1	Planeamento e gestão ambiental.....	47
3.7.2	Utilização do BIM para minimização de resíduos.....	48
3.7.3	Conclusão	50
3.8	Os custos da utilização do BIM	51
3.9	Desvantagens na utilização do BIM	52
3.10	Conclusão.....	53

4	estaleiro da construção do túnel do marão	55
4.1	Enquadramento.....	55
4.2	Implementação dos estaleiros.....	55
4.2.1	Dificuldades e restrições	55
4.3	Medidas preventivas implementadas em obra.....	61
4.3.1	Barreiras entre vias.....	61
4.3.2	Escadas e passadiços	62
4.3.3	Delimitação de estradas com declive	63
4.3.4	Manutenção de equipamentos de proteção coletiva.....	63
4.4	Caracterização das instalações	63
4.4.1	Estaleiro nascente.....	64
4.4.2	Estaleiro poente.....	66
5	Análise de resultados	69
5.1	Cruzamento entre veículos e pessoas	69
5.2	Cruzamento entre veículos	70
5.3	Controlo na entrada do estaleiro.....	71
5.4	Otimização do espaço.....	72
5.5	Simultaneidade de tarefas.....	72
6	Discussão dos resultados.....	75
6.1	Dificuldades encontradas	76
7	Conclusões e estudos futuros	79
7.1	Conclusões.....	79
7.2	Estudos futuros	80
	Referências.....	81
	Anexos	85
	Anexo A – Vista geral do estaleiro nascente	87
	Anexo B – Vista geral do modelo.....	89
	Anexo C – Vista geral do estaleiro poente.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Processo colaborativo do BIM	22
Figura 2 - Comparação do processo de construção entre os processos 2D e a metodologia BIM centrada no IFC	22
Figura 3 – Modelo BIM do projeto de residências para o Campus Oeste da Universidade de Miami	23
Figura 4 – Visualização de conflitos utilizando o BEXEL software.....	24
Figura 5 – Dimensões BIM	24
Figura 6 – Uso do BIM nos diferentes países.....	27
Figura 7 – Grau de envolvimento das empresas com o BIM	28
Figura 8 – Relação de envolvimento BIM com o tamanho das empresas.....	29
Figura 9 – Previsão de crescimento das empresas com níveis de qualidade de implementação do BIM alta ou muito alta.....	29
Figura 10 – As três principais vantagens do uso do BIM identificadas pelas empresas	30
Figura 11 – Colocação da armação de aço e zona de trabalho da grua no plano de gestão de guindastes	36
Figura 12 – Simulações de escavação 4D	36
Figura 13 – Modelação do sistema de proteção contra quedas	37
Figura 14 – Simulação da construção da cobertura usando o modelo BIM 4D	37
Figura 15 – Plano de ação de emergência: a) Instruções do fluxo do trânsito; b) Caminho de chegada da ambulância.....	38
Figura 16 – Simulação das atividades de grua	45
Figura 17 - Trabalhador debaixo de uma carga elevada.....	46
Figura 18 – Percentagem de empresas com retorno de investimento positivo do BIM	52
Figura 19 – Diagrama da sequência de construção do MES	56
Figura 20 – Estaleiro nascente.....	57
Figura 21 – Acesso ao estaleiro nascente	57
Figura 22 – Detalhe do entroncamento da N15 com o acesso ao estaleiro	58
Figura 23 – Estaleiro nascente entre encostas	58
Figura 24 – Estaleiro poente entre encostas	59
Figura 25 – Estaleiro poente.....	60

Figura 26 – Separação entre vias de circulação	61
Figura 27 – Separação entre vias de circulação	62
Figura 28 – Escadas de acesso	62
Figura 29 – Delimitação das estradas	63
Figura 30 – Instalações do estaleiro nascente em dwg	64
Figura 31 – Instalações do estaleiro nascente em dwg	64
Figura 32 – Instalações do estaleiro nascente em rvt.....	65
Figura 33 – Instalações do estaleiro nascente em rvt.....	65
Figura 34 – Instalações do estaleiro poente em dwg	66
Figura 35 – Cruzamento entre veículos e pessoas	69
Figura 36 – Cruzamento entre veículos e pessoas	70
Figura 37 – Cruzamento entre veículos	71
Figura 38 – Cruzamento entre veículos/máquinas.....	71
Figura 39 – Entrada do estaleiro nascente	72
Figura 40 – Vista geral do estaleiro nascente (formato dwg)	87
Figura 41 – Vista geral do modelo.....	89
Figura 42 – Vista geral do estaleiro poente (formato dwg)	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Acidentes de trabalho graves	17
Tabela 2 – Acidentes de trabalho mortais	17

SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACT – Autoridade para as Condições do Trabalho

AEC – Arquitetura Engenharia e Construção

BIM – *Building Information Modeling* – Modelação de Informação da Construção ou Modelo de Informação da Construção

E.T.A.R. – Estação de Tratamento de Águas Residuais

E.T.A.R.I. – Estação de Tratamento de Águas Residuais Industriais

IFC – *Industry Foundation Classes* – Classes da Fundação da Indústria

PT – Posto de Transformação

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O *Building Information Modeling* (BIM) tem sido alvo de vários estudos ao longo dos últimos anos, provando que são imensas as suas competências.

O BIM torna-se numa forma de trabalho colaborativa, apoiada por diversas tecnologias digitais, com métodos mais eficientes de desenho, cálculo e manutenção [1], estando a ser desenvolvido para melhorar e aperfeiçoar a análise e simulação, coordenação e comunicação para o trabalho em equipa e avaliação e gestão de informações do ciclo de vida do projeto [2].

De uma forma sucinta, é uma metodologia onde está inserida toda a informação relativa a um projeto de construção, desde a sua fase de projeto até à sua conclusão e consecutiva manutenção e demolição. Com esta metodologia é possível a partilha de informação entre todos os intervenientes de todas as fases do ciclo de vida da construção, facilitando a comunicação entre eles. Contudo, ainda não existe uma definição única e abrangente para o BIM [2].

Em Portugal, o conceito BIM está numa fase de exploração das suas capacidades e as instituições de ensino superior são o grupo que mais conhecimento têm acerca desta nova metodologia, seguindo-se as empresas de construção e os gabinetes de projeto [3].

Por outro lado, vários países estão a fazer do BIM um método fundamental para os projetos de construção. Exemplo disso é o Reino Unido que apresenta um programa de implementação do BIM como sendo um dos mais ambiciosos e avançados do mundo. Com esta estratégia o Reino Unido pretende assumir um papel de liderança na exploração do BIM, no fornecimento de serviços BIM e ainda no desenvolvimento de padrões da mesma metodologia [1]. Adicionalmente, a Estratégia de Construção do Governo do Reino Unido exigiu a utilização do BIM 3D totalmente colaborativo – incluindo todas as informações dos projetos, documentação e dados eletrónicos – nos projetos de construção públicos a partir de 2016 [4].

De um modo geral, o BIM tem vindo a ser cada vez mais reconhecido como uma força essencial para estimular o crescimento e o aumento da competitividade a nível europeu [1].

O BIM pode ser utilizado em vários ramos da Engenharia Civil e o tema desenvolvido nesta dissertação consiste na introdução desta metodologia na gestão de estaleiros de construção focada na segurança e na saúde.

A utilização da metodologia BIM pode ser usada como um ponto de partida para o planeamento da segurança e comunicação na construção [5], aperfeiçoando as práticas comuns. Para o sucesso de uma estratégia de segurança tem de haver uma interação entre todos os intervenientes, não apenas comunicação entre os altos quadros das empresas [6].

Uma estratégia para melhorar a segurança nos estaleiros, de obra em obra, é a evolução dos seus planos de segurança. Um modo de progresso é a utilização do BIM nesta prática. A sua utilização no planeamento dos planos de segurança dos estaleiros proporciona uma melhor coordenação entre todas as partes envolvidas, resultando num aumento da segurança nos mesmos [7].

Os acidentes de trabalho são uma realidade mundial e o risco de suceder uma fatalidade a um interveniente numa obra é permanente durante toda a laboração. Face a este facto surgiu a preocupação de estudar métodos de modo a prever e minimizar os riscos presentes num estaleiro da construção.

Sendo assim, reconheceu-se a preocupação na identificação e gestão dos riscos, de modo a evitar o descuido para com os mesmos, o que apresentou bastantes benefícios aquando da sua descoberta precoce. Desta forma, evitam-se potenciais problemas e consequentes aumentos de custos [8].

A prevenção dos riscos implica a sua análise, tanto no setor da construção como em todos os restantes setores de atividade. O começo do processo de gestão da segurança e saúde é representado pela avaliação dos riscos profissionais [9].

Segundo a Autoridade para as Condições do Trabalho (ACT), o registo de acidentes graves na construção em Portugal tem vindo a diminuir desde 2015, assim como os acidentes de trabalho mortais, como mostram a Tabela 1 [10] e a Tabela 2 [11], respetivamente.

Tabela 1 – Acidentes de trabalho graves (adaptado de [10])

Setor de atividade				
Construção	2014	2015	2016	2017
		88	121	84

Tabela 2 – Acidentes de trabalho mortais (adaptado de [11])

Setor de atividade				
Construção	2014	2015	2016	2017
		41	44	42

Embora os valores não estejam a aumentar, é sempre de lamentar a perda de uma vida humana, daí a importância de estudar novos métodos de melhorar a segurança nos estaleiros da construção.

De referir que, no decorrer desta dissertação, foram desenvolvidos dois artigos com o intuito de divulgar a temática da gestão da segurança, com a utilização do BIM, nos estaleiros da construção [12] [13]. Ambos foram apresentados em conferências e posteriormente publicados.

1.2 Objetivo do trabalho

Com o propósito de contribuir para um aumento da eficácia dos sistemas de gestão dos estaleiros, surgiu a oportunidade de estudar a gestão do estaleiro da construção do Túnel do Marão.

Um dos objetivos consistiu na modelação do estaleiro da construção, aproximada da realidade, com o intuito de obter uma visualização tridimensional. Um foco importante foi o estudo de um meio para minimizar a exposição aos riscos relativos ao estaleiro, tais como riscos de atropelamento, queda, entre outros, associados às tarefas correntes durante a fase de construção do túnel. Outro objetivo consistiu em apostar na prevenção de riscos/acidentes para os intervenientes.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação divide-se em seis capítulos. No primeiro e atual capítulo está descrita a introdução, com uma visão geral do BIM, e de seguida estão referidos os objetivos da dissertação e por último apresentada a organização da mesma.

O Capítulo 2 refere-se ao estado da arte, ou seja, a apresentação de estudos e métodos que já foram desenvolvidos para este tema. Sendo assim, começa-se por uma breve descrição do que é o BIM e o estado da sua implementação em Portugal e no mundo. Depois são abordados temas relativos à segurança e saúde em obras subterrâneas, o BIM para a segurança e saúde, a realidade virtual, o BIM e o ambiente, os custos da utilização do BIM e, por fim são mencionadas desvantagens no uso do BIM.

De seguida apresenta-se o terceiro capítulo, iniciando-se com um breve enquadramento do Túnel do Marão. Posteriormente são descritas as dificuldades que foram encontradas aquando da implementação dos estaleiros, assim como, as medidas preventivas adotadas durante a obra. Por fim são caracterizadas as instalações presentes nos estaleiros.

No quarto e quinto capítulo apresenta-se a análise e discussão dos resultados respetivamente, com o estudo de várias situações, em que o BIM pode ajudar na gestão de estaleiros da construção.

Por fim, o sexto e último capítulo é destinado às conclusões e aos possíveis estudos futuros.

2 METODOLOGIA

Este trabalho teve início com uma intensiva pesquisa bibliográfica acerca de outros estudos realizados abrangendo, não só o BIM, mas também outros temas que se revelaram ser importantes para o caso.

De seguida foi elaborado o modelo tridimensional do estaleiro da construção. Para iniciar a modelação começou-se pela importação da planta do estaleiro em *AutoCad* (formato *dwg*) para o *Autodesk Revit* (formato *rvt*) e, assim obteve-se o mapa topográfico 3D. A partir da informação obtida nas peças desenhadas efetuou-se o desenho tridimensional das instalações. Posteriormente, foram introduzidos veículos, máquinas e pessoas para executar as simulações pretendidas através das famílias de objetos.

Por último, efetuou-se uma análise das simulações realizadas com respetiva análise de resultados e conclusões.

Tratando-se de um caso de estudo, este contou com a participação e a ajuda da Direção Técnica e de Coordenação de Segurança da empreitada que facultou documentos como o Plano de Segurança e Saúde em fase de Projeto e respetivo Desenvolvimento Específico ao Plano de Segurança e Saúde para a fase de obra. Foram ainda facultadas as peças desenhadas 2D e proporcionada uma visita ao Túnel do Marão, na fase final dos trabalhos, ajudando a ter uma melhor perceção do espaço.

Optou-se por fazer a modelação apenas do estaleiro nascente devido ao seu condicionado espaço, por se encontrar perto de residências e ter acessos estreitos e comuns às habitações.

É de referir que a modelação foi realizada após montagem do estaleiro, o que não impediu o estudo de novas técnicas de gestão de saúde e segurança.

3 ESTADO DA ARTE

3.1 Enquadramento

Para um trabalho mais completo é importante tomar conhecimento acerca de estudos já concluídos com temas e abordagens semelhantes àquele que está aqui a ser desenvolvido.

Assim, optou-se, neste ponto, por uma divisão de temas abordados em vários estudos com devida discussão e conclusão. É de salientar que, por vezes, o mesmo estudo trata vários temas.

3.2 BIM - *Building Information Modeling*

Building Information Modeling ou *Building Information Model* que se traduz como Modelação de Informação da Construção ou Modelo de Informação da Construção respetivamente, tem a capacidade de começar no início de um projeto e prolonga-se durante todo o seu ciclo de vida [3]. A modelação de informação da construção envolve a criação e gestão de representações digitais de características físicas e funcionais do projeto que está em modelação [14].

Esta metodologia permite um sistema colaborativo entre todos os intervenientes de um projeto [3]. A Figura 1 retrata o ciclo BIM, começando na fase de projeto até à sua utilização.



Figura 1 – Processo colaborativo do BIM [3]

Os arquivos BIM podem ser trocados ou conectados em rede para suportar a tomada de decisões sobre um projeto [14]. Desta forma, evita-se que haja alterações de um projeto de uma determinada área sem a permissão do responsável [3]. A Figura 2 representa a comparação do processo de construção entre os processos 2D e a metodologia BIM centrada no IFC. O IFC é um formato de dados que permite o intercâmbio de um modelo sem perda de informação ou distorção da mesma [15].

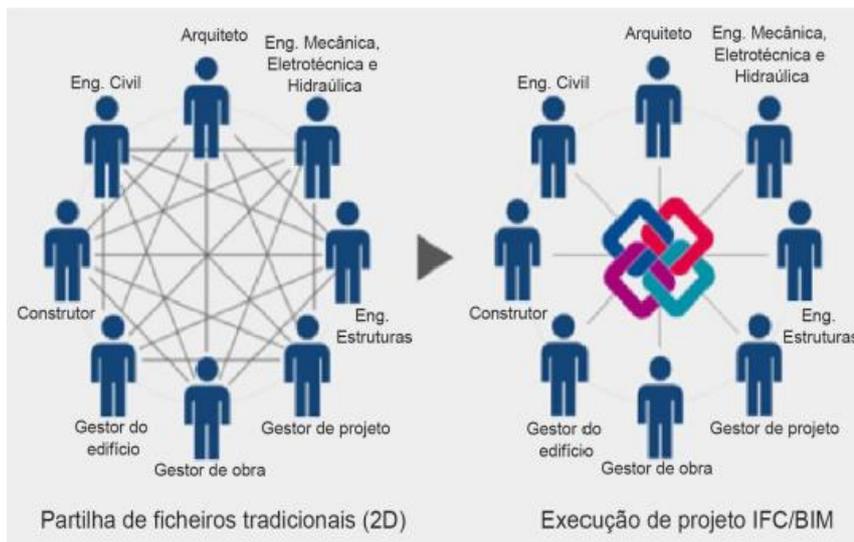


Figura 2 - Comparação do processo de construção entre os processos 2D e a metodologia BIM centrada no IFC [3]

Esta tecnologia tem a capacidade de agregar todas as especialidades que integram uma construção e verificar a compatibilidade entre os diferentes elementos arquitetônicos com os restantes projetos, nomeadamente projeto estrutural, mecânico, térmico, hidráulico, entre outros [3].

A Figura 3 representa um modelo 3D com a conjugação dos diferentes ramos da construção, relativos ao projeto de residências para o Campus Oeste da Universidade de Miami.

