

DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO- CONTROLO DE EMPREITADAS

ANTÓNIO MANUEL SÁ ARAÚJO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Alfredo Augusto Vieira Soeiro

JULHO DE 2024

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2023/2024

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

✉ m.ec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2023/2024 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2024.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

"The future belongs to those who believe in the beauty of their dreams."

-Eleanor Roosevelt

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar a minha sincera gratidão à A400/Buildgest pelo acolhimento e apoio durante a elaboração desta dissertação. A disponibilização de recursos materiais, o ambiente profissional proporcionado, e o profissionalismo de todos os membros da equipa foram essenciais para a realização deste trabalho. Agradeço especialmente pelas orientações precisas e pela disposição em partilhar conhecimentos, que contribuíram significativamente para o desenvolvimento académico e pessoal.

Gostaria de manifestar a minha profunda gratidão ao Prof. Alfredo Soeiro pela sua orientação e durante a elaboração desta dissertação. A sua expertise, paciência e dedicação foram cruciais para a concretização deste trabalho. Sem a sua disponibilidade constante para esclarecer dúvidas, fornecer feedback construtivo e encorajar-me a superar desafios, este trabalho não teria sido possível. Sou imensamente grato por toda a ajuda e incentivo.

Agradeço igualmente ao Eng. João Fontes e ao Tiago Campelo pela disponibilidade e ajuda contínua, e à Eng. Rita Pereira pelo material disponibilizado e pela sua atenção constante. O contributo de todos foi indispensável para a realização deste trabalho.

Agradeço imensamente à minha família, especialmente à minha mãe, ao meu pai e à minha irmã, pelo apoio inabalável e encorajamento constante ao longo da minha jornada académica. À minha família, todo o meu amor e eterna gratidão.

Agradeço profundamente a todos os meus colegas da faculdade pelo companheirismo e apoio ao longo deste percurso académico. Um agradecimento especial ao Rafael Santos, Almany, Inês Santos, António Carreira, Nuno Batista, Mariana e aos restantes colegas que me acompanharam desde o início da minha jornada. A amizade e colaboração de todos foram essenciais para a concretização desta etapa.

Agradeço em especial aos meus colegas Xico, Neves e Carlos por me acompanharem neste último ano. Por todos os momentos passados, tanto de stress quanto de alegria, o meu muito obrigado.

Também quero expressar a minha profunda gratidão aos meus amigos Raposo, Luís e Carolina, que estiveram presentes em todos os momentos da minha vida. A vossa amizade incondicional e apoio constante foram essenciais para mim ao longo desta jornada.

Por fim, e não menos importante, quero expressar a minha profunda gratidão aos meus “irmãos” Fábio e Daniel. A vossa presença constante em toda a minha vida, especialmente nos momentos em que mais precisei, foi inestimável. Obrigado por estarem sempre ao meu lado e por tudo o que fizeram por mim.

RESUMO

A presente dissertação, intitulada "Digitalização da Construção - Controlo de Empreitadas", tem como principal objetivo investigar o impacto da digitalização no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), com foco na aplicação do Building Information Modeling (BIM) na gestão de empreitadas. A digitalização está transformando significativamente a maneira como os projetos são concebidos, planeados e executados. O BIM desempenha um papel crucial nesta transformação ao promover a automação de processos, reduzir erros e omissões e melhorar a colaboração entre as diversas partes envolvidas nos projetos.

Neste contexto, analisa-se a utilização do software Bexel Manager associado ao BIM para um controle financeiro e de prazos mais eficiente. O Bexel Manager permite integrar as dimensões 4D e 5D do BIM, onde a dimensão 4D refere-se à integração temporal, incorporando o planeamento e o cronograma do projeto, e a dimensão 5D adiciona a componente de custos, permitindo um controle financeiro detalhado. O software facilita a extração precisa de quantidades, a associação de custos e a criação de cronogramas detalhados, proporcionando um planeamento mais rigoroso e um controle financeiro integrado.

A metodologia proposta na dissertação, é aplicada através do uso do Bexel Manager. A abordagem inclui a exportação do modelo BIM para o software, a verificação da qualidade do modelo, a identificação dos elementos modelados, a extração de quantidades, a associação de custos e a exportação do planeamento. Esta metodologia mostra-se eficaz na automatização de processos que tradicionalmente eram manuais e suscetíveis a erros, melhorando a eficiência e precisão, permitindo às equipas de fiscalização focar em atividades de maior valor agregado, como a análise crítica e a tomada de decisões estratégicas.

Este trabalho pretende demonstrar que a digitalização da construção através do BIM e do Bexel Manager pode transformar o setor AEC, promovendo uma gestão mais integrada e colaborativa. A adoção destas tecnologias possibilita uma gestão mais eficaz dos recursos, aumenta a transparência e a qualidade do processo construtivo e oferece um controle rigoroso de custos e prazos, resultando em projetos mais eficientes, sustentáveis e bem-sucedidos.

PALAVRAS-CHAVE: BIM, Gestão de Empreitadas, Digitalização da construção, Bexel Manager

ABSTRACT

The present dissertation, titled "Digitalization of Construction - Contract Management," aims to investigate the impact of digitalization in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) sector, focusing on the application of Building Information Modeling (BIM) in contract management. Digitalization is significantly transforming how projects are conceived, planned, and executed. BIM plays a crucial role in this transformation by promoting process automation, reducing errors and omissions, and enhancing collaboration among the various parties involved in projects.

In this context, the use of Bixel Manager software associated with BIM is analyzed for more efficient financial and schedule control. Bixel Manager allows the integration of BIM's 4D and 5D dimensions, where the 4D dimension refers to temporal integration, incorporating project planning and scheduling, and the 5D dimension adds the cost component, allowing detailed financial control. The software facilitates the precise extraction of quantities, cost association, and the creation of detailed schedules, providing more rigorous planning and integrated financial control.

The methodology proposed in the dissertation is applied through the use of Bixel Manager. The approach includes exporting the BIM model to the software, verifying the model quality, identifying modeled elements, extracting quantities, associating costs, and exporting the planning. This methodology proves effective in automating processes that were traditionally manual and prone to errors, improving efficiency and accuracy, and allowing inspection teams to focus on higher-value activities such as critical analysis and strategic decision-making.

This work aims to demonstrate that the digitalization of construction through BIM and Bixel Manager can transform the AEC sector, promoting more integrated and collaborative management. The adoption of these technologies enables more effective resource management, increases transparency and quality in the construction process, and provides rigorous control of costs and schedules, resulting in more efficient, sustainable, and successful projects.

KEYWORDS: BIM, Contract Management, Construction Digitalization, Bixel Manager

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT.....	I
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2.Estado de Arte.....	5
2.1. A DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ATRAVÉS DO BIM	5
2.2. COMPONENTES-CHAVE DO BIM.....	6
2.2.1. INTEROPERABILIDADE.....	6
2.2.2. DIMENSÕES BIM.....	7
2.2.3. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES-IFC	8
2.2.4. LEVEL OF DEVELOPMENT-LOD	9
2.2.5. BIM COLLABORATION FORMAT-BCF.....	10
2.3. BIM NA GESTÃO DE EMPREITADAS	11
2.3.1. BIM NA GESTÃO DO PLANEAMENTO	11
2.3.2. BIM NA GESTÃO DE CUSTOS	13
2.3.3. NORMAS E REGRAS DE MEDIÇÃO.....	14
2.3.4. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO	16
2.4. CASOS DE ESTUDO BIM 4D E 5D	16
2.4.1. IMPLEMENTAÇÃO DE BIM 4D NO PLANEAMENTO DO MAIS ALTO EDIFÍCIO MODULAR DO MUNDO.	17
2.4.2. PLANEAMENTO BIM 4D NA CONSTRUÇÃO FERROVIÁRIA DE MELBOURNE.	17
2.4.3. APLICAÇÃO DO PLANEAMENTO 4D EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.....	18
2.4.4. EMPREENDIMENTO COMERCIAL HILLWOOD- BIM PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS.	18
2.4.5. CHASE CENTER	18
2.4.6. ESTÁDIO DO CSKA MOSCOVO.....	19
2.4.7. BIM 4D E 5D NUM PROJETO DE ESTÂNCIA NO CARIBE	19
2.4.8. UTILIZAÇÃO DE UM MODELO BIM 4D NA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO NO IRAQUE.....	20
2.4.9. CONTROLO DE QUALIDADE EM OBRA.	20