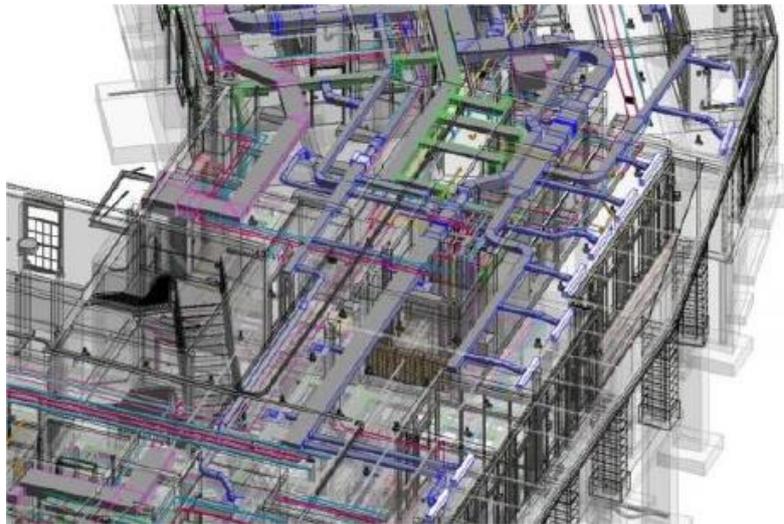


Figura 3 – Modelo BIM do projeto de residências para o Campus Oeste da Universidade de Miami [16]

Se ocorrer algum erro na sobreposição dos projetos, as ferramentas têm a capacidade de informar onde está a incompatibilidade, dando a oportunidade de visualização. Como exemplo, a Figura 4 representa conflitos encontrados num projeto, referenciados a vermelho. Sendo assim, oferece a oportunidade de corrigir estes erros antecipadamente, evitando a sua deteção em obra.

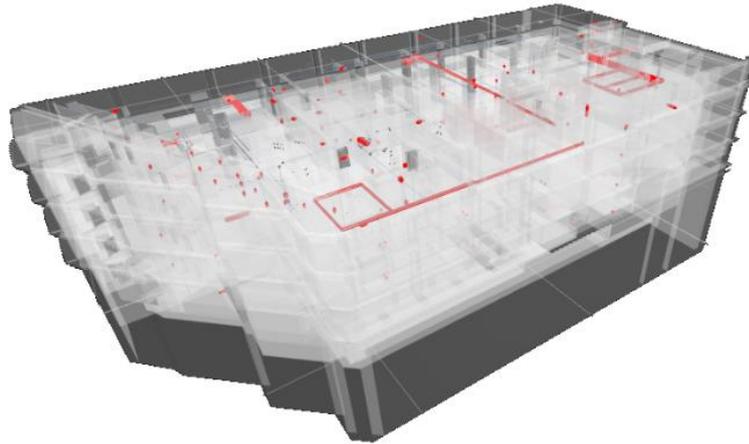


Figura 4 – Visualização de conflitos utilizando o *BEXEL software* [17]

À medida que se aumenta a informação aos modelos, as dimensões BIM aumentam. Na Figura 5 estão descritas as funcionalidades de cada dimensão.



Figura 5 – Dimensões BIM [3]

3.3 A implementação do BIM

Nesta secção são analisados os pontos de situação da implementação do BIM em Portugal e no mundo, com base na informação encontrada, de uma forma sucinta.

3.3.1 Em Portugal

Maria Venâncio [3] realizou um estudo para avaliar o estado da implementação do BIM em Portugal com base na elaboração de inquéritos a um grupo de entidades, entre as quais Câmaras Municipais, gabinetes de projeto, donos de obra, empresas de construção e instituições de ensino superior. Esses inquéritos basearam-se em perguntas sobre o estado de conhecimentos acerca do BIM e se esta metodologia deveria ou não ser implementada. Dos 2030 inquéritos enviados apenas se obtiveram 379 respostas válidas, tendo-se conseguido, mesmo assim, ter uma pequena perceção do estado da implementação do BIM em Portugal.

Concluiu-se que o grupo que apresenta maior percentagem de conhecimento acerca do BIM são as instituições de ensino superior, seguindo-se as empresas de construção e os gabinetes de projeto. Pela análise foi possível verificar que os arquitetos apresentam maior conhecimento sobre o conceito BIM. Para além disso, destaca-se que a informação acerca do BIM diminui conforme o aumento da faixa etária dos respondentes. Concluiu-se também que, apesar de 47.5% do total de respondentes não conhecerem o conceito BIM, 47.1% consideram importante conhecer.

Foi ainda possível concluir que a adesão ao BIM é condicionada pelo número de empresas que conhecem esta metodologia, à exceção dos respondentes das próprias empresas de construção. Em contrapartida, as empresas de construção consideram que a solicitação dos donos de obra é o principal fator para o condicionamento do uso do BIM.

De todos os grupos inquiridos, a engenharia é o que dá maior importância à imposição regulamentar do BIM para o aumento da adesão. A nível da implementação, 45 gabinetes de projeto afirmam já usar o BIM e nas empresas de construção apenas 3 prosseguiram com a implementação, considerado de nível 2 de maturidade. Por outro lado, nenhuma Câmara Municipal inquirida utiliza o BIM. Do grupo dos donos de obra obtiveram-se apenas 8 respostas, e dessas 3 já tinham solicitado o uso do BIM para apoio ao projeto e à construção. Contudo, nenhum solicitou o modelo tridimensional para futura manutenção do projeto. Relativamente aos estabelecimentos de ensino, dos respondentes com conhecimento do BIM, concluiu-se que 59.1% representam instituições em que esta temática é abordada nos planos de estudo.

As empresas de construção e os gabinetes de projeto consideraram que o investimento no *software* é o principal fator para a implementação do BIM.

A respeito de constrangimentos para a não implementação, os gabinetes de projeto consideraram o “investimento necessário demasiado elevado” e “as funcionalidades BIM não são compatíveis com as necessidades da empresa/exigência de mercado”. As Câmaras Municipais destacaram, como principal objetivo pelo não uso do BIM, o facto de “ainda não terem tido oportunidade de analisar se valerá a pena”. Relativamente ao grupo das empresas de construção, os respondentes afirmaram que é “porque não há mercado”. Por sua vez, os donos de obra consideraram que é “porque os parceiros ainda não utilizam” e as “funcionalidades BIM não são compatíveis com as necessidades da empresa/exigência de mercado”.

A partir dos resultados obtidos, a autora concluiu que as ações de formação e guias de procedimentos serão um fator importante para a implementação do BIM em Portugal ser um sucesso. Contudo, não há ainda exemplos de entidades que usem o BIM a 100%, por isso, concluiu-se que o BIM está ainda numa fase embrionária em Portugal.

A nível de oportunidades, a autora referiu que, a utilização desta metodologia no setor AEC, irá permitir um aumento da competitividade a nível geral, a criação de novos procedimentos e metodologias e adicionar um potencial de inovação e criação de valor.

3.3.2 No mundo

A utilização do BIM está em acelerado desenvolvimento devido ao seu impulsionamento por parte de grandes empresas privadas e governos, com o intuito de se conseguir uma entrega de projetos mais rápida, mais segura e com qualidade e custos mais confiáveis. A adoção do BIM subiu de 28% para 71% entre 2007 e 2017 na América do Norte e apontam-se o Reino Unido e outros países para expansões semelhantes. Além disso, na América do Norte 74% dos empreiteiros usam o BIM, tendo ultrapassado os arquitetos com 70%, mostrando liderança também na inovação [18].

De seguida, apresentam-se alguns resultados acerca de uma investigação iniciada em 2013 por parte de *McGraw Hill Construction* sobre o BIM em mercados individuais a nível global.

Na Figura 6 é possível verificar que algumas empresas tinham começado a utilizar o BIM há 11 anos ou mais. Note-se que 70% das empresas no Brasil usam o BIM há 1-2 anos. Contudo a maior adesão tinha ocorrido nos últimos 5 anos (relativamente à data de realização do estudo, 2013) em todos os países referenciados.

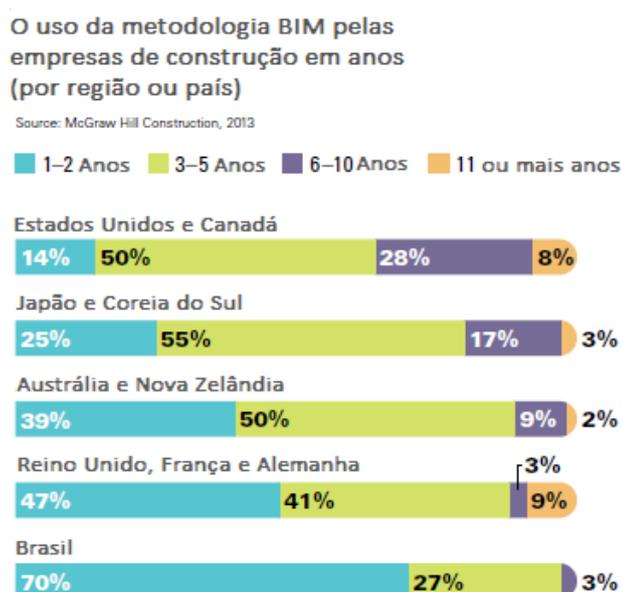


Figura 6 – Uso do BIM nos diferentes países (adaptado de [18])

A Figura 7 representa o grau de envolvimento do BIM nas empresas. O Reino Unido, o Brasil e a Alemanha são os países com maior percentagem de envolvimento baixo. Contudo, como se pode constatar pela Figura 6, verificou-se que estes pertencem ao grupo de países em que a implementação se tinha iniciado com mais força nos últimos 2 anos (da data de realização do estudo), pelo que ainda se encontravam numa fase de adaptação. De referir que o Reino Unido, - embora com grande percentagem de envolvimento baixo -, apresentou uma significativa proporção relativamente à junção do alto e muito alto envolvimento (28%), o que sugere um empenho na implementação do BIM. Por outro lado, os Estados Unidos apresentaram-se como o país com menor percentagem de envolvimento baixo (21%) e maiores resultados no envolvimento alto e muito alto do BIM (44%). Estes valores estão diretamente relacionados com a dimensão das empresas, ou seja, quanto maior a empresa, maior a percentagem e envolvimento alto e muito alto (ver Figura 8).

Sendo os Estados Unidos um país de grandes dimensões, apresenta maior quantidade de empresas de elevada envergadura, considerando-se normal apresentar melhores valores.

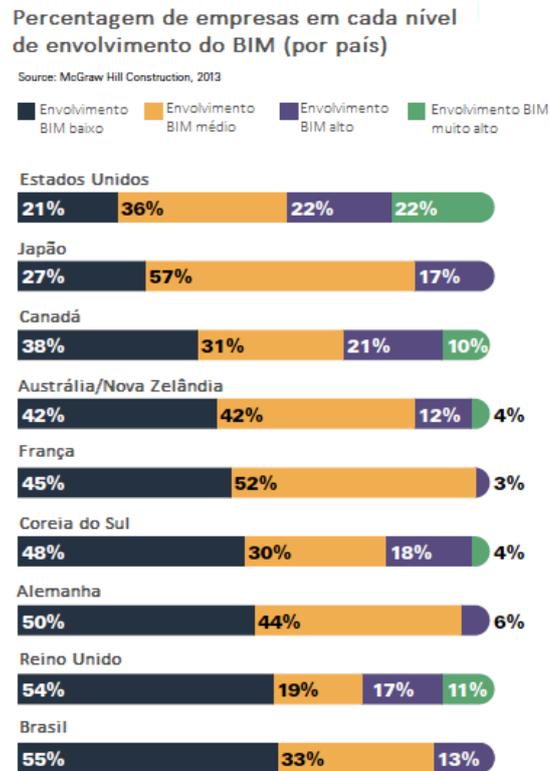


Figura 7 – Grau de envolvimento das empresas com o BIM (adaptado de [18])

Como se verifica pela análise da Figura 8, e como se referiu na análise anterior, o nível de envolvimento das empresas de construção está relacionado com a sua envergadura. Assim, empresas pequenas apresentam maior percentagem de envolvimento baixo e menor de envolvimento alto. Relativamente às empresas maiores verificou-se o contrário, grandes percentagens de alto e muito alto envolvimento e menores para baixo envolvimento do BIM.

**Nível de envolvimento BIM
(de acordo com o tamanho das empresas)**

Source: McGraw Hill Construction, 2013

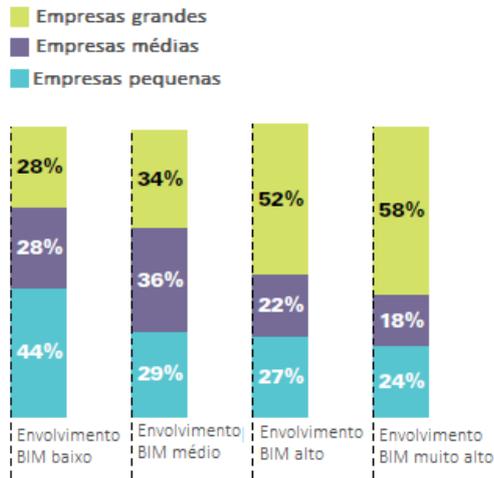


Figura 8 – Relação de envolvimento BIM com o tamanho das empresas (adaptado de [18])

A Figura 9 representa uma expectativa de crescimento, de 2013 até 2015, da quantidade de empresas com níveis de implementação alta ou muito alta. Pela análise da Figura 9, esperava-se um crescimento em todos os países mencionados. O país com maior taxa de crescimento era o Brasil. Em contrapartida, o Japão era o país que apresentava um crescimento mais baixo.

Porcentagem de empresas de construção com implementação do BIM com qualidade alta ou muito alta (por país)

Source: McGraw Hill Construction, 2013

■ 2013 ■ 2015

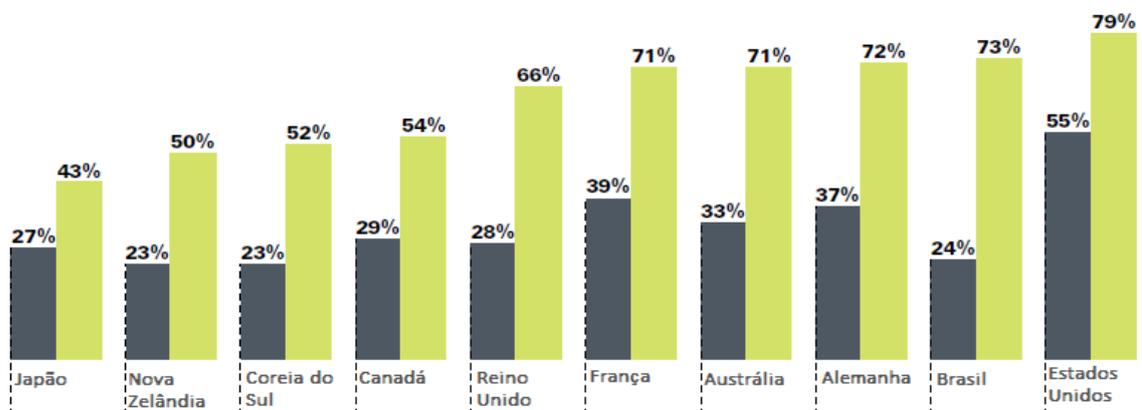


Figura 9 – Previsão de crescimento das empresas com níveis de qualidade de implementação do BIM alta ou muito alta (adaptado de [18])

A Figura 10 apresenta as 3 principais vantagens identificadas pelas empresas de construção. No geral, as três consideradas mais importantes são a redução de erros e omissões, colaboração entre donos de obra/projetistas e melhorar a imagem da organização empresarial respetivamente. Por outro lado, as últimas três principais vantagens, dizem respeito aos ciclos de aprovação mais rápidos pelo cliente, aumento da segurança e aprovações regulamentares mais rápidas. Conclui-se que a segurança na construção não foi considerada uma vantagem principal pela maioria das empresas, visto ter ficado nos últimos lugares. Prova que há um caminho a percorrer na investigação do BIM para a segurança e, conseqüentemente, dar a conhecer às empresas as suas vantagens nesta área.

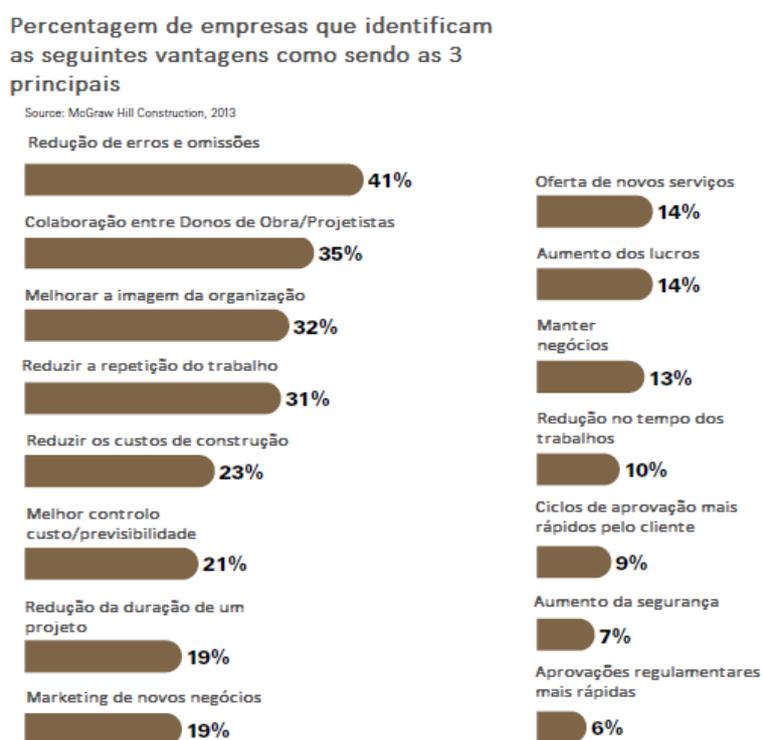


Figura 10 – As três principais vantagens do uso do BIM identificadas pelas empresas (adaptado [18])

3.3.3 Conclusão

Relativamente à implementação do BIM em Portugal pode concluir-se que, ainda há um longo caminho a percorrer para que se estabeleça definitivamente.

É de salientar que o conhecimento sobre o BIM diminui conforme a idade dos respondentes, o que sugere uma estagnação nas políticas de construção utilizadas e falta de iniciativa de investigação própria sobre o tema.

A respeito das condicionantes no uso do BIM, as empresas de construção não se encontram em sintonia com as restantes entidades, visto que as respetivas entidades consideram a falta de conhecimento do BIM pelas empresas como entrave para a implementação da metodologia. Por outro lado, as empresas apontam a falta de solicitação por parte dos donos de obra.

Verificou-se também que nenhuma Câmara Municipal utiliza o BIM nos seus projetos, possivelmente pelo orçamento apertado que as mesmas enfrentam, uma vez que é necessário um investimento elevado para a implementação. Relativamente a constrangimentos, no geral, as entidades apresentaram diferentes motivos.

De referir que este estudo se reporta a 2015, e, por isso, alguns dados obtidos poderão já ter sofrido alguma evolução entretanto. Contudo, não foi encontrada nenhuma investigação mais recente realizada em Portugal.

Para o caso da análise da implementação do BIM no mundo, permitiu retirar algumas conclusões. Grande parte das empresas utilizavam o BIM diariamente há pelo menos 5 anos, o que permite afirmar um grande passo para o desenvolvimento das capacidades do BIM.

Verificou-se que as grandes empresas têm maior percentagem de envolvimento BIM alto e muito alto. Estes valores podem estar relacionados com a maior capacidade de investimento financeiro destas empresas em *softwares* e formações para os trabalhadores.

O Brasil é um dos países que tinha implementado o BIM nas empresas mais recentemente, e que apresentou uma maior expectativa de crescimento de 2013 para 2015 da quantidade de empresas com implementação do mesmo com qualidade alta ou muito alta. Observou-se ser o país com uma elevada vontade de desenvolver e integrar o BIM nos seus projetos.

Relativamente às principais vantagens da implementação do BIM referenciadas pelas empresas, verificou-se que a segurança apresentou apenas uma percentagem de 7%. Este resultado pode-se relacionar com a falta de informação dos respondentes acerca da capacidade do BIM para a segurança e por isso, a não implementação para esta área. Por sua vez, a falta de informação pode dever-se à reduzida quantidade de estudos do BIM em matéria de segurança.

3.4 Segurança e Saúde em obras subterrâneas

Em construção de túneis estão presentes escavações e operações de carregamento que são bastantes perigosas. Este tipo de obras detém riscos adicionais relacionados com a segurança estrutural e ocupacional comparando com construções tradicionais. No entanto, os riscos variam com o método usado para a escavação do túnel [8].

Relativamente a um estudo acerca da prevenção na construção de túneis usando o Método de Escavação Sequencial, Tender, Couto e Ferreira [19] afirmam que, independentemente dos prazos de construção e dos interesses económicos, a segurança deve ser sempre garantida.

Ao longo de um estudo acerca dos critérios de escolha entre dois tipos de métodos de escavação de túneis (Método de Escavação Sequencial e com Tuneladora) os autores, Tender e Couto [20], observaram que a análise dos riscos é normalmente efetuada a nível estrutural e geológico, excluindo-se os riscos relacionados com a segurança dos trabalhadores. Quando há a possibilidade de utilização de ambos os métodos, o fator de escolha entre eles pode não ser o mais correto devido à exclusão da análise dos impactos que cada método apresenta para a segurança dos intervenientes. Os autores afirmam que este fator pode conduzir a um aumento dos acidentes de trabalho e um sucessivo impacto económico. Posto isto, concluíram que em obras de carácter subterrâneo, a gestão dos riscos é fundamental para o seu sucesso, estando diretamente ligados ao método de escavação adotado e às restrições dos trabalhos.

As forças e fraquezas relativas à segurança e saúde nas práticas portuguesas em obras subterrâneas foram alvo de uma análise. Os autores, Tender, Gomes e Couto [21], começaram por avaliar as forças nas práticas portuguesas na área da gestão da segurança,

no controlo ao acesso e tráfego dos estaleiros e no controlo das operações com explosivos, com o exemplo da implementação de algumas medidas preventivas em obras portuguesas. De seguida um dos autores analisou algumas medidas implementadas em estaleiros da construção no Reino Unido e, através de questionários aos intervenientes desses estaleiros, o autor identificou 31 medidas preventivas mais importantes que deveriam ser implementadas em Portugal. Depois, entregaram estas medidas sob a forma de questionários a técnicos de grande experiência profissional em Portugal, a trabalhar nos mais importantes estaleiros de obras subterrâneas, de modo a testar a sua relevância. Assim, foram encontradas, pelos técnicos portugueses, as 4 medidas preventivas mais importantes das 31 identificadas antes. As referidas medidas dizem respeito a: reavaliação do risco após a implementação de medidas preventivas para reforçar a minimização dos mesmos; introdução de equipamento elétricos, diminuindo equipamentos a diesel, evitando a contaminação do ar pela emissão de gases; avaliação da eficácia da formação; inclusão de medidas preventivas de segurança e saúde na fase de projeto. Com a eventual implementação destas ações preventivas, concluiu-se que poderão preencher algumas lacunas existentes na atualidade, em termos de prevenção. No mesmo estudo concluiu-se que a segurança deve ser vista como um ato de prevenção com base em opções técnicas e comportamentais.

3.4.1 Conclusão

Pode-se concluir, no caso do primeiro estudo referido, que o fator “Segurança e Saúde” não é considerado prioritário para a seleção de métodos de escavação de túneis, colocando outros fatores como mais importantes. Posto isto, é possível referir que, continuando com as mesmas prioridades, não vai ser possível, no futuro, a minimização de riscos para os utentes de uma obra nem a melhoria dos atuais métodos de gestão da segurança nas construções.

Relativamente ao segundo estudo, pode-se inferir que é possível melhorar as práticas de gestão da segurança atuais com a implementação de ações preventivas em estaleiro. Dos resultados do segundo inquérito, conclui-se que os técnicos preocupam-se com a antecipação dos perigos e com a adoção de equipamentos alternativos aos utilizados atualmente (devido às emissões de gases pelos equipamentos a diesel) mostrando atenção à segurança e saúde.

3.5 O BIM para a segurança e saúde

Os planos de segurança são tradicionalmente realizados por meio de observação manual, traduzindo-se num meio ineficaz, sendo que as empresas de construção e os coordenadores de saúde e segurança ainda não possuem uma abordagem de trabalho colaborativa [22].

3.5.1 Planos de segurança e saúde

São vários os fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes de trabalho na construção, nomeadamente: planeamento de trabalho inapropriado, comunicação entre trabalhadores e supervisores deficiente e a falta de uso de técnicas de segurança [23].

Os modelos e simulações em BIM trouxeram ao sector da construção muitos benefícios para o aumento da segurança [24]. Entre os benefícios, encontra-se a possibilidade dos intervenientes de uma obra avaliarem as condições de trabalho e reconhecerem os riscos através da visualização dos modelos e, com isso, elaborar planos de segurança [23].

A utilização do BIM 4D (modelo 3D com a introdução da variável tempo – calendarização) pode resultar num aumento da segurança no trabalho, relacionando o planeamento do estaleiro com os problemas na segurança. É possível fornecer planos mais ilustrativos, facultando métodos para gerir e visualizar os planos atualizados, assim como apoiar a comunicação da segurança entre intervenientes tanto para informar eventuais alterações do estaleiro como para situações de risco [5].

Foi realizado um estudo por Zhang *et al.*, [25] com o objetivo de investigar como podem ser identificados e eliminados, no início da fase de planeamento de um projeto, potenciais riscos de queda em altura. Foram abordados dois casos de estudo: um edifício de escritórios e um projeto de um edifício residencial. Depois de uma pesquisa bibliográfica os autores identificaram um conjunto de regras, práticas e diretrizes de segurança recomendadas baseadas em BIM. Este grupo de regras usadas em conjunto com o modelo tridimensional e o cronograma de tarefas (BIM 4D) formularam um sistema automatizado de verificação de regras de segurança. O objetivo é identificar automaticamente situações de perigo de queda, à medida que o edifício é construído, e fornecer soluções e visualizações de sistemas

de proteção para mitigar os riscos identificados. Segundo os autores, este sistema pode funcionar como um instrumento de visualização, facilmente acessível e compreensível, da evolução da construção. Além disso, referem que as indicações das medidas de segurança poderão ajudar os gestores no seu planeamento durante a fase de planificação da obra e da construção. De seguida, conectou-se o modelo do edifício com o cronograma e foram aplicadas as regras para deteção de riscos de segurança. Para isso, foi criado um algoritmo de verificação de regras automático para detetar os métodos necessários de prevenção. Relativamente ao primeiro caso de estudo, foi sujeito a duas abordagens: modelação manual e automática (com o mesmo propósito). Os autores concluíram que, nos dois casos de estudo, a plataforma de verificação de regras de segurança para a deteção e prevenção automática de risco de queda na construção foi executada com sucesso. Inferiu-se também que o algoritmo foi capaz de detetar a localização dos riscos em lajes e bordas e forneceu uma lista de materiais e visualizações dos equipamentos de proteção que deveriam ser adotadas para evitar as respetivas quedas. Concluiu-se ainda que a plataforma aqui desenvolvida mostra um grande potencial para criar planos da segurança com o BIM e a sua visualização em obra. Comparando a modelação manual com a automática, os autores consideraram mais benefícios utilizando a segunda hipótese, uma vez que a modelação automática tem a potencialidade de avançar sozinha e reduz o tempo e os esforços se comparada com a modelação manual.

Várias conclusões foram já retiradas de diversos estudos acerca da possível realização de planos de segurança com base nas tecnologias BIM. A junção das regras de segurança, melhores práticas e diretrizes convencionais, atualmente utilizadas na gestão da segurança, com as tecnologias BIM podem ser utilizadas para formular um plano automatizado de verificação da segurança [24].

A maioria dos estudos que explora a viabilidade do BIM para o planeamento e gestão da segurança na construção são de natureza conceitual ou são baseados em modelos de construção simples e hipotéticos [26].

Azhar *et al.*, [26] desenvolveram um projeto com a finalidade de demonstrar às empresas de construção como se pode usar a metodologia BIM para a gestão e planeamento da segurança. O estudo procura respostas para: (1) a metodologia BIM é viável para avaliação da segurança? (2) que tipo de perigos podem ser identificados através de um modelo? e (3)

como podem as empresas de construção usar modelos BIM para o planeamento da segurança em diferentes fases do projeto? Para tal, foram gerados 5 planos de segurança. O primeiro diz respeito ao plano de gestão de guindastes com o objetivo de: identificar o raio de rotação da grua para garantir uma distância segura das estruturas próximas e identificar que equipa está a utilizar a grua num determinado espaço de tempo (Figura 11).

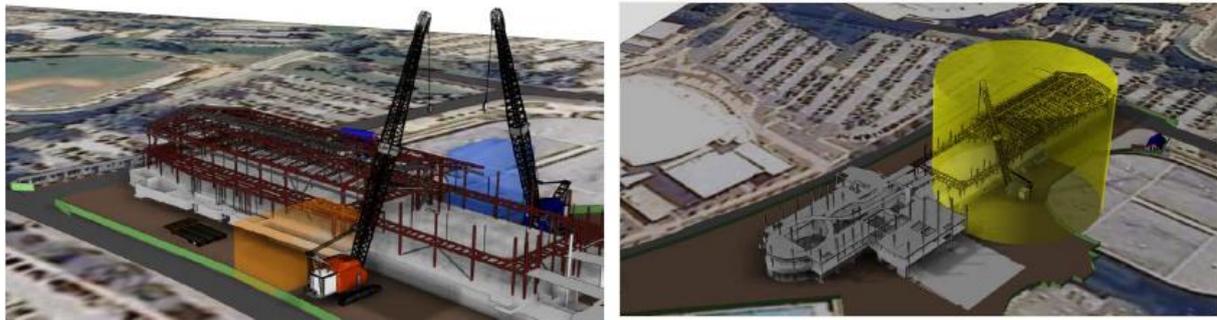


Figura 11 – Colocação da armação de aço e zona de trabalho da grua no plano de gestão de guindastes [26]

As zonas a amarelo laranja e azul demonstram o raio de balanço da grua e a sua zona de influencia. As simulações são usadas para identificar visualmente a zona de influência da grua móvel sempre que assim se pretenda, sendo que essa informação é utilizada para criar planos de segurança nas atividades de construção. O segundo plano é relativo à gestão dos riscos de escavação com o objetivo de coordenar com segurança as atividades de terraplanagem. As atividades são modeladas recorrendo a simulações 4D para coordenação das operações dos equipamentos de escavação (Figura 12).

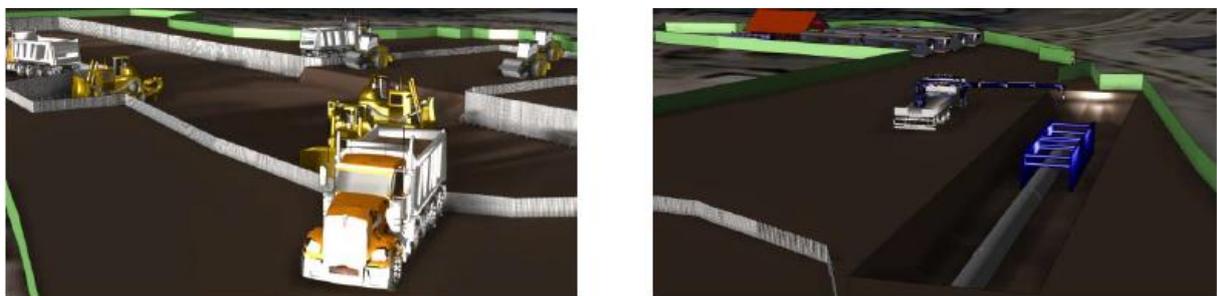


Figura 12 – Simulações de escavação 4D (adaptado de [26])

O terceiro plano é sobre o plano de proteção contra quedas de bordos. Foram modelados dois tipos de proteção: varandas de madeira e trilhos de cabo de aço. Foram identificados riscos de queda após modelação que seriam difíceis de encontrar em visões bidimensionais

devido a componentes ainda não construídos. Assim, a simulação 4D forneceu detalhes acerca da localização das barreiras protetoras e mostrou quando devem ser instaladas ou removidas (Figura 13).



Figura 13 – Modelação do sistema de proteção contra quedas [26]

O quarto plano está relacionado com as quedas dos telhados. Os pontos de ancoragem utilizados são presos ao revestimento metálico da cobertura e permitem uma transição segura em qualquer parte do telhado. As simulações foram usadas para informar os trabalhadores do telhado da sua exposição aos perigos (Figura 14).



Figura 14 – Simulação da construção da cobertura usando o modelo BIM 4D [26]

Por último, o quinto plano diz respeito ao plano de resposta de emergência. Este plano usufruiu de cinco categorias internas para orientar os trabalhadores no estaleiro da construção: instruções de entrega na construção, zonas classificadas do edifício, instalações temporárias e locais de reboque de trabalho, precauções em situações de emergência e precauções em situações de clima severo. Os modelos serviram para comunicar o plano de emergência aos trabalhadores (Figura 15).



Figura 15 – Plano de ação de emergência: a) Instruções do fluxo do trânsito; b) Caminho de chegada da ambulância (adaptado de [26])

O passo seguinte foi a validação do método. Quando o artigo referente a este estudo foi concluído apenas tinha terminado a primeira fase da validação do método, uma vez que o caso de estudo estava em desenvolvimento na altura. Contudo, os comentários a esta primeira parte mostraram-se bastante positivos. Como conclusões os autores reforçam que é difícil identificar todos os riscos nas fases de planeamento e construção de um projeto, por isso a metodologia BIM pode ser usada como uma nova ferramenta de planeamento de construção e de construção colaborativa. Concluiu-se também que, a modelação permite a avaliação e visualização antecipada das condições do local de trabalho e do reconhecimento dos perigos por parte dos intervenientes, fornecendo a possibilidade de desenvolver planos adequados de mitigação de riscos antes do início das atividades de construção.

Como já se referiu torna-se difícil identificar todos os perigos existentes na fase de planeamento do projeto [23], pois cada estaleiro de construção possui riscos específicos.