2.4.10. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NA CONSTRUÇÃO DE UM PARQUE INFANTIL	21
2.4.11. APLICAÇÃO DE BIM NO PLANEAMENTO DE UMA OBRA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: CASO DE ESTUDO	21
2.4.12. ESTIMATIVA DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DE UM HOSPITAL ATRAVÉS DO SOFTWARE VICO OFFICE.	22
2.4.13. INCORPORAÇÃO DO CÁLCULO DO CICLO DE VIDA (LCC) NO BIM 5D.	22
2.4.14. AUTOMATISMOS E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL EM BIM.	22
2.4.15. UTILIZAÇÃO DO BIM NA OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E CONTROLO DAS CONSTRUÇÕES.	23
2.4.16. BIM NA GESTÃO DA OBRA: DIGITALIZAÇÃO 3D COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA O CONTROLO DO PLANEAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA.	23
2.4.17. ANÁLISE DO QUANTITATIVO EXTRAÍDO VIA MÉTODO CONVENCIONAL E TECNOLOGIA BIM PARA OS REVESTIMENTOS.	24
2.4.18. O USO DA TECNOLOGIA BIM NA QUANTIFICAÇÃO E NO PLANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA RN - BRASIL.	24
2.4.19. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM NA MELHORIA DA COLABORAÇÃO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO.	25
2.4.20. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NO CONTROLO FINANCEIRO DE UM HOTEL.	25

3.Analise Critica e Comparativa de Casos de Estudo**27**

3.1. MÉTODO USADO PARA A ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA DE SOFTWARE DE GESTÃO DE CUSTOS E PRAZOS	27
3.1.1. CASO DE ESTUDO 1- IMPLEMENTAÇÃO DE BIM 4D NO PLANEAMENTO DO MAIS ALTO EDIFÍCIO MODULAR DO MUNDO.	28
3.1.2. CASO DE ESTUDO 2- PLANEAMENTO BIM 4D NA CONSTRUÇÃO FERROVIÁRIA DE MELBOURNE.	29
3.1.3. CASO DE ESTUDO 3: APLICAÇÃO DO PLANEAMENTO 4D NUMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR. ...	30
3.1.4. CASO DE ESTUDO 4: EMPREENDIMENTO COMERCIAL HILLWOOD- BIM PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS.	30
3.1.5. CASO DE ESTUDO 5: CHASE CENTER.	31
3.1.6. CASO DE ESTUDO 6: ESTÁDIO DO CSKA MOSCOVO.....	31
3.1.7. CASO DE ESTUDO 7: BIM 4D E 5D EM UM PROJETO DE ESTÂNCIA NO CARIBE.	32
3.1.8. CASO DE ESTUDO 8: UTILIZAÇÃO DE UM MODELO BIM 4D NA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO NO IRAQUE.	32
3.1.9. CASO DE ESTUDO 10- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NA CONSTRUÇÃO DE UM PARQUE INFANTIL.	33

3.1.10. CASO DE ESTUDO 11- APLICAÇÃO DE BIM NO PLANEAMENTO DE UMA OBRA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: CASO DE ESTUDO.....	33
3.1.11. CASO DE ESTUDO 12- ESTIMATIVA DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DE UM HOSPITAL ATRAVÉS DO SOFTWARE VICO OFFICE.....	34
3.1.12. CASO DE ESTUDO 13- INCORPORAÇÃO DO CÁLCULO DO CICLO DE VIDA (LCC) NO BIM 5D.	35
3.1.13. CASO DE ESTUDO 14- AUTOMATISMOS E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL EM BIM.	35
3.1.14. CASO DE ESTUDO 15-UTILIZAÇÃO DO BIM NA OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E CONTROLO DAS CONSTRUÇÕES.	36
3.1.15. CASO DE ESTUDO 16-BIM NA GESTÃO DA OBRA: DIGITALIZAÇÃO 3D COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA O CONTROLO DO PLANEAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA.	36
3.1.16. CASO DE ESTUDO 17-ANÁLISE DO QUANTITATIVO EXTRAÍDO VIA MÉTODO CONVENCIONAL E TECNOLOGIA BIM PARA OS REVESTIMENTOS.	37
3.1.17. CASO DE ESTUDO 18-O USO DA TECNOLOGIA BIM NA QUANTIFICAÇÃO E NO PLANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA RN - BRASIL.....	37
3.1.18. CASO DE ESTUDO 19- APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM NA MELHORIA DA COLABORAÇÃO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO.....	38
3.1.19. CASO DE ESTUDO 20-APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NO CONTROLO FINANCEIRO DE UM HOTEL.	39
3.2. COMPARAÇÃO DE SOFTWARE.....	40
3.2.1. BEXEL MANAGER	40
3.2.1.1. FUNCIONALIDADES	40
3.2.1.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTO.....	40
3.2.1.3. VANTAGENS	41
3.2.1.4. DESVANTAGENS	41
3.2.2. VICO OFFICE.....	41
3.2.2.1. FUNCIONALIDADES	41
3.2.2.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTO	42
3.2.2.3. VANTAGENS	42
3.2.2.4. DESVANTAGENS	42
3.2.3. NAVISWORKS.....	42
3.2.3.1. FUNCIONALIDADES	43
3.2.3.3. VANTAGENS	43
3.2.3.4. DESVANTAGENS	44
3.2.4. SYNCHRO 4D	44
3.2.4.1. FUNCIONALIDADES DO SYNCHRO 4D	44

3.2.4.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTOS	45
3.2.4.3. VANTAGENS	45
3.2.4.4. DESVANTAGENS	46
3.2.5. COSTX.....	46
3.2.5.1. FUNCIONALIDADES.....	46
3.2.5.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTOS	46
3.2.5.3. VANTAGENS:	47
3.2.5.4. DESVANTAGENS:.....	47
3.2.6. AVALIAÇÃO DOS SOFTWARE.....	48
3.2.7. ESCOLHA DO SOFTWARE	51
4.Proposta do método	54
4.1. BEXEL MANAGER	54
4.2. DADOS NECESSÁRIOS PARA O CONTROLO DE EMPREITADAS USANDO BIM.....	55
4.2.1. MODELO BIM.....	56
4.2.2. PLANEAMENTO DO PROJETO	57
4.2.3. MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES	57
4.3. MÉTODO	57
4.3.1. 1ºFASE- EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O BEXEL MANAGER.....	58
4.3.2. 2ºFASE- VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO MODELO	59
4.3.3. 3ºFASE- IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS MODELADOS	59
4.3.4. 4º FASE- EXTRAÇÃO DAS QUANTIDADES DOS ELEMENTOS.....	59
4.3.5. 5ºFASE- ASSOCIAÇÃO DE CUSTOS AOS ELEMENTOS	61
4.3.6. 6ºFASE- EXPORTAÇÃO DO PLANEAMENTO PARA O SOFTWARE.....	61
4.3.7. 7ºFASE- EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO BEXEL MANAGER.....	61
5.Aplicação prática do método proposto	62
5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO.....	62
5.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	63
5.2.1. EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O SOFTWARE	63
5.2.2. VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO MODELO	65
5.2.3. IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS MODELADOS	68
5.2.4. EXTRAÇÃO DAS QUANTIDADES DO MODELO.....	70
5.2.5. ASSOCIAÇÃO DE CUSTOS AOS ELEMENTOS	76
5.2.6. EXPORTAÇÃO DO PLANEAMENTO PARA O SOFTWARE.....	78

5.2.7. EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DO BEXEL MANAGER.....	81
5.3. ANÁLISE DO SUCESSO DA APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 4 NA OBRA	84
6.Conclusões e trabalho futuro	87
6.1 CONCLUSÕES GERAIS.....	87
6.2 PONTOS CRÍTICOS E DIFICULDADES.....	89
6.3. TRABALHOS FUTUROS	89
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Fases do ciclo de vida. [4]	6
Figura 2- Dimensões BIM. [9]	8
Figura 3- Padrões OpenBIM. [13].....	9
Figura 4- Gráfico de Gantt. [20].....	11
Figura 5- Método das linhas de balanço (LOB). [21]	12
Figura 6-a) O pavimento é instalado sob a coluna e a parede, o que resulta em excesso de material. (b) O método correto de modelagem separa o pavimento do elemento estrutural para evitar áreas sobrepostas. [24]	15
Figura 7- Plano de custo Synchro. [52].....	45
Figura 8- Plano de custo CostX. [54].....	47
Figura 9- Sistema de classificação Unifomat.....	56
Figura 10- Fluxograma do método proposto. Fonte: Autor	58
Figura 11- Modelo Revit. (A400/Buildgest)	63
Figura 12- Suplementos do Revit.....	64
Figura 13- Janela de exportação do add in.	64
Figura 14- Interface do Bexel Manager	65
Figura 15- Verificação de colisões no modelo	66
Figura 16- Visualização de colisões parede-viga	67
Figura 17- Exportação de colisões em formato BCF	68
Figura 18- Criação “Custom breakdown”	69
Figura 19- Custom Breakdown do modelo	69
Figura 20- Seleção dos pilares do modelo.....	70
Figura 21- Criação de uma nova propriedade	71