Azhar e Behringer [23] afirmam que os empreiteiros utilizam na construção desenhos em 2D para o planeamento da segurança. No entanto, estes desenhos não são adequados para identificar os perigos da construção uma vez que são estáticos [23]. Para colmatar essa situação, desenvolveram um estudo com o intuito de demonstrar como é que as empresas de construção podem utilizar o BIM no local da obra (nos estaleiros) para gerir e planear a segurança dos projetos. Esta pesquisa procurou resposta para três questões: a tecnologia BIM é viável para avaliação de segurança? Que tipo de perigos podem ser melhor identificados e abordados através de um modelo BIM? As empresas de construção podem usar os planos de segurança para a comunicação e formação dos trabalhadores? Para esta pesquisa foram realizados modelos 3D e simulações 4D relativos a um estudo de caso que, posteriormente foram mostrados ao empreiteiro para avaliar a sua utilidade. Após algumas alterações nos modelos (conforme *feedback* do empreiteiro) foram retiradas conclusões. Os

autores referem que para melhorar a situação atual, as tecnologias BIM podem ser utilizadas como ferramenta de planejamento de segurança colaborativa. Concluem que através dos modelos e simulações é possível tomar medidas eficazes na fase de planejamento do projeto de modo a eliminar ou minimizar os perigos nos estaleiros de construção. Como exemplo, explicam que se podem usar os modelos para identificar os riscos e comunicar os planos de mitigação dos mesmos aos trabalhadores. Outras conclusões são alusivas às simulações 4D. Neste tipo de visualização, os trabalhadores dos estaleiros, podem assistir à sequência de atividades e identificar os materiais e equipamentos antes de iniciar o trabalho. Podem também discutir possíveis riscos e desenvolver os seus planos específicos de segurança. Concluíram ainda que, esta abordagem de gestão de segurança, pode ser usada para investigação de acidentes de trabalho, recriando a cena em que o incidente aconteceu.

O estudo desenvolvido por Sulankivi *et al.*, [24] vem enaltecer a importância da deteção antecipada de potenciais perigos, utilizando simulações. Este estudo teve como objetivo investigar como é que os problemas da segurança, que estão presentes nas tarefas de construção, podem ser identificados automaticamente na fase de planejamento de um projeto. O principal foco consistiu na prevenção de quedas em altura. Após modelação do edifício e o estabelecimento das ligações necessárias entre os objetos do modelo e o cronograma das tarefas, foram aplicadas as regras para detetar riscos na segurança. Para isso foi elaborado um algoritmo para detetar as medidas de prevenção necessárias. Percorridas todas as etapas de funcionamento do algoritmo, foram instaladas no modelo, todas as medidas de segurança que este concluiu serem necessárias. Também foram criadas automaticamente tarefas para instalação e remoção de equipamentos de segurança conforme o cronograma. Aplicando este método ao caso de estudo, verificou-se com êxito o seu funcionamento. O algoritmo detetou uma falha na segurança e automaticamente instalou o equipamento preciso para aquela situação. Concluiu-se que este método auxilia os gestores de obra na eliminação dos perigos, certificando-se que os equipamentos de segurança estão prontos a instalar quando necessário. Contudo, é importante referir a necessidade de verificar frequentemente o modelo para garantir que está atualizado. Em suma, o estudo mostra a utilidade desta abordagem no encontro de possíveis riscos e sua visualização, principalmente para a fase de planejamento de obra.

Sulankivi, Makela e Kiviniemi [27] realizaram outro estudo também relativo ao planeamento da segurança. A metodologia de trabalho baseou-se em BIM 4D para a construção de um edifício. Após a observação das visualizações e simulações, a equipa de trabalho nomeou os benefícios e os desafios desta abordagem para a indústria. Do ponto de vista da segurança, os benefícios mais importantes do BIM estão relacionados com o potencial de planear, gerir e analisar a segurança, antecipar, identificar e gerir os riscos, melhorar a comunicação entre utentes e aumentar a motivação dos trabalhadores. O BIM 4D possibilita simulações e, por isso, proporciona planos de segurança atualizados. Um plano de estaleiro elaborado através desta metodologia permite também obter imagens dos perigos e automaticamente arranjar soluções de segurança para os eliminar. As visualizações podem ser usadas para informar os utentes dos riscos. Os autores também referem que apenas com visualizações 3D é possível avaliar situações de perigos. Em contrapartida, os autores referem que a tecnologia BIM ainda necessita de um maior desenvolvimento dos programas, ferramentas e métodos de trabalho de maneira a explorar na totalidade as suas capacidades para a segurança. Para concluir, os autores afirmam que o planeamento 4D é um avanço na gestão da construção e ao mesmo tempo uma oportunidade de integrar a gestão da segurança nos processos de construção.

3.5.2 O planeamento e a comunicação

A “Segurança e Saúde” nos estaleiros da construção pode ser considerado um fator primário para que o decorrer de uma obra ocorra da melhor forma possível. Aliado a este tema está o planeamento na construção, que vem ajudar no aumento da segurança nos estaleiros, pois é legítimo afirmar que o bom planeamento de um projeto diminui a probabilidade de ocorrência de erros durante o decorrer das tarefas. Por outro lado, a comunicação em estaleiros também é um fator importante no fortalecimento da segurança dos mesmos. Uma comunicação eficiente ajuda na prevenção do perigo uma vez que todos os intervenientes do estaleiro devem cooperar para o bom funcionamento do mesmo, interagindo entre si.

O planeamento da construção é uma atividade de gestão, que fornece um aumento da compreensão do conteúdo do trabalho a ser feito, para organizar as operações no estaleiro e para controlar o desempenho das atividades [28].

Em muitas áreas da indústria mundial o planeamento da segurança é, fundamentalmente, elaborado em simultâneo com o planeamento das atividades de uma dada tarefa, no entanto, na indústria da construção, o planeamento da segurança tem sido realizado separadamente do planeamento das atividades [24, 29]. Este fator pode ser considerado uma grande desvantagem na construção e uma das causas para a ocorrência de acidentes.

Segundo Julie Jupp [30] o planeamento da construção e o planeamento do estaleiro apresentam variáveis diferentes relativamente aos recursos do BIM 4D. No primeiro tipo encontra-se o planeamento de métodos de construção, gestão de recursos, planeamento de segurança, planeamento do espaço de trabalho, comunicação de prazos e identificação de riscos. No segundo, as aplicações 4D incluem a gestão logística do estaleiro, gestão de trânsito de peões e veículos, entrega e armazenamento de material, trabalhos temporários e instalações de segurança.

O planeamento dos estaleiros é frequentemente realizado nos próprios locais de construção para se encontrar a melhor solução no arranjo das instalações, de modo a diminuir as distâncias percorridas pelo pessoal [31].

O estudo de Kumar e Cheng [31] mostra isso mesmo. Com o objetivo de gerir a ocupação do espaço e minimizar as distâncias percorridas, os autores recorreram a um estudo de caso onde foi criada uma estrutura de estaleiro dinâmico com o BIM, a partir do cronograma de construção do projeto. O modelo BIM continha as informações materiais do edifício que era constituído por 12 pisos. Como ponto de partida para o estudo, foram quantificadas as instalações necessárias a colocar no estaleiro, assim como o espaço que estas ocupam. Uma possibilidade colocada nesta pesquisa foi o armazenamento de material no interior do edifício a construir no piso em que vai ser utilizado, sem perturbar o decorrer da obra e respeitando certas medidas de segurança. Além disso, foi também quantificado o espaço necessário para o dito armazenamento. Os cálculos foram realizados de uma forma automática recorrendo ao modelo tridimensional. É importante referir que a colocação tanto dos equipamentos como do armazenamento interior varia conforme as necessidades das tarefas de construção. Posteriormente, foram otimizadas as distâncias a percorrer entre instalações, tendo em conta os obstáculos temporários, assim como a ocupação do espaço (interior e exterior), recorrendo a um algoritmo que conjugou todas as quantificações anteriores. Mostrou-se, que com este método, o trabalho manual pode ser menor e menos

aborrecido, uma vez que os cálculos são feitos automaticamente. Os autores concluíram também que houve uma redução de 13.5% nas distâncias totais percorridas no estaleiro com a utilização desta metodologia, comparando com os métodos convencionais. Além disso, concluiu-se também existir uma economia de tempo e recursos, evitando os desperdícios.

O trabalho de gerir e planear os estaleiros é mais difícil em projetos de grandes escalas e também mais propício a erros e falhas. Sendo assim, este tipo de projetos torna-se, muitas vezes, num desafio para que tudo corra pelo melhor. É sabido que os grandes trabalhos apresentam diversos efeitos sobre a sustentabilidade económica, social e ambiental que, por sua vez, estão relacionados com o tempo de desenvolvimento do projeto [32]. Os métodos existentes de apoio à tomada de decisão baseados em BIM têm sido utilizados para criar rápidas alternativas e visualizar planos alternativos antes da construção [32].

As tecnologias BIM já são também apontadas para facilitar a comunicação entre intervenientes de um mesmo projeto devido às diferenças linguísticas. Com a globalização, a diferença de nacionalidades em obra é uma realidade cada vez mais presente no quotidiano. Desta forma, um modelo BIM pode funcionar como um meio de fácil compreensão, uma vez que o acesso à informação é igual para todos, independentemente de idiomas e hierarquias. Além disso, a visualização de um modelo sustenta os restantes meios de comunicação e auxilia nas discussões acerca do processo de construção entre profissionais da construção. Este tipo de abordagem pode ainda ajudar os procedimentos do estaleiro tornarem-se mais acessíveis para trabalhadores sem antecedentes em construção [28].

A facilidade e o nível de compreensão dos processos de construção são aumentados pelas visualizações 3D e as simulações 4D. Estes métodos ajudam numa melhor comunicação entre as partes interessadas de um projeto [29].

De modo a estudar técnicas de melhoramento da comunicação Mahdavi e Martens [33] investigaram as informações presentes nos desenhos e modelos usados em estaleiro, que não são necessários para desempenhar determinada tarefa. O método de estudo consistiu em elaborar desenhos e modelos para escritório e estaleiro respetivamente, com informações definidas para o desempenho de determinada tarefa. Concluiu-se que fornecer

apenas a informação estritamente necessária para o desenvolvimento de uma tarefa específica, evita distrações com outros dados presentes. Além disso, também se concluiu que esta abordagem é eficaz para a comunicação entre o pessoal do escritório e do estaleiro. Este método tornou-se mais atrativo para aquelas equipas técnicas que estão em estaleiro por curtos períodos de tempo.

As modelações em BIM podem aumentar a compreensão e comunicação da segurança, especialmente quando são feitas durante os projetos de engenharia e no planeamento das fases de construção [25].

3.5.3 Impactos das ferramentas BIM nos estaleiros da construção

Grande parte dos desenhos 2D utilizados nos estaleiros não parecem fornecer informações suficientes, nem suficientemente específicas, para as tarefas especializadas das construções [33].

As práticas BIM na construção conduzem à necessidade de utilizar dispositivos informáticos portáteis nos estaleiros, sejam computadores, telemóveis ou *tablets*. Esta necessidade advém da implementação dos novos métodos de realização de planos de gestão, planeamento dos estaleiros e de projetos, de comunicação entre intervenientes, visualização em tempo real, do acesso aos planos de segurança e saúde, entre outros, que carecem da visualização dos modelos BIM quando assim se entender. Devido a este fator levantou-se a necessidade de estudar os impactos destes dispositivos na segurança e saúde nos utentes do estaleiro. Os autores Shah e Edwards [34] procederam à realização de inquéritos a funcionários de 10 empresas do ramo da construção, funcionários de 5 organizações de clientes e a funcionários de 5 organizações de cadeias de materiais no Reino Unido. Os resultados mostraram que os respondentes estão conscientes que o uso destes dispositivos pode aumentar a produtividade, mas por outro lado, pode afetar o trabalho devido a problemas nos *softwares*. Concluiu-se também que o uso dos dispositivos pode criar riscos na segurança e saúde dos trabalhadores devido à sua utilização inadequada, conduzindo à exposição ao perigo. Em jeito de síntese, os resultados do estudo vão dar a conhecer os potenciais perigos e ajudar a tomar medidas para os combater.

3.5.4 Conclusão

Da análise do estado da arte, relativamente ao BIM para a segurança e saúde, conclui-se que os métodos de estudo abordados são semelhantes entre si. Partem de modelos 4D, por via de algoritmos, para estabelecer regras de segurança e assim simular perigos e verificar a capacidade de resposta. Todos os estudos tiveram resultados favoráveis à implementação do BIM para a realização dos planos de segurança e saúde nas construções. Das vantagens retiradas, em suma, apresentam-se a identificação, gestão e prevenção de riscos, melhorias na comunicação e visualização dos perigos antecipadamente, possibilitando a implementação automática de medidas de segurança em obra.

Relativamente à ocupação do espaço, ficou provado que o BIM tem a capacidade de gerir o armazenamento de materiais. Mostrou-se também, que com a otimização do espaço no estaleiro, os utentes reduziram o valor das distâncias percorridas. Pode-se concluir que um estaleiro mais organizado representa menos exposição ao perigo para os utentes, uma vez que, não se encontram equipamentos dispersos pelo recinto do mesmo.

Concluiu-se também que ainda devem ser feitas melhorias nos *softwares* para obter resultados mais exatos.

No geral, pode-se afirmar que, cada vez mais, o fator segurança é tido em consideração nas construções da Europa e do mundo. No entanto, os autores referem que deve haver uma maior sensibilização para este tema.

3.6 Realidade virtual

O mundo da realidade virtual melhorou o ritmo e a qualidade das decisões por parte dos clientes, reduzindo o tempo de duração dos projetos e eliminando mudanças excessivas no mesmo durante a fase de conceção. Isto deve-se ao fato da capacidade que esta tecnologia tem de permitir visualizar o produto final com antecipação [35].

Uma razão que limita a qualidade na tomada de decisões na gestão de estaleiros é a falta de acesso à informação em tempo real e conseqüente tecnologia que permite a recolha,

processamento e visualização dos dados de uma forma simples, especialmente em obras de grande complexidade [36].

Cheng e Teizer [36] desenvolveram um estudo de caso com o objetivo de relacionar a tecnologia de visualização em tempo real e de recolha de dados de modo a aumentar a consciencialização dos utentes para operações de construção em estaleiro. O método consistiu em criar situações de treino reais e modelar o respetivo ambiente de treino em realidade virtual. Foram modelados cenários relativos a atividades nos estaleiros, tais como processos de escavação e manuseamento de guias. O processo consistiu na implementação de sensores no cenário da realidade virtual e criar propositadamente situações de perigo de maneira a criar alertas pelos referidos sensores. A Figura 16 mostra um exemplo de sensores numa grua. Foram analisadas várias situações, entre as quais a colocação de vigas de aço. A Figura 17 mostra uma situação de perigo de um trabalhador debaixo de uma carga elevada. Os dados recolhidos em tempo real pelos sensores mostraram que o trabalhador não se apresentava a uma distância segura da carga. Este método permitiu alertar de imediato o responsável que, por sua vez, alertou o trabalhador. Além disso, foram analisadas estratégias de mitigação de situações como esta no futuro. Por fim, os autores concluíram que a monitorização automática e a visualização em tempo real são possíveis e que oferecem benefícios na sensibilização para os perigos.

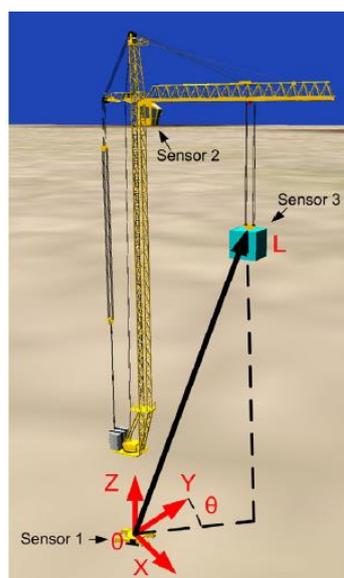


Figura 16 – Simulação das atividades de grua [36]

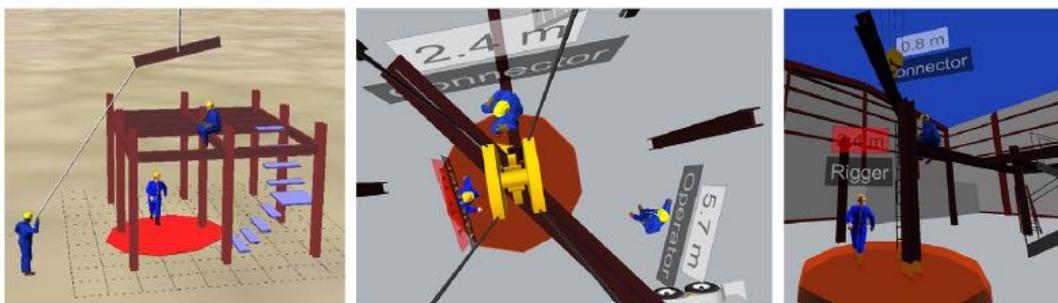


Figura 17 - Trabalhador debaixo de uma carga elevada (adaptado de [36])

3.7 O BIM e o ambiente

Hoje-em-dia o aquecimento global é um tema de interesse mundial e por isso, todos os setores industriais devem estar sensibilizados e empenhados em reduzir os impactos das indústrias no ambiente. Assim sendo, cabe às gerações atuais a procura de soluções tecnológicas melhores e mais avançadas, sem comprometer as gerações futuras, numa tentativa de diminuir a pegada ecológica [37].

Os impactos ambientais provenientes da construção civil são influenciados por decisões de projeto e dependentes da escolha dos materiais a utilizar nas obras [38], uma vez que a cadeia de materiais usados na construção civil consome cerca de metade das matérias primas extraídas da natureza [39].

O *Green BIM*, é definido pela utilização do BIM, para fornecer dados para avaliação de desempenho energético e avaliação da sustentabilidade dos edifícios. Organizações de projetos estão a implementar esta nova abordagem para a construção de edifícios com necessidades de energia quase zero – *Net Zero Energy buildings*. O *Green BIM* inclui *Building Energy Modeling* e identifica opções que otimizem a eficiência energética dos edifícios durante o ciclo de vida [40].

Num estudo Marcos [39] sugere o uso do BIM, como ferramenta de projeto, para minimizar impactos ambientais relacionados com os materiais de construção. Afirma que as ferramentas com a tecnologia BIM auxiliam o estudo da viabilidade económica e ambiental de um projeto, fornecendo assim, um apoio aos profissionais da indústria da construção ao longo de todo o processo de desenvolvimento de um projeto.

Azhar, Brown e Farooqui [41], avaliaram o desempenho de três programas de análise de sustentabilidade com o objetivo de explorar a capacidade do BIM para o estudo da sustentabilidade dos edifícios em várias vertentes. Constatou-se que o BIM oferece inúmeros benefícios durante as fases de concepção, construção e manutenção de um edifício, nomeadamente, a junção de um modelo com as ferramentas de análise de energia que permitiu a avaliação do uso da energia durante as primeiras fases do projeto, encontrando-se, desta forma, uma via de melhorar os desempenhos energéticos dos edifícios. Os resultados deste estudo mostraram-se positivos pelo fato do BIM facilitar os complexos processos de análise sustentável.

3.7.1 Planeamento e gestão ambiental

Ao longo do tempo tem-se verificado, com a análise de pesquisas, que a modelação 4D (modelo 3D e agendamento) pode melhorar o planeamento da construção, a planificação e controlo de produção, gestão da segurança de estaleiros e de resíduos [30]. Sendo assim, impulsiona-se o uso do BIM para a gestão e planeamento ambiental com o intuito de diminuir os impactos ambientais.

Julie Jupp [30] identificou, através de uma pesquisa bibliográfica, obstáculos em algumas áreas relativas ao planeamento e gestão ambiental na construção, passíveis de ser analisadas e melhoradas: falhas na comunicação e fluxo de informação de baixa qualidade, abordagens tradicionais na responsabilidade e entregas de projetos, alcance das tarefas de gestão ambiental, dependência de desenhos em papel (2D), interdependências entre controlos e planos de gestão ambiental e métodos de avaliação da importância dos impactos ambientais.

Nesse sentido, a autora sugeriu desenvolver uma abordagem baseada em modelos 4D e para isso, nomeou duas diretivas que uma plataforma BIM 4D deve abordar em relação ao apoio e ao melhoramento das atividades de planeamento e gestão ambiental: (1) apoiar e aumentar os níveis de colaboração em todas as atividades interdisciplinares de modo a identificar todos os aspetos ambientais (2) apoiar a monitorização dos impactos ambientais em estaleiro, uma vez que estes podem surgir durante a obra.

Com o seguimento destas diretivas, as condições de construção e dos estaleiros, relacionadas com o aspeto ambiental, podem ser modeladas e visualizadas em conjunto com o cronograma da construção, sendo posteriormente analisadas pelos participantes de todas as áreas do projeto. É referido no estudo que, atualmente, os dirigentes de obra tomam medidas de mitigação de impactos ambientais nos próprios estaleiros de forma intuitiva, situação que pode ser melhorada com as visualizações 4D, aumentando a eficácia da monitorização dos impactos ambientais *in-situ*.

De modo a atender as necessidades de usar o BIM 4D para os impactos ambientais, foram identificados cinco pré-requisitos que uma plataforma deve incluir: calendarização e simulação, equipamentos de modelação ambientais, modelação do *layout* do estaleiro da construção, modelação e visualização dos impactos ambientais e capacidade de verificação de regras.

Com a exploração da viabilidade do uso de visualizações 4D para o planeamento e gestão ambiental a autora conseguiu concluir que esta abordagem seria capaz de fornecer um planeamento e gestão ambiental pró-ativos através de novas capacidades para explorar cenários antes da construção, fornecer aos planos atuais informações atualizadas e exatas e elaborar planos alternativos à construção de modo a melhorar o controlo ambiental. Ainda assim, a autora adianta que, futuramente, é necessária uma plataforma viável que possa juntar completamente as tecnologias BIM 4D, conduzindo a uma melhoria do desempenho ambiental dos processos de construção.

Registe-se que os processos de planeamento e gestão ambiental na construção estão dependentes da colaboração entre as áreas da arquitetura, engenharia e construção [30].

3.7.2 Utilização do BIM para minimização de resíduos

Devido aos orçamentos com baixas margens nas construções portuguesas [19], a utilização do BIM para o controlo e redução de resíduos torna-se uma potencial ferramenta para a redução dos custos relacionados com os desperdícios.

Devido aos elevados desperdícios nas atividades da construção, o governo do Reino Unido apontou este setor como prioritário para a redução das emissões de carbono, uso dos

recursos materiais e do consumo de energia [2]. Para alcançar este objetivo, a Estratégia de Construção 2025 do Reino Unido reconheceu o BIM como potencial instrumento para reduzir os resíduos durante as fases de projeto e de construção [42].

A preocupação da redução dos resíduos conduziu à elaboração de um método que ajude nesta matéria [2]. Foi feita uma pesquisa para estabelecer uma correspondência entre a tomada de decisões BIM e a minimização de resíduos na construção. O método adotado para a recolha de dados foi à base de inquéritos e entrevistas presenciais. O objetivo do questionário foi explorar a capacidade do BIM para a redução dos resíduos durante a fase de projeto. Como exemplo foram selecionadas para esta pesquisa as 100 principais práticas arquitetónicas do Reino Unido para obter as opiniões dos respondentes sobre o uso do BIM nesta prática. Os resultados dos inquéritos foram o ponto de partida para o próximo passo: a realização de entrevistas presenciais. Para as entrevistas foram selecionados arquitetos que utilizam o BIM para melhorar a componente sustentável nos seus projetos. De seguida, com os resultados das abordagens descritas, os autores, desenvolveram uma estrutura de minimização de resíduos provenientes da construção com o auxílio do BIM. A estrutura referida teve como propósito atuar como processo de tomada de decisão na minimização dos resíduos em todas as etapas de um projeto e foi avaliada e validada pelos mesmos profissionais da arquitetura anteriormente entrevistados. Os primeiros resultados retidos foram relativos à primeira parte da metodologia adotada: os inquéritos e entrevistas. Os autores mostram uma análise das respostas dividida em 3 partes: análise das práticas do BIM atuais nos projetos e o seu potencial para a redução de resíduos na construção; a capacidade do BIM para resolver causas relativas à produção de resíduos; a potencialidade do BIM para a minimização de desperdícios ao longo de todas as fases de projeto. Na análise da primeira parte, os entrevistados relataram que a utilização do BIM nos seus projetos é importante para manter a qualidade dos mesmos. Além disso, de entre outras vantagens, descreveram vários impactos positivos do BIM para a redução de resíduos nos estaleiros, tais como: obter detalhes pormenorizados de como reduzir o lixo nos estaleiros e consequentemente obter melhores resultados na deteção de acidentes; melhorar o planeamento do projeto e naturalmente proporcionar uma menor probabilidade de cometer erros, evitando a repetição de tarefas; compreender previamente o projeto pelo cliente evitando mudanças do mesmo em estaleiro; melhorar a compreensão do projeto pelos empreiteiros; melhorar a comunicação entre toda a equipa de projeto; criar um projeto multidisciplinar eficiente que conduz à redução de resíduos nos estaleiros. Relativamente

à análise das respostas da segunda parte direcionadas às causas da produção dos resíduos, mostrou-se, num consenso, que a partilha de um modelo 3D comum a todas as áreas da construção de um projeto pode melhorar a comunicação e a coordenação entre todos, diminuindo o desperdício causado pela falta de organização. Na terceira e última parte da análise das respostas, concluiu-se que os respondentes concordaram que o BIM tem um grande potencial para ajudar na minimização dos resíduos ao longo de todas as fases do projeto. De seguida procedeu-se à análise do desenvolvimento da estrutura de minimização de resíduos provenientes da construção com o auxílio do BIM. Concluiu-se que a estrutura tem a capacidade de ser executada em vários níveis do BIM, assim como de aperfeiçoar outras plataformas já existentes. Verificou-se também que com a pesquisa aumentou-se a compreensão da relação entre as causas dos resíduos durante cada fase de projeto e a capacidade do BIM para minimizar os desperdícios na construção.

Este último estudo aqui resumido revelou-se bastante abrangente, uma vez que a minimização dos resíduos diminui os impactos ambientais, reduz os custos das construções e ainda, com o controlo dos desperdícios aumenta-se a qualidade de trabalho dos estaleiros devido à maior organização dos mesmos.

3.7.3 Conclusão

Optou-se pela introdução desta temática – o BIM e o ambiente – para dar a conhecer novos rumos do BIM, além daqueles que são maioritariamente analisados. Este tema prende-se com a atual preocupação acerca das alterações climáticas que, nos últimos anos, têm vindo a preocupar a comunidade científica.

Como se verificou, já é possível encontrar abordagens que aumentam a sustentabilidade dos edifícios e, conseqüentemente, encontrem soluções que aumentam o desempenho energético dos edifícios.

Para além disso, outro tema foi abordado, nomeadamente, o planeamento e gestão ambiental na construção com o objetivo de melhorar as diretivas ambientais atualmente implementadas. Deste estudo inferiu-se, que para obter resultados eficientes, todas as áreas AEC devem estar perfeitamente envolvidas.

A minimização dos resíduos também apresenta um fator importante, não só para o ambiente, mas também para a segurança dos utentes de um estaleiro. O objetivo desta temática é reduzir os resíduos provocados pela construção. A abordagem utilizada para o estudo do tema, mostrou-se ser eficiente na minimização dos desperdícios ao longo de todas as tarefas de construção de um projeto. Além disso, menos resíduos representam menos custos associados. A abordagem permite afirmar que, maior controlo de desperdícios traduz-se numa maior qualidade nos trabalhos nos estaleiros.

Com as diretivas que vão sendo publicadas a nível mundial, relativas às metas ambientais a alcançar nos próximos anos, torna-se fundamental o estudo de novas práticas para implementar uma política amiga do ambiente.

3.8 Os custos da utilização do BIM

Ao longo da revisão bibliográfica observou-se que vários estudos indicam a utilização do BIM para a redução de custos em várias áreas da construção civil. Por um lado, aponta-se um elevado investimento para a integração do BIM nas empresas, por outro observa-se a potencialidade de um retorno financeiro a médio/longo prazo (dependendo da quantidade de projetos que as empresas realizem com o BIM).

Um dos motivos para o governo do Reino Unido ter implementado uma política de obrigação do uso do BIM nos projetos de construção públicos a partir de 2016 [4] foi, além de outros motivos, reduzir os custos de ativos e alcançar uma maior eficiência operacional [1]. No total estimaram reduzir em 20% os custos totais no setor da construção [4].

Devido ao aumento da complexidade dos edifícios, os custos e riscos adjacentes à sua construção são cada vez mais altos, por isso torna-se mais nítido o potencial valor do BIM, assim como o retorno de investimento associado à sua implementação [37].

A implementação do BIM exige investimentos no futuro e um dos maiores obstáculos é que muitas empresas trabalham com margens de lucro muito pequenas, provocando a sua incapacidade de investimento nesta tecnologia para obter lucros a longo prazo. [43].

A Figura 18 representa a porcentagem de empresas com retorno de investimento positivo devido à implementação do BIM. Estes dados são referentes a um estudo realizado em 2013 [18]. Pela análise da Figura 18, as empresas com maiores valores de retorno de investimento são pertencentes ao Japão, Alemanha e França.

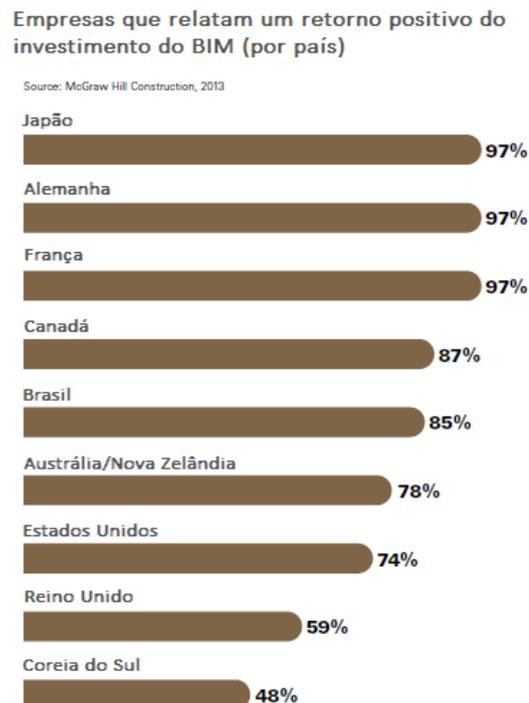


Figura 18 – Percentagem de empresas com retorno de investimento positivo do BIM (adaptado de [18])

Segundo [18], os custos reduzidos, a maior rentabilidade e produtividade são os fatores mais importantes para medir o retorno de investimento.

3.9 Desvantagens na utilização do BIM

Ao longo da revisão da literatura foram identificadas várias vantagens da utilização do BIM nos projetos. Contudo, identificou-se também algumas desvantagens que a implementação do BIM apresenta nas diversas áreas da construção civil.

Para elaborar um modelo é necessário um trabalho manual na configuração do BIM para posteriormente introduzir os dados do projeto, que se pode tornar cansativo e enfadonho [16, 22].

É sugerida a colaboração apertada entre os intervenientes de um projeto para garantir uma maior precisão dos modelos, diminuindo a probabilidade de introdução de dados errados nos mesmos, situação que pode ser descuidada [23].

Uma fraqueza identificada nas ferramentas BIM está relacionada com o tempo para as visualizações. Por vezes, pode tornar-se demorado, tanto a elaboração do modelo como a sua análise. Outro problema identificado é a falta de componentes específicos para o planeamento do estaleiro, que torna o processo mais lento [5].

3.10 Conclusão

4 ESTALEIRO DA CONSTRUÇÃO DO TÚNEL DO MARÃO

4.1 Enquadramento

Na serra do Marão encontra-se o maior túnel rodoviário da Península Ibérica. Na realidade, são apresentados dois túneis paralelos, sendo um túnel para cada sentido com duas vias de trânsito. Entre duas cidades, Amarante a poente e Vila Real a nascente, o túnel apresenta uma extensão de 5665 metros. Possui um trajeto retilíneo e varia entre as cotas 645 metros, a poente, e 773 metros, a nascente.

O túnel foi concebido apresentando o fator segurança como uma prioridade para os utentes. No seu interior encontra-se um sistema de deteção automática de incidente apoiada por um sistema de videovigilância com várias câmaras dispersas ao longo do trajeto.

Para unir os dois sentidos de trânsito existem 15 passagens para veículos/peões, que podem servir de escoamento em caso de um incidente ocorrido no interior de uma das galerias do túnel. Para facilitar as comunicações no interior é possível obter rede de telemóvel, contudo o túnel apresenta vários postos SOS.

4.2 Implementação dos estaleiros

4.2.1 Dificuldades e restrições

As necessidades de um estaleiro de construção diferem conforme os métodos de escavação adotados para a construção de um túnel [20]. Para o túnel do Marão recorreu-se ao Método de Escavação Sequencial (MES).

A Figura 19 representa a sequência da construção do método adotado para a construção [19].

Legenda:

- 1 – Marcação topográfica da face de escavação;
- 2, 3 e 4 – Escavação sequencial da massa rochosa, por meios mecânicos ou com explosivos;
- 5 – Ventilação da área escavada;

- 6 – Remoção de detritos. Os detritos resultantes da escavação são transportados para um espaço livre nas proximidades;
- 7 – Limpeza mecânica ou manual da escavação, para remover massa rochosa instável;
- 8 – Aplicação de betão projetado e dispositivos de estabilização.