Figura 22- Atribuição da propriedade “Taxa de aço”	71
Figura 23-Editor de expressões	73
Figura 24- Atribuição da propriedade Cofragem	74
Figura 25- Criação da extração de quantidades dos pilares	74
Figura 26- Medição das quantidades.....	75
Figura 27- Pilares presentes no modelo	76
Figura 28- Atribuição de custos aos elementos no Bexel Manager	78
Figura 29- Planeamento da obra no MsProject	78
Figura 30- Associação das tarefas aos elementos	79
Figura 31- Custos totais previstos	80
Figura 32- Diagrama de Gantt do caso de estudo	81
Figura 33- Custos previstos para cada mês de obra	82
Figura 34- Custos acumulativos da obra	83

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Níveis de detalhe LOD.....	10
Tabela 2- Software de planeamento 4D	13
Tabela 3- Softwares de gestão de custos 5D	14
Tabela 4- Planos de custo do Bexel Manager	41
Tabela 5- Plano de custos Naviswork	43
Tabela 6- Tabela comparativa	49
Tabela 7- Tabela resumo	52
Tabela 8- Valores adotados de “Taxa de aço”	72
Tabela 9- Comparação das quantidades e preços do MTQ e do Bexel	77

SÍMBOLOS, UNIDADES, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

AEC: Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA: American Institute of Architects

AR: Augmented Reality

BCF: BIM Collaboration Format

BIM: Building Information Modeling

CAD: Computer-Aided Design

CPM: Critical Path Method

CSI: Construction Specifications Institute

IA: Inteligência Artificial

IFC: Industry Foundation Classes

IOT: Internet of Things

LOD: Level of Development

LCC: Life-Cycle Cost

LNEC: Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MEP: Mechanical, Electrical, and Plumbing

MTQ: Mapa de Trabalhos e Quantidades

NRM: New Rules of Measurement

RVT: Revit

VR: Virtual Reality

WBS: Work Breakdown Structure

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Recentemente, tem-se verificado um avanço significativo na digitalização no setor de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), resultante da crescente necessidade de melhorar a competitividade das empresas de construção, aumentar a eficácia na administração de recursos e reduzir custos. A digitalização possui o potencial de transformar processos construtivos, promovendo a adoção de metodologias mais assertivas. Porém, o ramo da construção civil ainda é considerado uma das áreas menos desenvolvidas em termos de digitalização devido à sua natureza tradicional e à resistência à adoção de novas tecnologias.

A implementação do Building Information Modeling (BIM) tem sido um marco neste processo de transformação digital. O BIM oferece uma vasta gama de funcionalidades que abrangem todas as etapas de um projeto de construção, permitindo a criação de modelos tridimensionais detalhados que simulam todas as etapas do projeto, desde a concepção até à execução. Esta metodologia facilita o trabalho conjunto de todos os participantes, integrando sistemas e permitindo uma abordagem mais inteligente na gestão de projetos. A metodologia BIM é particularmente eficaz quando aplicada às dimensões 4D (tempo) e 5D (custo), promovendo uma gestão mais eficiente e reduzindo ineficiências.

A transformação digital no setor AEC pode ser comparada a outras revoluções industriais que impactaram significativamente a produtividade e a eficiência. Assim como a introdução da máquina a vapor e da eletricidade, a digitalização promete reformular completamente a forma como os projetos de construção são planejados, executados e geridos. Uma das principais vantagens do BIM é a capacidade de prever e mitigar problemas antes que eles ocorram no estaleiro de obras. Ao utilizar modelos 3D detalhados, os engenheiros e arquitetos podem identificar potenciais conflitos de projeto, como interferências entre sistemas de tubulação e estrutura, e resolver esses problemas no ambiente digital, onde as correções são menos dispendiosas e mais rápidas de implementar.

No contexto português, a digitalização da construção civil tem sido impulsionada por novas legislações e incentivos governamentais que visam melhorar a visibilidade dos processos e a mitigação de riscos. A utilização do BIM, por exemplo, permite uma gestão mais eficiente durante todo o percurso do ativo construído, mitigando ineficiências e promovendo uma maior coordenação entre as diversas disciplinas envolvidas. Apesar dos avanços, a resistência à mudança, a falta de competências digitais e a escassez de recursos qualificados são barreiras significativas para a plena adoção das novas tecnologias.

A digitalização no setor da construção é mais evidente em projetos de maior dimensão e complexidade, onde os benefícios de eficiência e redução de custos são mais visíveis. No entanto, mesmo projetos de menor escala podem tirar proveito da digitalização, reduzindo o tempo de mercado e os custos de construção, além de aumentar a atratividade comercial. O investimento em digitalização, embora frequentemente condicionado por retornos de longo prazo difíceis de calcular, pode trazer ganhos substanciais em produtividade e na mitigação de erros e ineficiências.

Para assegurar o sucesso da digitalização na construção, é essencial uma estratégia integrada que envolva governo, organizações e projetos. Isso inclui a criação de sistemas de incentivo, estabelecimento de normas e regulamentações e desenvolvimento de ambientes colaborativos. O governo tem um papel crucial na promoção de iniciativas que incentivem a transformação digital, como o financiamento de empresas e centros de investigação, a definição de requisitos específicos para a transformação digital e a promoção de alterações legislativas no âmbito da consulta e contratação de projetos e obras.

O setor da construção tem sido tradicionalmente lento na adoção de novas tecnologias, em grande parte devido à natureza fragmentada e artesanal dos processos construtivos. A transição da prancheta para o CAD (Computer-Aided Design) nas décadas de 1980 e 1990 foi um dos primeiros passos significativos rumo à digitalização, permitindo que arquitetos e engenheiros criassem projetos mais precisos e detalhados em menos tempo. Entretanto, a verdadeira revolução digital no setor começou com a introdução do BIM no início dos anos 2000.

Desde então, várias fases de evolução tecnológica foram observadas. A primeira fase, conhecida como BIM 1.0, focava-se na criação de modelos tridimensionais detalhados. A segunda fase, BIM 2.0, introduziu a capacidade de partilhar modelos e informações entre diferentes disciplinas e softwares, promovendo a colaboração e a interoperabilidade. A terceira fase, BIM 3.0, integra as dimensões de tempo (4D) e custo (5D), permitindo uma gestão mais robusta de cronogramas e orçamentos. Atualmente, a fase BIM 4.0 enfatiza a gestão do ciclo de vida do projeto e a sustentabilidade, incorporando práticas de construção verde e gestão de ativos pós-construção.

A adoção do BIM enfrenta vários desafios que precisam ser abordados para garantir uma transição suave e eficaz. Entre esses desafios, destaca-se a resistência à mudança, uma característica comum entre profissionais que preferem métodos tradicionais. Para superar esta resistência, é necessário implementar programas de formação e sensibilização que demonstrem os benefícios práticos do BIM. Outro desafio significativo é o custo inicial de implementação, que inclui a aquisição de software e a formação de pessoal. Este obstáculo pode ser mitigado através de incentivos governamentais e financiamento específico para a transformação digital.

A interoperabilidade de softwares também é uma questão crítica. A dificuldade em integrar diferentes ferramentas digitais pode ser superada através do desenvolvimento de padrões abertos e protocolos de comunicação, como o IFC (Industry Foundation Classes). Além disso, a falta de competências digitais entre os profissionais do setor pode ser resolvida com investimentos em educação e formação contínua.

O impacto do BIM no setor AEC é vasto, não apenas em termos económicos, mas também ambientais. Em termos económicos, a utilização do BIM pode resultar em economias significativas de custos ao reduzir retrabalhos, melhorar a precisão das estimativas de custos e cronogramas, e aumentar a eficiência dos processos de construção. Estudos indicam que projetos que utilizam BIM podem reduzir os custos totais em até 20%, além de diminuir o tempo de construção.

Do ponto de vista ambiental, o BIM contribui para a sustentabilidade de várias maneiras. A precisão dos modelos BIM reduz erros e retrabalhos, diminuindo a quantidade de resíduos gerados no estaleiro de obras. Adicionalmente, o BIM permite simulações de desempenho energético, ajudando a projetar edifícios mais eficientes em termos de consumo de energia. A integração de práticas sustentáveis e materiais ecológicos no modelo BIM promove construções mais verdes.

O futuro da digitalização no setor AEC é promissor, com várias tendências emergentes que prometem transformar ainda mais o setor. A utilização de tecnologias como Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR) permite visualizações imersivas dos projetos, facilitando a compreensão e a comunicação entre as partes interessadas. A Inteligência Artificial (IA) e o Machine Learning oferecem

potencial para analisar grandes quantidades de dados de projetos anteriores, proporcionando insights valiosos para a otimização de futuros projetos. A Internet das Coisas (IoT) permite a monitorização em tempo real das condições do estaleiro de obras, melhorando a segurança e a eficiência. Tecnologias como a construção modular e a impressão 3D permitem a fabricação de componentes de construção fora do local, reduzindo o tempo de construção e os custos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A presente dissertação tem como objetivo central responder à seguinte questão: como desenvolver ferramentas e metodologias que permitam digitalizar o processo de controlo de empreitadas na ótica da fiscalização, particularmente durante a fase de construção, onde se verifica um atraso na digitalização? Para abordar esta questão, a dissertação foca-se no estudo e na implementação de um modelo específico de Building Information Modeling (BIM) 4D/5D aplicado a um caso prático. Este estudo será conduzido em um contexto empresarial nas dependências da A400/BuildGest, sendo aplicado ao plano de construção de uma nova unidade hoteleira situado na Rua Castilho, em Lisboa.

No contexto do setor AEC em Portugal, tem-se observado uma forte digitalização nas fases iniciais dos projetos, especialmente na fase de planeamento. No entanto, a fase de construção e o controlo desta fase ainda apresentam um significativo atraso na adoção de tecnologias digitais. Este atraso resulta frequentemente em processos manuais que são demorados e propensos a erros, especialmente no que concerne ao controlo financeiro e à previsão de custos e recursos necessários para a execução das obras.

A dissertação visa criar e implementar uma representação BIM 4D/5D para o caso de estudo específico, utilizando ferramentas digitais para otimizar o controlo de empreitadas. Este modelo será desenvolvido a partir das informações do planeamento do projeto e do plano de atividades e quantidades disponibilizado pelo construtor. Através desta abordagem, todas as partes tridimensionais do modelo BIM estarão associados aos custos e tarefas correspondentes, possibilitando uma gestão otimizada de prazos e custos.

Para a construção do modelo BIM, diferentes softwares serão usados tais como o Revit que será empregado para desenvolver o modelo BIM tridimensional, enquanto o Microsoft Project (MS Project) será utilizado para o planeamento construtivo. A interoperabilidade entre estes softwares e o Bexel Manager será crucial. O Bexel Manager permitirá a importação e integração dos ficheiros gerados pelo Revit e pelo MS Project, facilitando a criação de um modelo BIM quadridimensional e quinquidimensional.

Espera-se que a implementação do modelo BIM 4D/5D forneça estimativas de custos mais precisas e identifique potenciais sobreposições e conflitos que possam gerar custos adicionais. Além disso, os dados do BIM permitirão acompanhar o progresso do projeto em relação ao orçamento e às metas financeiras estabelecidas.

A dissertação demonstrará a metodologia desenvolvida e a sua aplicação prática no estudo de caso, propondo diferentes etapas e técnicas para as diversas fases do controlo digital de empreendimentos. A abordagem desenvolvida poderá servir como referência para demais empresas do setor AEC, contribuindo para a aceleração da digitalização na fase de construção e no controlo das empreitadas.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

Para resumir os tópicos discutidos nesta dissertação, esta é dividida em seis capítulos organizados da seguinte forma:

No capítulo 1 é apresentada a problemática que fundamenta o tema em estudo, os objetivos propostos visam ampliar o entendimento sobre o uso de ferramentas digitais na gestão de empreendimentos e a estrutura adotada.

No capítulo 2 apresenta-se o conhecimento teórico sobre a tecnologia BIM e a sua aplicação na gestão de projetos de construção. São discutidos os componentes essenciais do BIM, como a interoperabilidade, a colaboração e a troca de informações. Além disso, aborda-se a digitalização do setor da construção e a transição de métodos tradicionais para abordagens mais tecnológicas. São apresentados casos de estudo que ilustram a aplicação prática do BIM, permitindo uma melhor compreensão das suas vantagens e desafios.

No capítulo 3 realiza-se uma análise crítica dos casos de estudo apresentados anteriormente, comparando e avaliando os diferentes softwares utilizados. O objetivo é escolher o melhor software para o controlo de empreitadas. São analisadas as funcionalidades, vantagens e desvantagens de softwares como Bexel Manager, Vico Office, Navisworks Manage, Synchro 4D e CostX. A análise culmina na seleção do Bexel Manager como a solução mais adequada para a gestão de projetos de construção.

No capítulo 4 propõe-se um método a ser utilizado num caso de estudo real fornecido pela A400/Buildgest. Detalham-se os materiais e ferramentas necessários para a implementação deste método, incluindo a utilização do software Bexel Manager. O método envolve a criação de um modelo BIM 5D que integra dados de elementos modelados, planeamento e custos, garantindo uma gestão eficiente de projetos de construção.

No capítulo 5 realiza-se a aplicação prática dos conceitos e metodologias previamente discutidos nos capítulos anteriores. Especificamente, neste capítulo detalha-se a criação de um modelo 4D/5D que engloba a representação geométrica do projeto estrutural. São apresentados detalhadamente todos os passos necessários para a criação deste modelo, bem como para o controlo da obra em tempo real.

No capítulo 6 são apresentadas as conclusões derivadas dos capítulos anteriores, acompanhadas de sugestões para investigações futuras na área da digitalização da construção.

2

Estado de Arte

2.1. DIGITALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO ATRAVÉS DO BIM

A digitalização da construção é um dos desafios fundamentais que as empresas e os profissionais devem enfrentar, esta está rapidamente remodelando este setor, impulsionando uma transição de métodos tradicionais para abordagens mais tecnológicas buscando a padronização e a repetibilidade dos processos [1]. Segundo dados do McKinsey Global Institute o setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é um dos setores menos digitalizado do mundo, mas, a adoção de novas tecnologias tem vindo a aumentar nos últimos anos devido à necessidade de otimização de projetos, redução de custos e o aumento da eficiência [2]. Em Portugal o Built CoLAB, laboratório colaborativo para a digitalização da construção, lidera esta revolução, com o objetivo de desenvolver atividades de investigação, inovação e transferência de conhecimentos visando o aumento da produtividade, competitividade e crescimento sustentável, promovendo a transição digital e ecológica dos edifícios e infraestruturas [3].

Uma das metodologias mais impactantes na digitalização do setor AEC é o Building Information Modelling (BIM), esta oferece a todos os stakeholder de engenharia a oportunidade de utilizar um modelo 3D centralizado e compartilhado para alcançar os objetivos do projeto, o compartilhamento de dados proporcionado pelo BIM entre diferentes membros da equipa permite uma avaliação constante do projeto e o controlo de informação, permitindo uma melhor comunicação, minimizando falhas e possíveis lacunas, aumentando a eficiência, reduzindo custos e o tempo necessário para concluir as tarefas em todas as etapas do ciclo de vida do projeto. A verificação visual do projeto permite a comparação imediata e precisa de diferentes opções, o que possibilita o desenvolvimento de soluções mais eficientes, económicas e sustentáveis. Após a conclusão da construção as informações contidas no modelo BIM podem ser usadas para planear a manutenção preventiva do edifício garantindo o seu correto funcionamento, facilita a realização de alterações de maneira mais eficiente e precisa para além de poder ser usado para gerir o ativo [1].

Para além do modelo 3D, mais informações podem ser adicionadas de modo a potencializar o uso do BIM, para isso é fundamental a integração com outros sistemas permitindo uma abordagem mais abrangente na gestão de projetos, isso inclui a integração de softwares de cálculo de custos de planeamento de sustentabilidade entre outros [1].