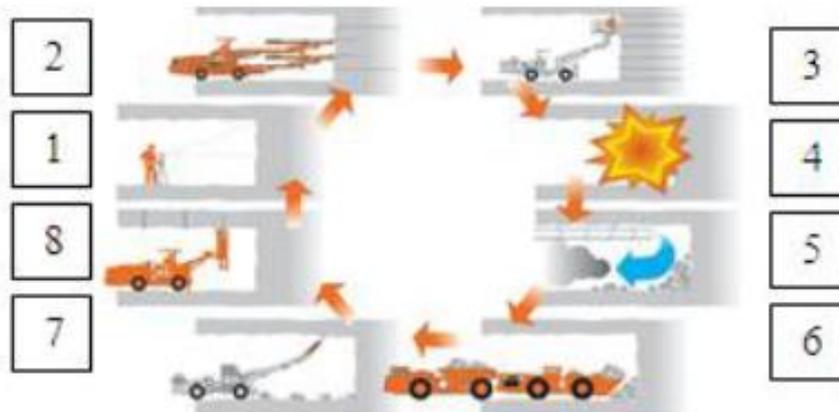


Figura 19 – Diagrama da sequência de construção do MES (adaptado de [19])

Para este método existem riscos associados à quantidade de mão-de-obra, materiais e equipamentos necessários para trabalhos simultâneos, de alto risco, no mesmo espaço, conduzindo a perigos de inalação de partículas perigosas, atropelamentos ou soterramentos para os trabalhadores [8].

No setor da construção, em Portugal, a simultaneidade de trabalhos de alto risco no mesmo espaço são agravados devido à exigência de elevadas taxas de produção que, juntamente com os orçamentos de baixas margens financeiras, originam um baixo investimento na área da prevenção [19].

Sendo um estaleiro montado conforme as necessidades da obra, torna cada estaleiro único. Para evitar acidentes de trabalho, devem ser consideradas todas as regras de segurança impostas para cada tarefa de construção. O Túnel do Marão foi uma obra que exigiu a mobilização de um conjunto considerável de meios técnicos e grandes quantidades de equipamentos e instalações devido à sua elevada envergadura financeira e complexidade logística e técnica.

Por se tratar de um túnel houve a necessidade de montagem de dois estaleiros de construção, nascente e poente, que foram implementados em locais de difícil acesso tendo sido considerados locais delicados tanto a nível social como ambiental.

O estaleiro nascente encontrava-se bastante próximo de habitações, tendo os acessos utilizados sido os mesmos tanto para os habitantes locais como para os utentes da obra. Nas Figura 20 e Figura 21 pode constatar-se a proximidade das residências e do estaleiro.



Figura 20 – Estaleiro nascente (Fonte: Google Maps)



Figura 21 – Acesso ao estaleiro nascente (Fonte: Google maps)

Para além disso, a estrada utilizada era relativamente estreita comparativamente com a dimensão dos veículos utilizados na construção. Sendo um dos locais mais complexos o

entroncamento da estrada nacional 15 (N15) com o caminho de acesso ao estaleiro, que se pode confirmar na Figura 22.



Figura 22 – Detalhe do entroncamento da N15 com o acesso ao estaleiro (Fonte: Google maps)

Por sua vez, o presente estaleiro situava-se entre duas encostas montanhosas, sendo o estaleiro com mais restrições de espaço (Figura 23), motivo pelo qual se optou pela modelação do mesmo.



Figura 23 – Estaleiro nascente entre encostas (Fonte: Teixeira Duarte)

Pelos motivos anteriormente descritos, optou-se pela modelação do estaleiro nascente, por se pensar que apresentava mais riscos, tanto para os utentes do estaleiro como para os habitantes que residiam nas mediações.

Relativamente ao estaleiro poente, este também se encontrava entre duas encostas montanhosas, como se pode visualizar na Figura 24. Apesar do fator localização, o espaço deste era mais folgado e sem habitações nas proximidades, o que evitou preocupações de maior.



Figura 24 – Estaleiro poente entre encostas (Fonte: Teixeira Duarte)

A Figura 25 apresenta uma perspetiva geral do estaleiro poente onde se pode verificar que apresentava melhores condições de espaço comparando com o estaleiro nascente.



Figura 25 – Estaleiro ponte (Fonte: Google maps)

Devido às reduzidas dimensões dos estaleiros - considerando a grandiosidade da obra – surgiram certas dificuldades na gestão do espaço. Tornou-se complicada a conjugação da circulação de veículos com os utentes nos respetivos caminhos pedonais. Além disso, o espaço tornou-se diminuto para a montagem de instalações, nomeadamente a oficina mecânica, oficina de eletricidade, instalações do refeitório e vestiários e também para o estacionamento.

Outro percalço encontrado foi a acumulação de lamas (em tempo de maior pluviosidade/neve) e/ou levantamento de poeiras (em tempo seco), criando dificuldades no trânsito, dificuldades essas que afetaram todos os utentes do estaleiro.

O armazenamento de combustíveis inseridos no meio ambiente revelou-se, também, uma preocupação. Em caso de derrame, teria um impacto ambiental preocupante.

A água foi uma presença assídua durante toda a jornada de construção, tanto nas escavações no interior do túnel (devido aos lençóis freáticos) como no exterior. Por causa disso, houve sempre a consciencialização para a possibilidade de deslizamento de terras, o que poderia, efetivamente, conduzir a soterramentos, devido aos declives acentuados em volta.

Face aos prazos estabelecidos houve a necessidade de suportar várias tarefas em simultâneo, tais como trabalhos de escavação, revestimentos definitivos e infraestruturas enterradas. Para

conseguir suportar todas as tarefas simultaneamente, foram necessárias grandes quantidades de recursos humanos e equipamentos.

4.3 Medidas preventivas implementadas em obra

De modo a proporcionar um funcionamento do estaleiro mais estável e seguro, evitando situações de perigo, foram implementadas em fase de obra certas medidas preventivas.

4.3.1 Barreiras entre vias

Foram colocadas barreiras de separação entre vias de circulação pedonal e rodoviária com respetiva sinalização (Figura 26).



Figura 26 – Separação entre vias de circulação (Fonte: Teixeira Duarte)

A Figura 27 apresenta uma simulação de uma situação de separação de vias para peões e viaturas. Tentou fazer-se uma aproximação dos materiais utilizados, mas não foram encontradas nas famílias de objetos disponíveis o tipo de separação em betão representada na Figura 26 e optou-se por colocar outro material. Relativamente à sinalização vertical não foi encontrada nenhuma deste tipo.

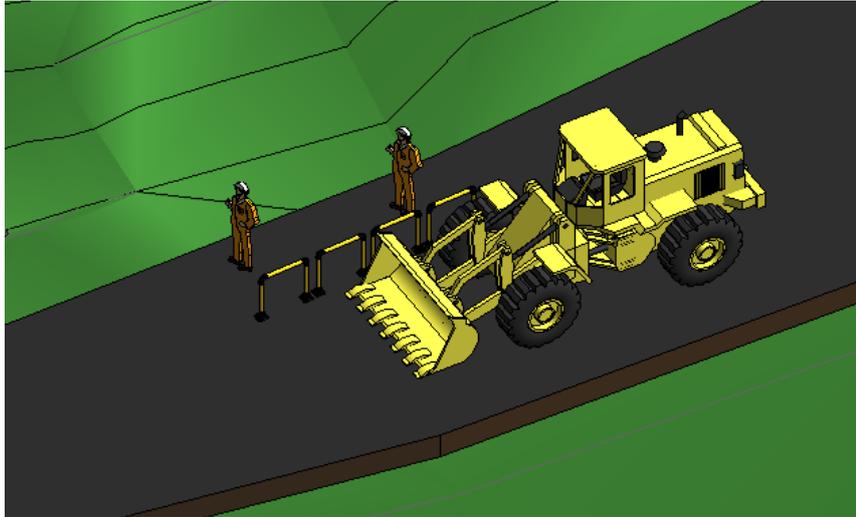


Figura 27 – Separação entre vias de circulação

4.3.2 Escadas e passadiços

No trajeto em que a largura não era suficiente para a implementação da medida anterior, colocaram-se escadas com passadiços para evitar que os trabalhadores não se cruzassem com veículos no acesso ao túnel (Figura 28).



Figura 28 – Escadas de acesso (Fonte: Teixeira Duarte)

4.3.3 Delimitação de estradas com declive

Como já foi referido, os estaleiros encontravam-se entre zonas de acentuados declives e, por isso houve a necessidade de delimitar as encostas para minimizar o risco de aproximação das margens. Para tal, colocaram-se segmentos móveis pré-fabricados para curvas e margens em terra em linhas retas (Figura 29) [21].



Figura 29 – Delimitação das estradas [21]

4.3.4 Manutenção de equipamentos de proteção coletiva

Em obras de grande dimensão é importante a existência de uma equipa de manutenção de equipamentos de proteção coletiva para garantir que os mesmos estejam sempre em boas condições. Essa equipa denomina-se por “animadores de segurança”, que estão sob a alçada dos Técnicos de Segurança. Como tal, a equipa de segurança para o túnel do Marão foi responsável pela montagem e manutenção de sinalização vertical, equipamentos de proteção contra incêndio e redes de delimitação [21].

Estas medidas permitiram a tão ambicionada meta da não ocorrência de acidentes mortais em obra.

4.4 Caracterização das instalações

Neste ponto estão descritas as instalações implementadas nos estaleiros. Para o estaleiro nascente é possível comparar a distribuição das instalações dos desenhos 2D com o modelo

tridimensional. No caso do estaleiro poente, como não se modelou, optou-se, mesmo assim, por se colocar um inventário das instalações.

4.4.1 Estaleiro nascente

Para uma melhor visualização houve a necessidade de dividir os desenhos em duas partes. A Figura 30 e a Figura 31 são um excerto dos desenhos em formato *dwg* (*AutoCad*) do estaleiro.

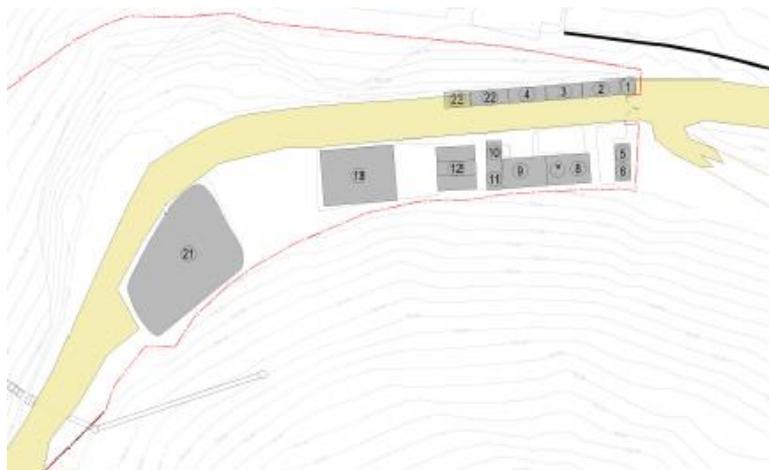


Figura 30 – Instalações do estaleiro nascente em *dwg*

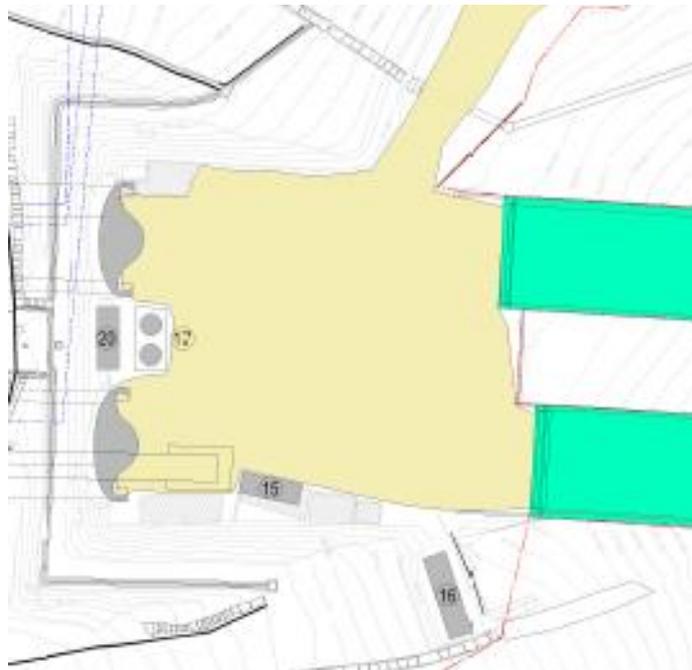


Figura 31 – Instalações do estaleiro nascente em *dwg*

A Figura 32 e Figura 33 são relativas ao modelo 3D. De referir que as instalações 14, 18 e 19 não se encontram no modelo por não estarem presentes no interior do estaleiro, mas sim nas imediações. No Anexo A e B apresentam-se imagens onde é possível uma visualização global do estaleiro em desenho (*dwg*) e do modelo respetivamente.



Figura 32 – Instalações do estaleiro nascente em *rvt*



Figura 33 – Instalações do estaleiro nascente em *rvt*

Tanto os desenhos 2D como os modelos partilham a mesma legenda que se apresenta a seguir.

Legenda:

- | | |
|--|---|
| 1 – Portaria / Posto de guarda | 12 – Armazém de peças |
| 2 – Posto de primeiros socorros | 13 – Oficina de mecânica |
| 3 – Escritório de apoio de obra | 14 – E.T.A.R.I. |
| 4 – Armazém de material elétrico | 15 – Sistema de ventilação do túnel |
| 5 – Escritório de frente de obra
(Engenharia) | 16 – Posto de transformação - PT |
| 6 – Escritório de frente de obra
(Encarregados) | 17 – Depósitos de aditivos |
| 7 – Refeitório | 18 – Escritórios do empreiteiro |
| 8 – Vestiários/I.S. | 19 – Escritórios do dono de obra |
| 9 – Oficina elétrica | 20 – Controlo de entradas do túnel |
| 10 – Encarregado de mecânica | 21 – Zona de depósito de resíduos |
| 11 – Encarregado de elétrica | 22 – Armazém de lubrificantes |
| | 23 – Telheiro de aditivos para máquinas |

4.4.2 Estaleiro poente

Na Figura 34 pode-se visualizar a distribuição das instalações no estaleiro poente, seguindo-se respetiva legenda. No anexo C encontra-se uma vista geral do estaleiro.

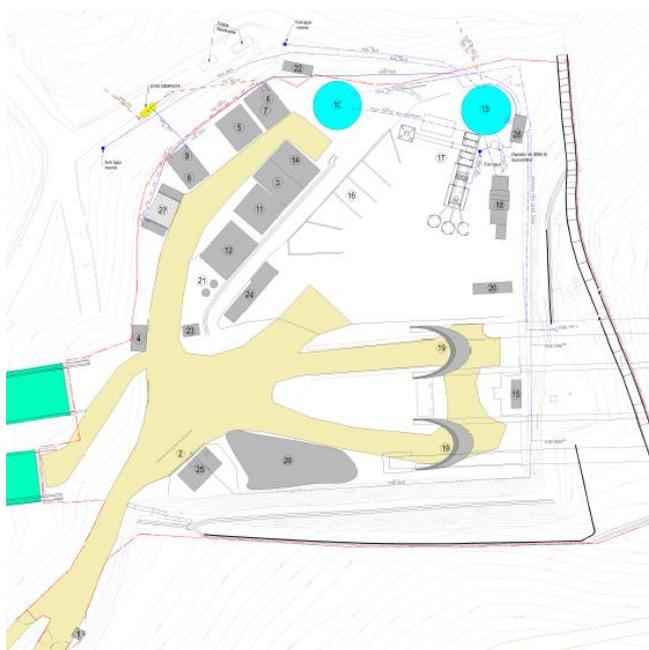


Figura 34 – Instalações do estaleiro poente em *dwg*

Legenda:

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1 – Portaria / Posto de guarda | 16 – Bacias de inertes |
| 2 – Lavagem de rodados/Báscula | 17 – Central de betão |
| 3 – Ferramentaria | 18 – E.T.A.R.I. |
| 4 – Posto de primeiros socorros | 19 – Sistema de ventilação do túnel |
| 5 – Armazéns | 20 – Posto de transformação - PT |
| 6 – Escritório dono de obra | 21 – Depósito de aditivos |
| 7 – Escritório do empreiteiro | 22 – E.T.A.R compacta |
| 8 – Vestiários/I.S. | 23 – Lavagem de auto-betoneiras |
| 9 – Refeitório | 24 – Depósitos de produtos químicos |
| 10 – Bacia de decantação | 25 – Zona de lavagem de máquinas e
veículos |
| 11 – Oficinas | 26 – Zona de depósito de resíduos |
| 12 – Parque de manutenção | 27 – Laboratório |
| 13 – Depósito de água | 28 – Casa das bombas hidropressoras |
| 14 – Oficina eletromecânica | |
| 15 – Controle de entradas do túnel | |

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste ponto estão expostas situações para as quais a metodologia BIM pode ser útil para a gestão de estaleiros, direcionada à segurança e saúde, de forma a prever e prevenir possíveis situações de risco para os intervenientes. De referir que o estaleiro foi sendo manipulado conforme necessidade de expor situações.

5.1 Cruzamento entre veículos e pessoas

O estaleiro mantinha muita circulação, tanto de veículos como de pessoas e, por isso, constituía um risco constante para os trabalhadores devido ao congestionamento. A Figura 35 e Figura 36 representam uma simulação de cruzamento entre pessoas e veículos no mesmo espaço e como se pode visualizar as margens de manobra são reduzidas. A zona representada na Figura 35 foi considerada crítica, uma vez que se situa entre instalações, com a entrada e saída dos utentes das mesmas. O estudo deste ponto revelou-se importante devido à ocorrência de conflitos entre viaturas e peões, por causa do limitado espaço do estaleiro, que dificultou a sua gestão.