Fases do ciclo de Vida

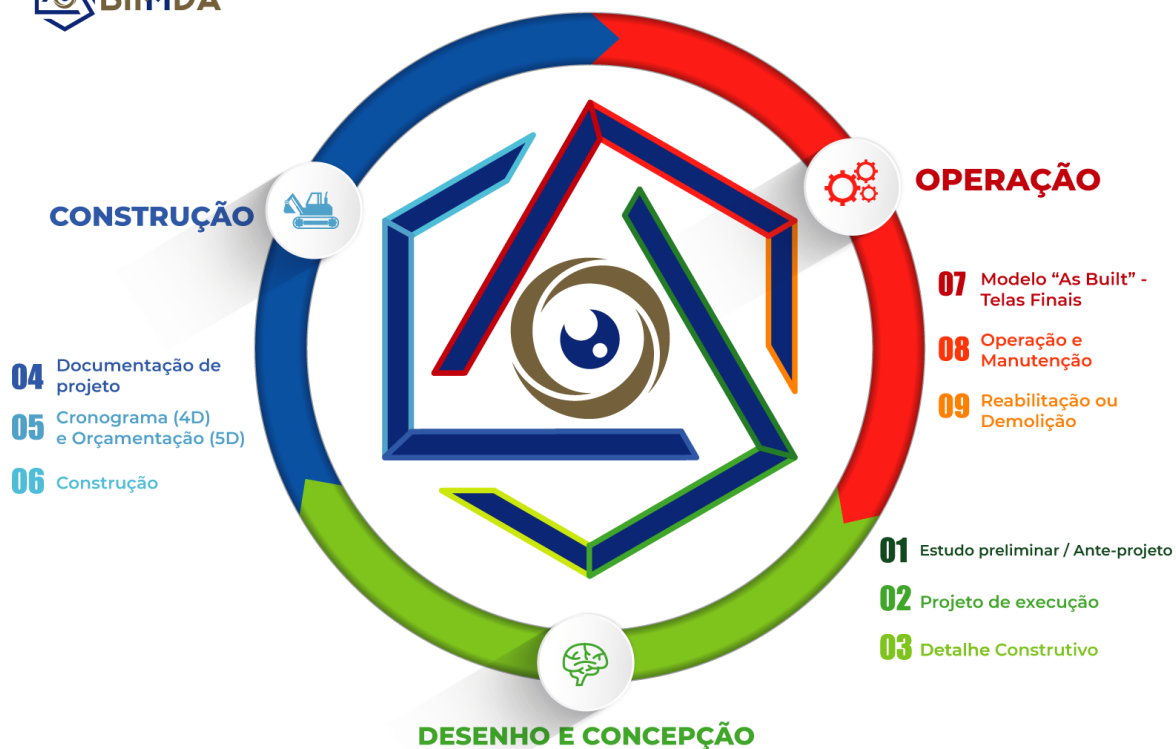


Figura 1- Fases do ciclo de vida. [4]

2.2. COMPONENTES-CHAVE BIM

2.2.1. INTEROPERABILIDADE

A interoperabilidade BIM refere-se à capacidade dos diversos sistemas BIM de trabalharem juntos de forma eficaz permitindo que os profissionais compartilhem e utilizem informações de forma livre entre plataformas, esta troca de informação eficiente permite a redução de erros, retrabalho e melhora a comunicação entre as diferentes partes. Isso é fundamental pois num projeto de construção típico, várias especialidades estão envolvidas e várias empresas utilizam diferentes softwares para as suas devidas funcionalidades como análise estrutural, gerenciamento de projeto, etc. [5]. Segundo Eastman nenhuma aplicação é capaz de dar suporte a todas as atividades relacionadas ao projeto e à produção de uma construção.

A capacidade de integração do BIM com outros softwares é considerada crucial para o setor AEC, pois facilita a integração eficiente e colaborativa de dados e informações durante todas as fases do projeto. Promove-se, assim, uma troca de dados mais fluida e eficaz entre os diversos profissionais participantes, garantindo uma visão unificada e precisa do projeto [6]

Como foi referido anteriormente, num projeto estão envolvidas várias especialidades em que cada uma utiliza diferentes softwares, muitos desses softwares geram arquivos em formatos fechados e proprietários, ou seja, arquivos que não compartilham dados com outros sistemas, este formato dificulta a leitura ou edição por parte de outros softwares. A solução passaria não só pela criação de um formato de arquivo que pudesse ser lido por outros softwares, mas como também fosse um arquivo não-proprietário [7].

Com o principal objetivo de integrar várias disciplinas e especializações do setor AEC, foi necessário adotar padrões de dados abertos, como o IFC (Industry Foundation Classes), para resolver o problema da interoperabilidade divergente entre os diferentes softwares BIM implementados [5].

2.2.2. DIMENSÕES BIM

Conforme anteriormente mencionado, a abordagem BIM não se limita ao modelo 3D, à medida que mais informações são adicionadas ao modelo, surge a necessidade de dividir essas informações por camadas para facilitar a sua compreensão. Cada dimensão acrescenta complexidade e detalhe ao processo de modelagem [8]. Os modelos BIM podem ter diferentes níveis de complexidade, que vão desde 3D até 10D conforme definido abaixo:

- BIM 3D- Refere-se à representação tridimensional dos elementos construtivos, permitindo a visualização realista do projeto.
- BIM 4D- Introduz a variável tempo ao modelo, permitindo simular e visualizar o progresso das atividades ao longo do processo de construção. A partir do modelo 4D, é possível encontrar a melhor estratégia construtiva mais produtiva e económica.
- BIM 5D-Introduz a variável custos ao modelo, permitindo a extração de quantidades de forma mais eficiente. Isso facilita o acompanhamento dos custos da obra e gera orçamentos mais rápidos e precisos, além de ajudar na tomada de decisões durante o desenvolvimento do projeto através de simulações de diferentes cenários financeiros.
- BIM 6D- Consiste na integração de dados de sustentabilidade do edifício, como eficiência energética, materiais sustentáveis, certificações ambientais e análises de ciclo de vida.
- BIM 7D- Esta dimensão foca-se na gestão das instalações, integrando informações sobre operação, manutenção e utilização do edifício.
- BIM 8D-Engloba aspetos relacionados com a segurança do projeto, incluindo análises de segurança e prevenção de acidentes durante a construção e operação do edifício.
- BIM 9D- Aplicação de informações de construção lean aos dados do projeto, promovendo a eliminação de desperdícios e a garantia de uma execução mais eficiente do projeto.
- BIM 10D- Esta dimensão visa industrializar e tornar o setor da construção mais produtivo, mais eficiente, aumentando a qualidade e precisão da construção de edifícios.

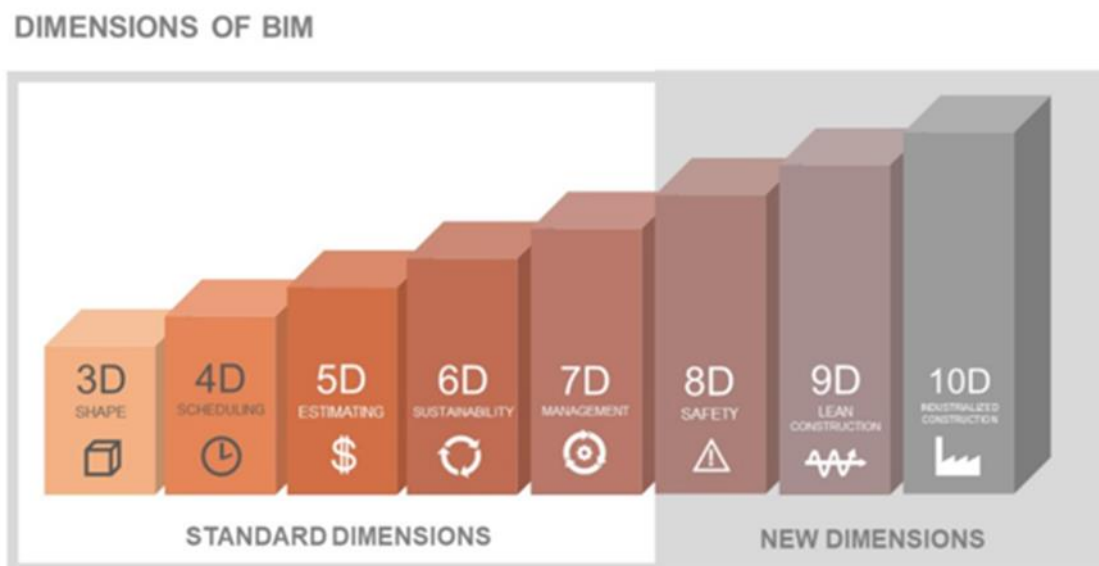


Figura 2- Dimensões BIM. [9]

2.2.3. INDUSTRY FOUNDATION CLASSES-IFC

Para resolver o problema da interoperabilidade entre diversos softwares, a empresa BuildingSmart, anteriormente conhecida como International Alliance for Interoperability, criou o formato aberto IFC em 1997. O IFC é um padrão internacional oficial (ISO 16739:2013) utilizado para a troca e o partilha de dados entre diferentes softwares na indústria AEC. Este padrão define todos os componentes de um edifício ao longo do seu ciclo de vida. Com o IFC, é possível incluir em um arquivo todas as informações relacionadas a um objeto, como sua identidade e semântica, as suas características e as relações entre os objetos contidos no modelo [10].

O uso do formato IFC trouxe diversas vantagens, como a possibilidade de compartilhar e trocar dados entre diferentes softwares, o que reduz a perda de informações durante as diversas etapas das atividades de construção. Isso também melhorou a interação entre as partes envolvidas, melhorando a eficiência dos processos e eliminando a repetição de informações [11].

O arquivo IFC funciona como a linguagem internacional dos arquivos digitais do BIM, permitindo a comunicação entre diferentes ferramentas, de modo que todos os envolvidos na construção possam trabalhar no mesmo projeto sem depender de um único software. Essa capacidade é também conhecida como OpenBIM, que é sinónimo de interoperabilidade entre softwares. A BuildingSmart classifica a interoperabilidade em termos (IFD), processos (IDM) e dados (IFC), como representado na imagem a seguir [12]:

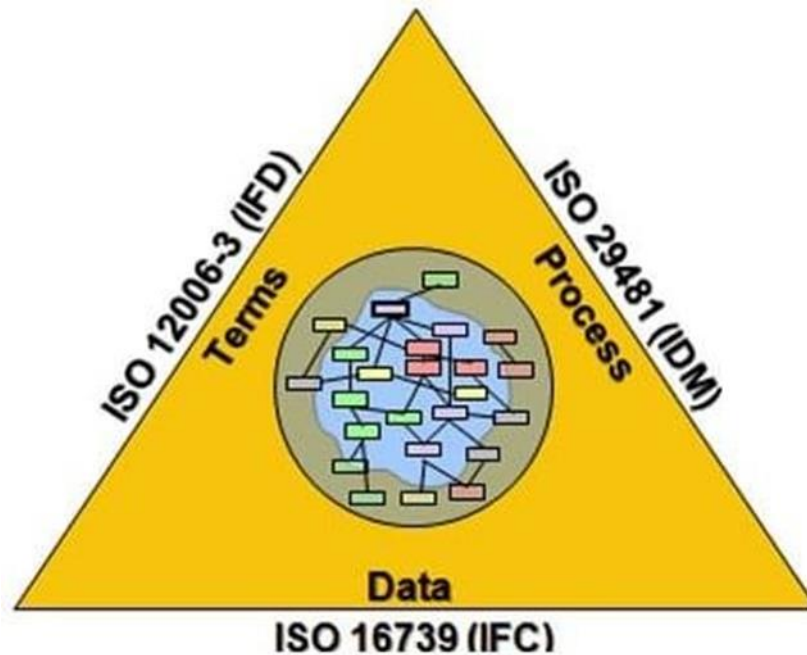


Figura 3- Padrões OpenBIM. [13]

O International Framework for Dictionaries (IFD) serve para garantir que os dados relevantes sejam comunicados de forma a poderem ser interpretados devidamente pelo software que os recebe.

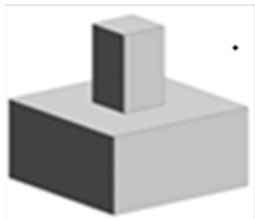
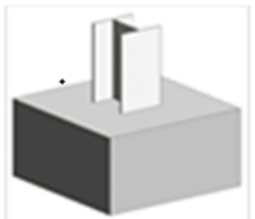
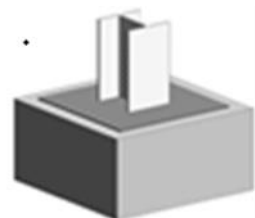
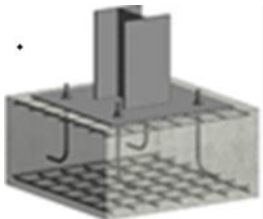
O Information Delivery Manuals (IDM) ajuda a esclarecer o processo detalhado de formação de propriedades, facilita a comunicação entre os participantes, harmoniza diferentes modelos de dados de produtos entregues e armazenados, identifica os resultados dessa atividade e melhora a gestão de forma mais eficiente e colaborativa [14].

2.2.4. LEVEL OF DEVELOPMENT-LOD

O nível de desenvolvimento (LOD), refere-se a um conceito fundamental no contexto BIM, este representa a quantidade de detalhe e precisão que deve ser incluída no modelo nos diferentes estágios de um projeto. Esta é uma característica única e essencial da metodologia BIM, e deve ser acordada entre o contratante e o projetista antes do início do processo de projeto. Quando o Nível de Desenvolvimento (LOD) é mais avançado, mais detalhes e informações são incluídas no modelo. Portanto, é recomendável definir o LOD logo no início da contratação para evitar atrasos ou descontentamento do contratante com as informações do projeto [15].

Os valores LOD foram estipulados pela AIA (American Institute of Architects), sendo estes divididos em cinco níveis específicos, cada nível representa um conjunto específico de informações sobre os elementos do modelo, como geometria, dimensões, atributos, materiais e informações relacionadas à sua construção [15]. Estes níveis estão representados na seguinte tabela:

Tabela 1- Níveis de detalhe LOD

LOD 100: os elementos são representados de forma simplificada e conceptual para comunicar ideias gerais do projeto. São utilizadas formas genéricas e aproximadas para representar espaços e volumes de forma básica	
LOD 200: os elementos são representados de forma mais precisa em termos de formas e proporções, incluindo dimensões aproximadas para entender o layout e as relações entre os elementos	
LOD 300: os elementos são representados com dimensões exatas e orientações definidas. A geometria é mais precisa e pode incluir informações sobre materiais, detalhes construtivos e conexões entre os elementos	
LOD 400: os elementos são representados com informações específicas para a construção, incluindo detalhes construtivos precisos, informações sobre fabricantes e componentes individuais	
LOD 500: os elementos refletem o que foi realmente construído no local. Este é o nível mais alto de detalhe, com informações altamente precisas sobre a construção física. O modelo inclui dados como números de série de componentes, datas de instalação, condições reais após a construção e informações de manutenção	

2.2.5. BIM COLLABORATION FORMAT-BCF

O BCF é um formato de ficheiro aberto utilizado para comunicar erros no modelo BIM ao longo do ciclo do projeto. Funciona como um registo histórico dos problemas identificados, permitindo que diferentes aplicações BIM e intervenientes comuniquem de forma mais eficiente, facilitando a colaboração entre eles.

O BCF na prática, contém uma descrição do problema, um status, links para o modelo BIM e objetos, uma imagem do problema e uma orientação de câmara, permitindo uma visualização rápida do problema, facilitando a sua resolução, economizando tempo, facilitando assim o fluxo de informações, eliminando o uso de email ou telefone como meio de partilha de informações [18].

2.3. BIM NA GESTÃO DE EMPREITADAS

2.3.1. BIM NA GESTÃO DO PLANEAMENTO

O planeamento na construção é uma tarefa imprescindível e crucial para o sucesso de qualquer projeto. Um planeamento eficaz é crucial para evitar contratempos como atrasos, execução deficiente das atividades e problemas financeiros.

Antes de iniciar um projeto, é imperativo definir claramente o resultado desejado, estabelecendo um caminho conciso com base em marcos específicos, é essencial listar as atividades num calendário, decompondo-as em tarefas mais simples e atribuindo a estas datas de início, fim e margens de tempo [19].

O planeamento na construção é essencial para a gestão eficaz de projetos, abordando vários aspetos como processos construtivos, definição de atividades, estimativa de durações e seleção de recursos necessários servindo como base para a orçamentação e programação dos trabalhos, sendo uma ferramenta vital para o sucesso da gestão de projetos [19].

O planeamento das atividades pode ser feito através de dois métodos principais, o CPM, que é o método do caminho crítico, e o LOB, que se refere ao método das linhas de balanço.

O método do caminho crítico (CPM) é amplamente utilizado no planeamento de construções. Ele consiste em estabelecer a dependência entre atividades com base na sequência e duração das tarefas ao longo do tempo. Os gráficos de Gantt são uma representação comum deste método, estando este representado na figura [19].