Figura 35 – Cruzamento entre veículos e pessoas



Figura 36 – Cruzamento entre veículos e pessoas

5.2 Cruzamento entre veículos

Tal como na situação anterior o cruzamento de veículos também deve ser avaliado. O estaleiro suportou vários tipos de tarefas e com isso variados tipos de veículos/máquinas em grandes quantidades.

Em situações meteorológicas desfavoráveis - chuva e neve – surgiu o aparecimento de lamas, o que tornou o piso escorregadio e com isso a necessidade acrescida de precaução nos trabalhos. Daí a importância da antevisão das situações para evitar danos maiores. As Figura 37 e Figura 38 apresentam as simulações feitas no modelo 3D.

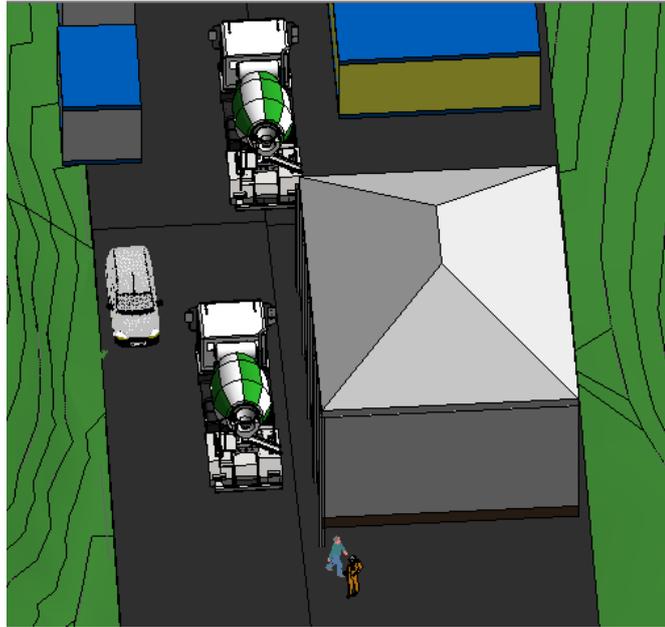


Figura 37 – Cruzamento entre veículos

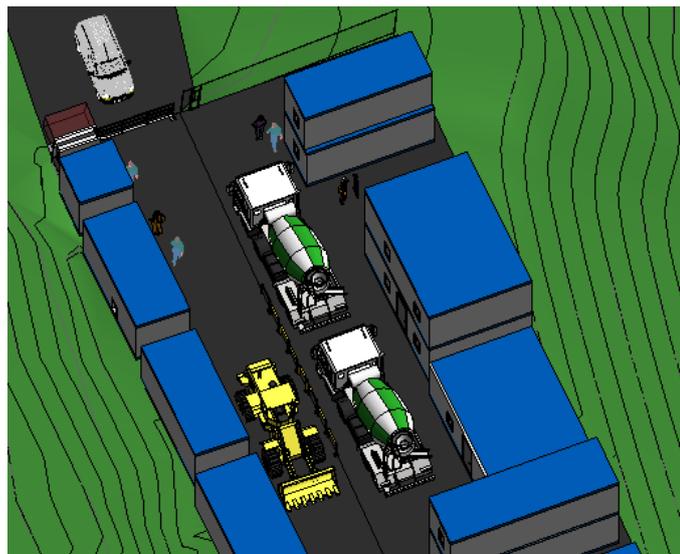


Figura 38 – Cruzamento entre veículos/máquinas

5.3 Controlo na entrada do estaleiro

Obras de grande envergadura e complexidade como o Túnel do Marão carecem de grandes quantidades de mão-de-obra e materiais, o que obriga a controlo rigoroso, à entrada do estaleiro, não só dos materiais, mas também dos utentes, para que ninguém entre sem ser devidamente identificado, não se pondo em risco a si próprio, nem aos restantes trabalhadores.

Na modelação, para a entrada optou-se por colocar um dispositivo mecanizado por se pensar ser mais eficaz (Figura 39).

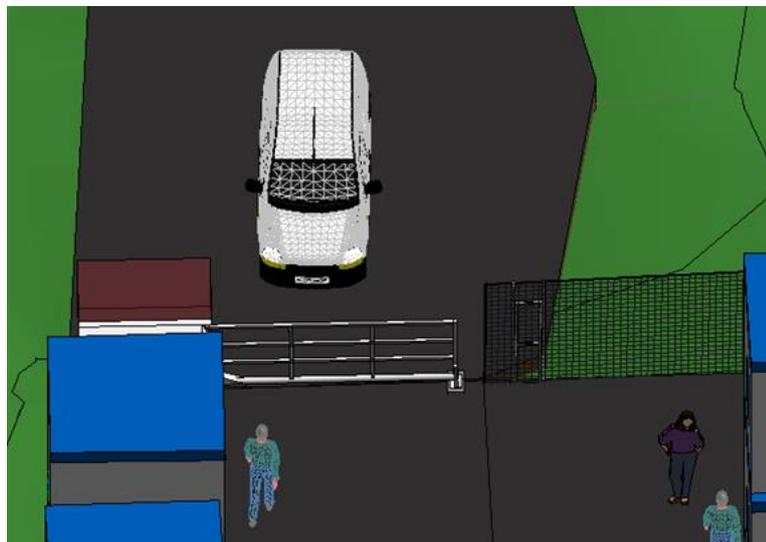


Figura 39 – Entrada do estaleiro nascente

5.4 Otimização do espaço

Como já foi referido - e foi possível perceber pelas figuras relativas ao estaleiro que foram aqui sendo expostas ao longo do trabalho -, o estaleiro apresentava reduzidas dimensões considerando a grandiosidade dos trabalhos. Esta situação conduz à necessidade de otimizar o espaço de modo a armazenar os materiais/equipamentos de uma maneira organizada e, ao mesmo tempo acessível a todos.

Uma possível solução passa pelo armazenamento dos materiais e equipamentos num local próximo daquele onde vão ser utilizados. Esta medida permite uma menor deslocação dos utentes pelo estaleiro, diminuindo a sua exposição aos perigos circundantes. Além disso, evita-se a superlotação dos armazéns e todas as desvantagens que este fator acarreta.

5.5 Simultaneidade de tarefas

Devido ao fato de a obra ter enfrentado um prazo de término relativamente curto houve a necessidade de realizar tarefas em simultâneo. Para que tal fosse exequível, foram necessárias grandes quantidades de equipamentos e mão-se-obra. Para além disso, para que tudo corra de

forma ordenada é necessário um correto planeamento das tarefas, assim como um rigoroso inventário dos tipos e quantidades de materiais, equipamentos e mão-de-obra, de modo a não ocorrer perdas de tempo.

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como se verificou, foram várias as situações consideradas de risco que poderiam conduzir à ocorrência de acidentes de trabalho graves/mortais.

Tanto para o caso do cruzamento de veículos e pessoas, como para o cruzamento de veículos apenas, a modelação tridimensional pode melhorar os métodos atuais de prevenção. Com a manipulação do modelo, conforme as situações consideradas perigosas, é possível um estudo prévio de medidas preventivas, medidas essas que podem ser descritas nos planos da segurança de construções futuras, juntamente com imagens, e, ainda, o acesso à visualização tridimensional por um computador ou outra ferramenta eletrónica.

Relativamente à otimização do espaço, podem estudar-se todas as opções de arrumação do estaleiro, tanto a nível de materiais como de equipamentos, de uma forma antecipada. A organização é uma qualidade considerada importante para o bom funcionamento de qualquer local de trabalho e os estaleiros da construção não são exceção. Sendo assim, esta pode ser uma solução eficaz para ajudar na otimização do espaço dos estaleiros. É um método útil não só para armazenamento, mas também para otimizar a gestão da circulação de viaturas. Com o estaleiro devidamente organizado ganha a segurança dos trabalhadores. Além disso, com o modelo acessível a todos, sabendo-se os lugares dos materiais atempadamente, é possível evitar perdas de tempo na procura e arrumação dos mesmos. Outra vantagem é a capacidade de poder visualizar-se a disposição dos equipamentos de uma forma antecipada, conseguindo-se ter uma noção do resultado final.

Uma obra é dividida por etapas e cada etapa engloba diferentes tarefas de construção. Por sua vez, cada tarefa de construção precisa de materiais e equipamentos específicos para a sua execução. Nesse sentido, o BIM vem prestar um grande contributo na organização da evolução dos trabalhos. Com um correto alinhamento das tarefas e respetiva calendarização conseguem realizar-se simulações no modelo 3D, com a colocação exata dos recursos que uma determinada tarefa precise. Evita-se a colocação dos recursos em excesso no estaleiro ou, por outro lado, a preocupação pela falta deles. Assim, torna-se possível a visualização antecipada do estaleiro conforme o andamento da obra.

Como já foi referido na presente dissertação, a simultaneidade de tarefas acarreta vários fatores para os quais é essencial uma atenção cuidada, tais como o número de trabalhadores e equipamentos que podem conduzir ao congestionamento e respetiva confusão no estaleiro. Como foi já analisado, pode-se recorrer à visualização tridimensional do estaleiro conforme a evolução da construção. Ao executar a manipulação do estaleiro e simular quais as tarefas que vão ser desenvolvidas em simultâneo, é possível analisar se as respetivas tarefas são compatíveis entre si. Pode investigar-se se os trabalhos apresentam algum risco para os utentes e, caso existam, identificá-los e, de seguida, adotar medidas de prevenção para os enfrentar. Por outro lado, se se pretender, caso o risco não compense, podem estudar-se outras formas de fazer os mesmos trabalhos, sempre modificando o modelo até encontrar a solução ideal, minimizando os riscos para os utentes.

Emparelhada com todas estas análises está a comunicação. Um bom método de comunicação entre todos os intervenientes da obra é fundamental para o bom funcionamento da mesma. Todas estas análises não são eficazes se todos os trabalhadores não estão sintonizados com todos os acontecimentos do estaleiro. Uma vantagem é que se torna possível a visualização tridimensional do modelo em estaleiro, o que possibilita a todos os trabalhadores o acesso ao mesmo, auxiliando a passagem das medidas preventivas no local.

6.1 Dificuldades encontradas

Ao longo do desenvolvimento desta dissertação, como se tornou já visível, foram encontradas algumas dificuldades.

Por um lado, que o assunto “Segurança e Saúde em estaleiros da construção utilizando o BIM” está pouco estudado a nível nacional, tendo sido encontrados estudos feitos apenas a nível internacional. Nota-se que a Europa está já bem encaminhada para a adoção desta metodologia.

Por outro lado, e ao nível de modelação, é notório que a autora desta dissertação está ainda nos primeiros passos, tendo encontrado dificuldades ao longo da elaboração do modelo. Uma dificuldade que se encontrou é relativa às famílias de objetos que estão disponíveis nas várias plataformas. Houve dificuldade em encontrar objetos relacionados com estaleiros, nomeadamente, equipamentos, maquinarias, veículos, vedações normalmente utilizadas para

vedar o recinto e também no encontro de sinalização vertical e até de trabalhadores/pessoas (em 3D). De referir que não foram exploradas todas as plataformas existentes de onde era possível descarregar famílias por estas não serem gratuitas, o que dificulta o trabalho dos estudantes.

7 CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTUROS

7.1 Conclusões

A realização deste estudo representa uma primeira abordagem da utilização da metodologia BIM como instrumento de apoio ao planeamento da segurança e saúde nos estaleiros.

Pela revisão bibliográfica foi possível inferir que Portugal está nos primeiros passos da implementação do BIM nos seus projetos, enquanto que países do norte da Europa já fazem desta metodologia quotidiano. Além disso, concluiu-se que, em Portugal, à semelhança de outros países, o aumento da utilização do BIM vai acontecer quando a lei assim o exigir.

Conclui-se, também, através da revisão da bibliografia, que muitos dos estudos analisados são relativos à prevenção e mitigação de riscos mais direcionados às quedas em altura, por isso, torna-se uma necessidade ampliar esta visão.

Concluiu-se que o BIM apresenta diversas vantagens como ferramenta de prevenção, a saber: permite antever situações de risco, apresentando-se como um utensílio válido na gestão dos mesmos; minimiza o risco de atropelamento em obra e os erros em estaleiro devido à inadequada interpretação dos desenhos. Para além disso, apresenta-se também como um potencial meio para a evolução da comunicação entre intervenientes. A otimização do planeamento de meios a afetar o estaleiro também se concluiu ser uma vantagem do BIM, uma vez que permite maximizar a sua produtividade e conseqüentemente, surge como potencial método para a redução dos custos e desperdícios de tempo.

Como se verificou, tornar-se praticável o estudo prévio de medidas de segurança e soluções preventivas para os casos analisados, pelo que se concluiu que podem ser evitadas a tomada de decisões precipitadas no local. Por último, concluiu-se que o BIM é um instrumento que vem ajudar a aumentar o controlo do estaleiro, especialmente se estes suportarem grandes obras.

As visualizações tridimensionais são mais dinâmicas, mais rápidas e menos cansativas do que os desenhos de duas dimensões. Contudo, é necessária a introdução de equipamentos

eletrônicos nos estaleiros. Além disso, para as empresas conseguirem introduzir o BIM nos seus projetos têm de efetuar um investimento inicial, não só na compra dos programas de modelação, mas também na formação dos seus trabalhadores.

Para uma melhor gestão da segurança, concluiu-se que o ideal é esta prática ter início na fase de projeto, incluindo a participação ativa de todos os intervenientes, situação que o BIM poderá ajudar a fomentar. Sendo assim, o BIM mostrou-se essencial na imposição de uma política de segurança para todos os projetos da construção.

Concluiu-se que, uma vantagem da utilização do BIM, é o aumento na qualidade dos planos de gestão dos estaleiros a um nível geral. A metodologia permite que, planos de segurança e saúde, sejam mais completos e eficazes na sua implementação. Atendendo a que o país se encontra numa situação economicamente frágil, a qualidade, de um modo geral, é um dos principais fatores de destaque em relação à concorrência.

Refira-se ainda que o BIM vem desafiar mentalidades a eliminar os procedimentos atualmente utilizados na gestão e planeamento da construção, o que poderá enfrentar resistências por parte das empresas de construção.

7.2 Estudos futuros

A nível de estudos futuros, pode afirmar-se que ainda há muito por explorar na área da saúde e segurança dos estaleiros com a metodologia BIM, acreditando-se ser uma potencialidade futura.

Além do aperfeiçoamento da técnica utilizada neste estudo, existem ainda vários ramos da engenharia onde o BIM deve ser explorado para a prevenção, como exemplo, trabalhos com o manuseamento de produtos químicos e trabalhos em minas. Torna-se importante estudar mais técnicas, de modo a providenciar métodos mais eficazes de controlo dos estaleiros, para situações de riscos tanto para os utentes como para o ambiente.

Devem então ser estudados mais métodos e abordagens por forma a tornar o processo de planeamento de segurança uma prática padrão para a Construção Civil.

REFERÊNCIAS

- [1] HM Government, “Building Information Modelling.”, Industrial Strategy - Government and Industry in Partnership, Government Report, London, 2012.
- [2] Z. Liu, M. Osmani, P. Demian, and A. Baldwin, “Automation in Construction A BIM-aided construction waste minimisation framework,” *Autom. Constr.*, vol. 59, no. 2015, pp. 1–23, 2016.
- [3] Venâncio, M., “Avaliação da implementação de BIM – Building Information Modeling em Portugal,” Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [4] Cabinet Office, “Government Construction Strategy,”, UK Government Report,. Cabinet Office, London, 2011.
- [5] Sulankivi, K. Kahkonen, K. Makela, T. and Kiviniemi, M. “4D-BIM for Construction Safety Planning,” In W099-Special Track 18th CIB World building Congress, Salford, United Kingdom, pp117, 2010.
- [6] G. I. J. M. Zwetsloot, P. Kines, R. Ruotsala, L. Drupsteen, M. Merivirta, and R. A. Bezemer, “The importance of commitment , communication , culture and learning for the implementation of the Zero Accident Vision in 27 companies in Europe,” *Safety Science.*, vol. 96, pp. 22–32, 2017.
- [7] J. Chiusano, C. Singh, “Creating BIM Site Safety Plans.”, Assistant Chief Architect, Technical Review, BIM manager, Technical Review. NYC Buildings, Build Safe/Live Safe Conference, 2013.
- [8] M. Tender & J. Couto, (2016) “Analysis of Health and Safety Risks in Underground Excavations – Identification and Evaluation by Experts,” vol. 9, no. 6, pp. 2957–2964, 2016.
- [9] C. Sofia, “O Sector da Construção Civil em Portugal a Necessidade de uma Cultura de Segurança e de Prevenção” Dissertação de Mestrado em Economia e Gestão de Recursos Humanos, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [10] Autoridade para as Condições de Trabalho, “Acidentes graves.” [Online]. Disponível: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoGraves.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoGraves.aspx). [Acedido: 10-Nov-2017].