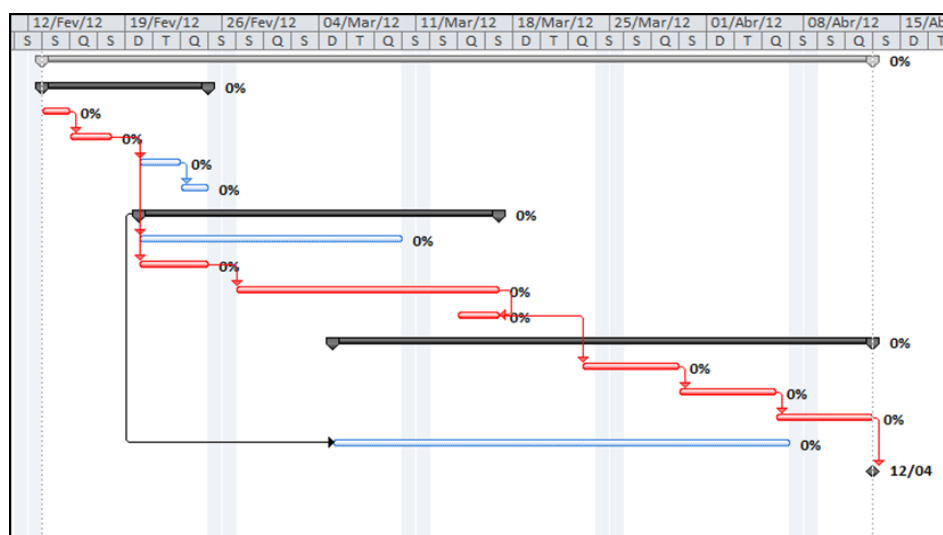


Figura 4- Gráfico de Gantt. [20]

No CPM, além da unidade de tempo, é possível associar às atividades os seus recursos necessários, custos envolvidos e as suas precedências. Isso permite uma análise mais abrangente do projeto, considerando não apenas o fluxo temporal das atividades, mas também os recursos críticos e os custos

associados. O caminho crítico representa o caminho mais longo no diagrama da rede do projeto, que determina a duração mínima do projeto. As atividades nesse caminho são as mais críticas para o término do projeto dentro do prazo estabelecido [19].

Apesar da sua simplicidade técnica e da sua fácil leitura, o método do CPM apresenta problemas significativos. Por exemplo, este desconsidera aspectos de localização das atividades, ritmos de produção bem como a fluidez na passagem das atividades. Essas omissões podem prejudicar a interpretação do cronograma e a identificação de erros ou oportunidades de otimização [21].

Para ultrapassar as limitações do método do caminho crítico, utiliza-se o método das linhas de balanço. Este método concentra-se na alocação eficiente de recursos ao longo do tempo, considerando não apenas a sequência das atividades, mas também as suas localizações para otimizar a produtividade. A representação deste método realiza-se através de um gráfico de linhas, onde cada linha ilustra as diversas atividades realizadas pelas equipas e seus respetivos locais. Tal representação facilita a análise do projeto e das relações entre as atividades. Espera-se que as linhas no gráfico sejam o mais paralelas possível ao eixo das ordenadas para avaliar se a atividade alcançou a máxima produtividade [21].

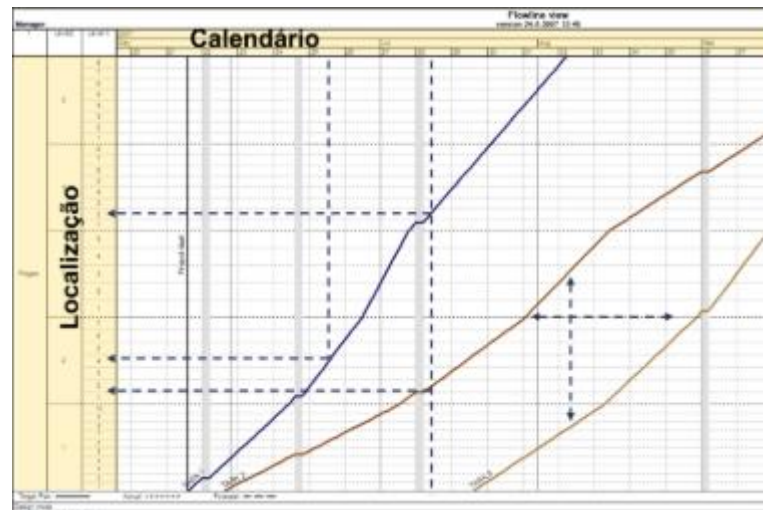


Figura 5- Método das linhas de balanço (LOB). [21]

O método proporciona diversas vantagens, tais como a programação de atividades em datas ou locais específicos, a gestão de intervalos temporais e espaciais entre as atividades, a monitorização do ritmo de produção, a comparação visual dos ritmos de produção das diferentes atividades, a identificação de descontinuidades e dependências entre as atividades, a visualização das datas limites e a comparação entre os resultados reais e os previstos.

O BIM tem sido usado na construção civil para tornar o planeamento de obras mais eficaz. A conexão entre o modelo 3D e as informações relacionadas ao tempo possibilita a criação do modelo 4D. O método das linhas de balanço é um valioso complemento para o BIM 4D, pois permite ao utilizador visualizar a configuração espacial do edifício para as atividades a serem planeadas. No entanto, para um fluxo de trabalho sustentável, a modelagem deve ser orientada desde o início para o processo de planeamento, proporcionando uma melhor abordagem em termos de visualização, ajudando a clarificar a sequência de construção e reduzindo a ambiguidade na percepção de constrangimentos espaciais [21].

O uso do BIM no planeamento de uma obra oferece várias vantagens, como a análise de múltiplos cenários do projeto e a previsão dos seus efeitos, a padronização das tarefas, além de permitir a gestão de áreas de armazenamento e locação de equipamentos. Os gestores do projeto podem comparar diferentes programações facilmente e identificar rapidamente se o projeto está no prazo ou atrasado [5].

Para a elaboração do planeamento 4D, há uma vasta lista de softwares criados por várias empresas, a seguinte tabela mostra uma lista destes softwares vocacionados para a elaboração do planeamento 4D:

Tabela 2- Software de planeamento 4D

Software de planeamento	Logotipo
Navisworks	
Synchro Pro	
Vico Office 4D Manager	
Bentley Manager	

2.3.2. BIM NA GESTÃO DE CUSTOS

O orçamento de uma obra na construção civil é uma estimativa detalhada dos custos que uma entidade se compromete a investir para realizar determinada empreitada. Esse processo envolve uma análise cuidadosa dos requisitos do projeto, baseando-se em informações fornecidas pelo dono da obra, como peças escritas e peças desenhadas [22].

A extração correta das quantidades é fundamental para uma orçamentação precisa e realista. Ao ter uma lista detalhada de todos os elementos necessários para a obra, é possível calcular com maior precisão os custos associados a cada componente do projeto, estas informações são reunidas em um documento denominado por mapa de trabalhos e quantidades. A extração destas quantidades são por norma executadas com base em desenhos 2D fornecidos pelos arquitetos estando estas passíveis de erros humanos [23]. No contexto do controlo de custos, a extração das quantidades desempenha um papel crucial permitindo monitorizar e comparar os custos reais com as estimativas iniciais, identificando desvios e ajustando o planeamento financeiro conforme necessário [5].

Como referido anteriormente, a extração correta das quantidades representa um papel importante para um orçamento preciso. Com a introdução da variável custos ao modelo 3D surge a dimensão 5D. O BIM 5D é uma grande ajuda para a extração de quantidades, permitindo uma extração mais eficiente e rápida comparado ao método tradicional de desenhos CAD.

Nas fases iniciais do projeto, o levantamento das quantidades apresenta um alto grau de incerteza, devido ao modelo apresentar níveis baixos de detalhe (LOD). Esta incerteza diminui à medida que o projeto amadurece, melhorando consequentemente a estimativa de custos [5].

O BIM apresenta inúmeras vantagens no controlo financeiro sendo as mais importantes a sua facilidade de extração de quantidades, a alteração imediata dos custos quando um elemento é modificado e a possibilidade da realização de relatórios mensais que permitem um controlo mais efetivo.

Para realizar um controlo eficiente de uma empreitada, há uma vasta lista de softwares de gestão de custos criados por várias empresas, a seguinte tabela mostra uma lista destes softwares:

Tabela 3- Softwares de gestão de custos 5D

Software de gestão de custos	Logotipo
Bexel Manager	
Vico Office	
NavisWorks	
CostX	

2.3.3. NORMAS E REGRAS DE MEDIÇÃO

As normas e regras de medição no contexto da construção civil são essenciais para garantir a precisão, a consistência e a transparência em todo o processo de estimativa de custos e gestão de projetos. Essas normas são fundamentais para que as medições de quantidades e os custos associados sejam realizados de forma uniforme e comparável, independentemente da equipe ou empresa responsável pela execução ou do tipo de projeto em questão.