- [11] Autoridade para as Condições de Trabalho, “Acidentes de trabalho mortais.” [Online]. Disponível: [http://www.act.gov.pt/\(pt-PT\)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx](http://www.act.gov.pt/(pt-PT)/CentroInformacao/Estatistica/Paginas/AcidentesdeTrabalhoMortais.aspx). [Acedido: 10-Nov-2017].
- [12] Fernandes, J., Couto, J., & Tender, M. (2016) “Utilização do BIM na gestão de segurança do estaleiro da construção do Túnel do Marão” 1º Congresso Português de *Building Information Modelling*, Universidade do Minho, Guimarães.
- [13] Tender, M., Couto, J., & Fernandes, J. (2017) Using BIM for risk management on a construction site. *Occupational Safety and Hygiene V*, Arezes et al. (ED), pp. 269-272. Londres: Taylor & Francis.
- [14] I. B. Solutions, “What is BIM?” [Online]. Disponível: <https://ibimsolutions.lt/articles/what-is-bim/?lang=en>. [Acedido: 18-Nov-2017].
- [15] BibLus, “IFC e BIM: IFC, o que é e para que serve? Qual é a ligação com o BIM?” [Online]. Disponível: <http://biblus.accasoftware.com/ptb/ifc-o-que-e-e-para-que-serve-qual-e-a-ligacao-com-o-bim/>. [Acedido: 18-Nov-2017].
- [16] L. A. Zachary E. Zettler, AIA, “Four ways to maximize your BIM.” [Online]. Disponível: <https://www.constructionspecifier.com/four-ways-to-maximize-your-bim/>. [Acedido: 18-Nov-2017].
- [17] “BEXEL Consulting - Conflict analysis.” [Online]. Disponível: <http://bixelconsulting.com/solutions/conflict-analysis/>. [Acedido: 18-Nov-2017].
- [18] K. Fox, B. Morton, and J. Ramos, "The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the world Are Driving Innovation With Building Information Modeling", Smart Market Report, 2014.
- [19] Tender, M., Couto, J., Ferreira, T. (2015) “Prevention in underground construction with Sequential Excavation Method.”, *Occupation Safety and Hygiene III*, Arezes et al. (ED), pp.421-424. Londres: Taylor & Francis.
- [20] Tender, M., & Couto, J. (2016) “ ‘ Safety and health ’ as a criterion in the choice of tunnelling method.” *Occupational Safety and Hygiene IV*, Arezes et al. (ED), pp. 153-157. Londres: Taylor & Francis.
- [21] Tender, M., Gomes, A., Couto, J. (2015) “Portuguese strengths and fragilities on Safety and Health practices.” "SEE Tunnel: Promoting Tunneling in SEE Region", ITA WTC 2015 Congress and 41st General Assembly., May 22-28, 2015Lacroma Valamar Congree Center, Dubrovnik, Croatia..
- [22] V. Getuli, S. Mastrolembo, P. Capone, and A. L. C. Ciribini, “BIM-based code checking

- for construction health and safety,” *Procedia Engineering.*, Science Direct, vol. 196, no. June, pp. 454–461, 2017.
- [23] S. Azhar, D. Ph, and A. Behringer, “A BIM-based Approach for Communicating and Implementing a Construction Site Safety Plan,” 49th ASC Annual International Conference Proceeding, 2013.
- [24] K. Sulankivi, S. Zhang, J. Teizer, M. Charles, M. Kiviniemi, I. Romo, and L. Granholm, “Utilization of BIM-based Automated Safety Checking in Construction Planning.”, 2013.
- [25] S. Zhang, K. Sulankivi, M. Kiviniemi, I. Romo, C. M. Eastman, and J. Teizer, “BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning,” *Safety Science*, vol. 72, pp. 31–45, 2015.
- [26] S. Azhar, A. Behringer, A. Sattineni, and T. Maqsood, “BIM for Facilitating Construction Safety Planning and Management at Jobsites,” pp. 82–92.
- [27] K. Sulankivi, T. Makela, M. Kiviniemi “BIM-based Site Layout and Safety Planning,” pp. 125–140.
- [28] M. Kiviniemi, K. Sulankivi, K. Kähkönen, T. Mäkelä, and M. Merivirta, "BIM-based Safety Management and Communication for Building Construction." VTT Technical Centre of Finland, Research notes 2597.123p, 2011.
- [29] S. Zhang, J. Lee, and C. Eastman, “Integrating BIM and Safety : An Automated Rule-Based Checking System for Safety Planning and Simulation”
- [30] J. Jupp, “4D BIM for Environmental Planning and Management,” *Procedia Engineering.*, vol. 180, pp. 190–201, 2017.
- [31] S. S. Kumar and J. C. P. Cheng, “Automation in Construction A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites,” *Autom. Constr.*, vol. 59, pp. 24–37, 2015.
- [32] J. In, J. Kim, M. Fischer, and R. Orr, “Automation in Construction BIM-based decision-support method for master planning of sustainable large-scale developments,” *Autom. Constr.*, vol. 58, pp. 95–108, 2015.
- [33] B. Martens and M. Natrop, “BIM on the construction site : providing information on task specific drawings,” vol. 20, no. November 2014, pp. 97–106, 2015.
- [34] R. Shah and J. Edwards, “Investigation of health and safety impact from the ‘ Site BIM ’ tools in the live construction sites,” *KICEM Journal of Construction Engineering and Project Management*, 2016.
- [35] T. C. Specifier, “Virtual Reality VR.” [Online]. Disponivel:

<https://www.constructionspecifier.com/virtual-reality-as-the-future-of-construction-planning/>. [Acedido: 19-Nov-2017].

- [36] T. Cheng and J. Teizer, “Automation in Construction Real-time resource location data collection and visualization technology for construction safety and activity monitoring applications,” *Autom. Constr.*, vol. 34, pp. 3–15, 2013.
- [37] António Ruivo Meireles, “BIM, uma evolução inevitável.” [Online]. Disponível: <http://www.edificioseenergia.pt/pt/a-revista/artigo/bim-uma-evolucao-697inevitavel>. [Acedido: 15-Nov-2017].
- [38] H. F. Graf, M. Helen, C. Marcos, S. F. Tavares, and S. Scheer, “Estudo de viabilidade do uso de BIM para mensurar impactos ambientais de edificações por energia incorporada e CO2 incorporado,” no. 1, 2012.
- [39] Marcos. M., “Método de obtenção de dados de impactos ambientais, durante o processo de desenvolvimento do projeto, através do uso de ferramenta BIM”, Tese de Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2015.
- [40] S. Maltese, L. C. Tagliabue, F. Re, D. Pasini, M. Manfren, and A. L. C. Ciribini, “Sustainability assessment through green BIM for environmental , social and economic efficiency,” *Procedia Engineering.*, vol. 180, pp. 520–530, 2017.
- [41] S. Azhar and J. Brown, “BIM-based Sustainability Analysis : An Evaluation of Building Performance Analysis Software,” 2008.
- [42] HM Governemnt, “Construction 2025,” *Industrial Strategy: Government and Industry in Partnership*, July, 2013.
- [43] D. P. Smith, “BIM implementation - global strategies,” *Procedia Engineering*, vol. 85, pp. 482–492, 2014.

ANEXOS

Anexo A – Vista geral do estaleiro nascente

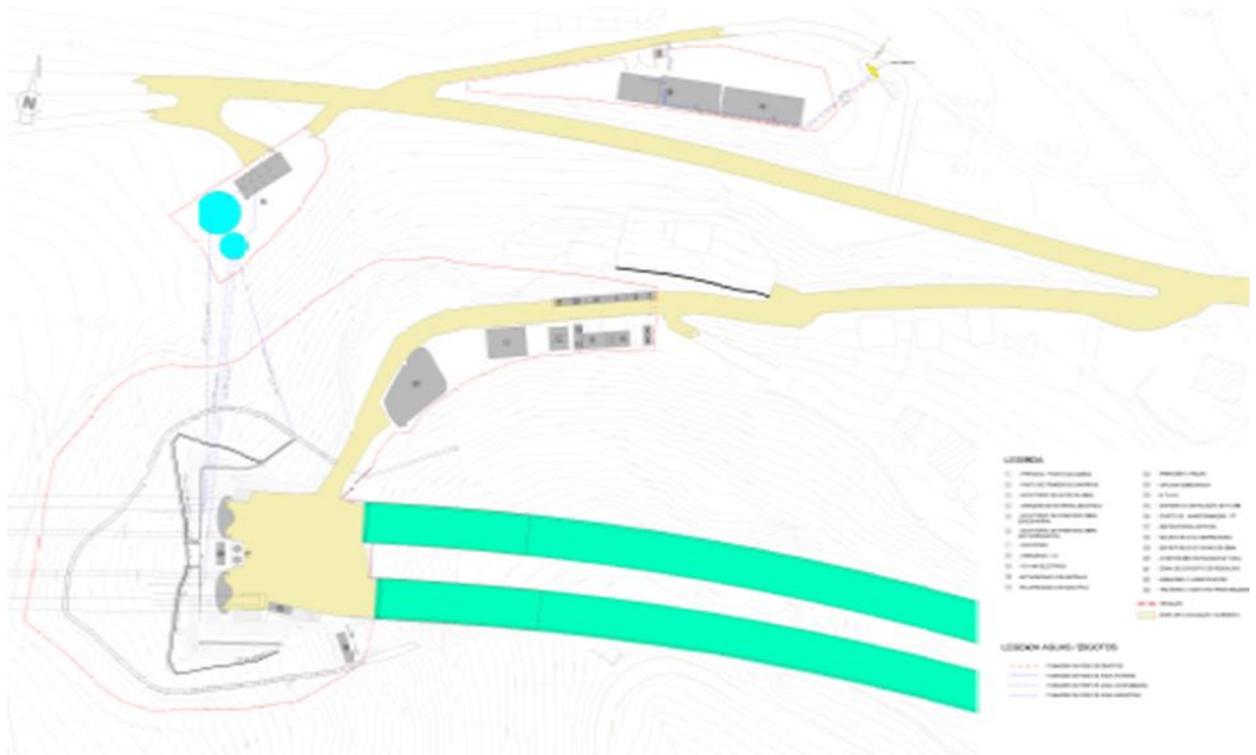


Figura 40 – Vista geral do estaleiro nascente (formato *dwg*)

Anexo B – Vista geral do modelo

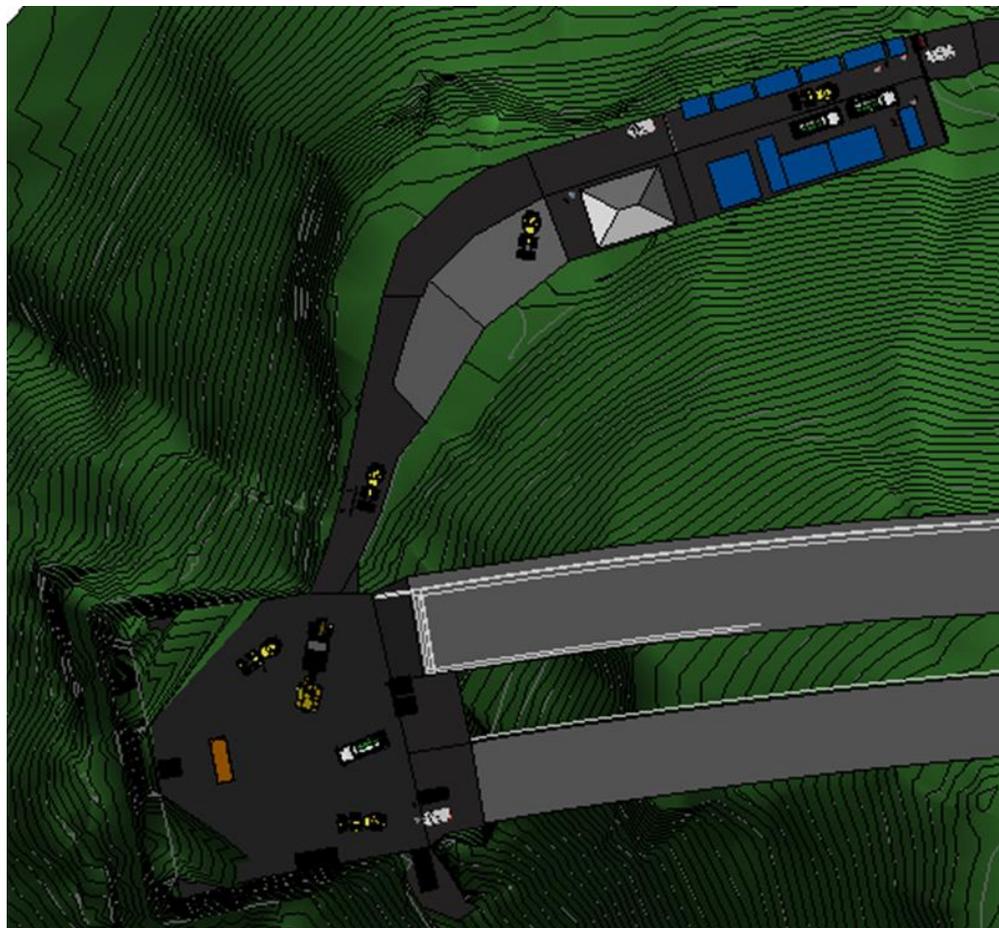


Figura 41 – Vista geral do modelo

Anexo C – Vista geral do estaleiro poente

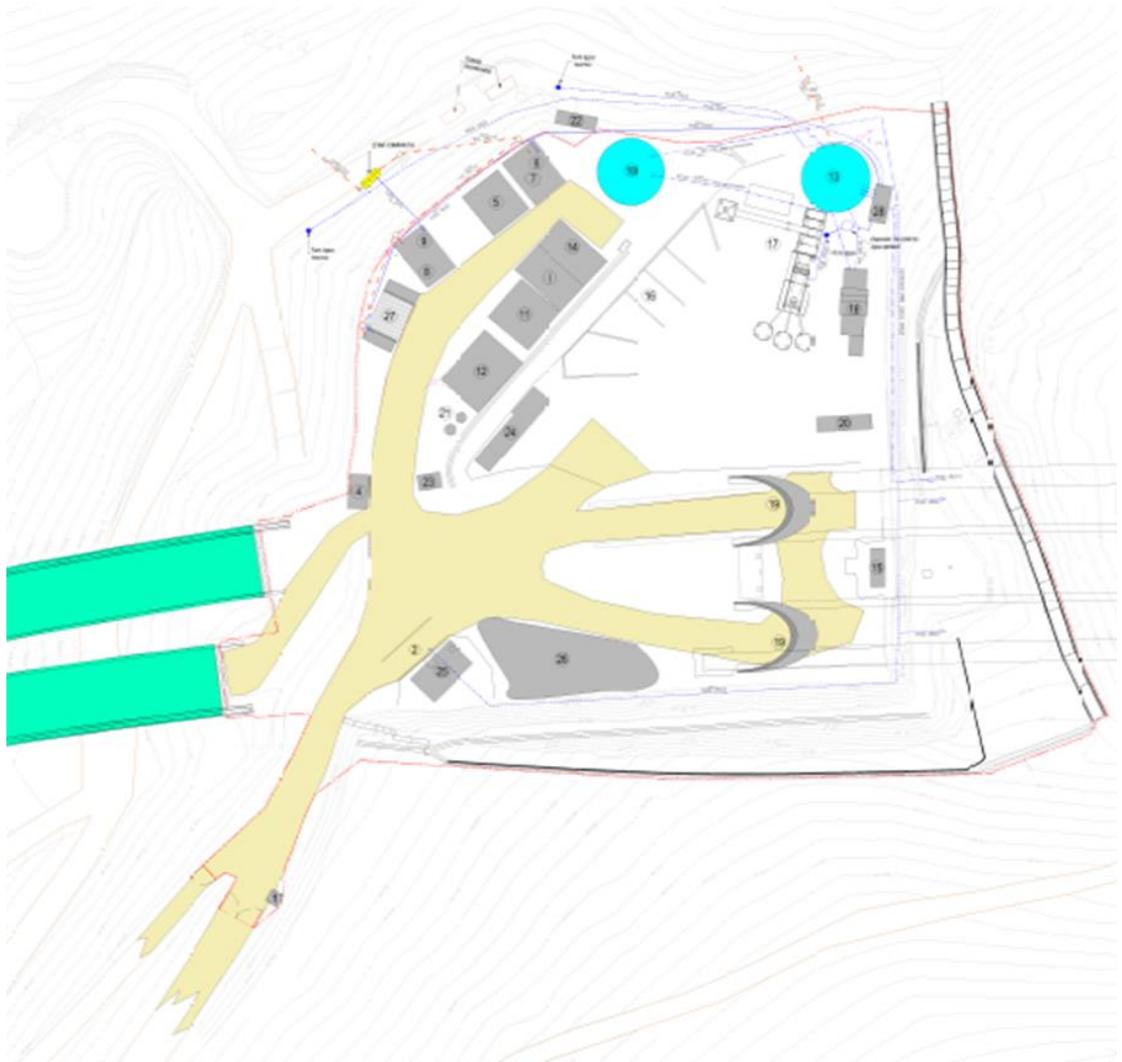


Figura 42 – Vista geral do estaleiro poente (formato *dwg*)