No âmbito internacional, as "New Rules of Measurement" (NRM) desenvolvidas pela Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) representam um conjunto de diretrizes que são amplamente respeitadas e adotadas. Estas normas são detalhadas em três volumes que cobrem diferentes fases e aspectos da construção:

- NRM1: Foca na preparação de estimativas de custos de capital para obras de construção civil.
- NRM2: Trata da elaboração de orçamentos detalhados e quantificações a partir de desenhos e especificações.
- NRM3: Direciona para os custos de manutenção e renovação de edifícios.

Cada volume das NRM oferece um framework detalhado sobre como as quantidades devem ser medidas e como os custos devem ser estimados, proporcionando um padrão que facilita a comparação entre diferentes projetos e a avaliação da eficiência e economicidade das práticas de construção.

Em Portugal, a abordagem à medição na construção tem sido historicamente guiada por documentos produzidos pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e outros organismos. Desde 1969, o LNEC tem publicado diretrizes que ajudam na padronização das práticas de medição. Uma referência chave é o "Curso sobre Regras de Medição na Construção" (CSRMC) de 1997, que se tornou um manual essencial para profissionais da área. Este curso oferece uma visão detalhada de como realizar medições precisas para variados trabalhos de construção, incluindo os necessários para obras de infraestrutura, edificações, e até trabalhos mais específicos como movimentações de terra e transporte de materiais.

Estas regras especificam as unidades de medida apropriadas para cada tipo de material e trabalho, garantindo que a medição das quantidades possa ser feita de forma padronizada. Isso é crucial para a elaboração de orçamentos realistas e para a gestão eficaz de recursos durante a construção.

Adicionalmente, a padronização das práticas de medição ajuda a evitar disputas e mal-entendidos entre as várias partes envolvidas no projeto, desde os construtores até aos investidores e proprietários de obras.

A existência de um conjunto padronizado de normas e regras de medição é, portanto, fundamental para a integridade e sucesso da indústria da construção. Ela não apenas facilita a elaboração de estimativas mais precisas e a gestão mais eficiente dos projetos, como também promove uma maior transparência em todas as fases do processo construtivo.

À medida que a metodologia BIM é aplicada para obter quantidades precisas de elementos construtivos, surge a questão da relevância contínua das regras tradicionais de medição. Recentemente, tem havido um interesse crescente em explorar como os critérios estabelecidos pelas práticas convencionais de medição podem ser integrados ao ambiente BIM.

Nos últimos anos, vários estudos têm examinado maneiras de adaptar as normas tradicionais de medição para a modelagem BIM. Um desses estudos, desenvolveu uma metodologia que possibilitou a extração automática de quantidades, levando em consideração os critérios estabelecidos pelo CSRMC do LNEC. Esse trabalho destacou várias vantagens do BIM nesse contexto, incluindo maior precisão nas medições e a capacidade de extrair informações detalhadas sobre os elementos modelados. [23]

Além disso, um estudo abordou especificamente a questão da precisão das medições em elementos complexos, como paredes, dentro do contexto da metodologia BIM. Eles desenvolveram uma abordagem inovadora que se baseia no conceito de "Clash Detection" para aprimorar a precisão das medições automáticas.

O "Clash Detection" é uma ferramenta amplamente utilizada no campo da modelagem BIM que identifica interferências ou conflitos entre diferentes elementos do modelo, como tubagens que atravessam paredes. No entanto, os investigadores exploraram uma aplicação mais ampla dessa ferramenta, utilizando-a para detetar e corrigir imprecisões nas medições de elementos com várias camadas, como paredes compostas por diferentes materiais ou componentes.

Por exemplo, na figura 6 temos uma situação em que o revestimento de um piso passa por baixo de um pilar, o "Clash Detection" seria capaz de identificar essa sobreposição e ajustar automaticamente as medições correspondentes, garantindo assim uma representação mais precisa da quantidade de material necessário para a construção.

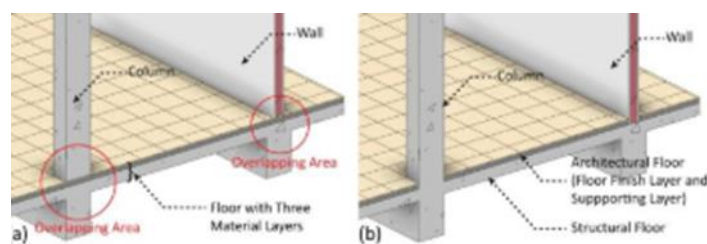


Figura 6-a) O pavimento é instalado sob a coluna e a parede, o que resulta em excesso de material. (b) O método correto de modelagem separa o pavimento do elemento estrutural para evitar áreas sobrepostas. [24]

Essa abordagem ilustra os esforços contínuos e inovadores para aprimorar a tecnologia BIM e superar os desafios específicos associados à medição na construção. Ao integrar conceitos como o "Clash Detection" às práticas de medição dentro do ambiente BIM, os investigadores estão a contribuir para uma maior precisão e eficiência no processo de quantificação de elementos construtivos complexos.[24]

2.3.4. SISTEMAS DE CLASSIFICAÇÃO

A evolução contínua na indústria da construção impulsionou a necessidade de sistemas padronizados de classificação para lidar com o crescente fluxo de informações. Dentre os sistemas mais relevantes estão o Masterformat, Uniformat, Omniclass, Uniclass 2015 e ProNIC. Esses sistemas, também conhecidos como Construction Information Classification Systems (CICS) ou Construction Classification Systems (CCS), têm como objetivo organizar os dados por capítulos ou especialidades, proporcionando uma ordenação hierárquica da informação adequada ao tipo de empreendimento em questão.

O Masterformat, desenvolvido pelo Construction Specifications Institute (CSI) e pelo Construction Specifications Canada (CSC), categoriza os elementos do processo construtivo em grupos, subgrupos e divisões desde os anos sessenta.

O Uniformat, desenvolvido pelo American Institute of Architects (AIA) e pela General Services Administration (GSA), categoriza os elementos de construção em nove categorias principais, sem considerar os materiais ou metodologias de construção.

O Omniclass, amplamente utilizado nos Estados Unidos, oferece 15 tabelas hierárquicas distintas para classificar diferentes parcelas da informação de construção de forma independente.

O Uniclass 2015, originário do Reino Unido, consiste em um conjunto hierárquico de 12 tabelas que permite a classificação unificada de edifícios, infraestruturas e paisagens.

O ProNIC, sistema desenvolvido em Portugal, se destaca ao oferecer uma estrutura hierárquica de desagregação de trabalhos com capítulos e artigos. Cada artigo descreve de maneira específica um trabalho, incluindo quantidades, códigos únicos e preços unitários vinculados a uma base de dados económica. Essa integração possibilita estimativas de custo precisas, auxiliando no cumprimento de metas de prazo, custo e qualidade da obra.

Além disso, o ProNIC promove a padronização na organização da informação, reduzindo erros, omissões e conflitos, e facilitando a colaboração entre os diversos intervenientes do projeto. A capacidade de gerar automaticamente documentos, como Fichas de Execução de Trabalhos (FET) e Fichas de Materiais (FMAT), agiliza o processo construtivo, melhorando sua eficiência e qualidade.[25]

Os sistemas de classificação na construção desempenham um papel crucial na gestão da informação ao longo do ciclo de vida do empreendimento, contribuindo significativamente para sua eficácia e sucesso. A adoção de sistemas como o ProNIC pode proporcionar uma abordagem mais integrada, eficiente e padronizada para os projetos de construção, resultando em benefícios tangíveis em termos de eficiência, precisão e qualidade.

2.4. CASOS DE ESTUDO BIM 4D E 5D

A gestão eficiente de custos e prazos é fundamental para o sucesso de projetos de construção. A implementação do Building Information Modeling (BIM) tem revolucionado esses processos, integrando diferentes fases do projeto e proporcionando maior precisão e eficiência. Nesta secção, serão examinados diversos casos de estudo que ilustram a aplicação do software BIM na automatização do planeamento e gestão financeira dos contratos de construção. Também serão discutidas a automação de processos relacionados com estimativas de custos, extração de quantidades e a organização do planeamento das obras.

Tradicionalmente, o controlo financeiro é realizado manualmente e está sujeito a erros, especialmente na medição e estimativa de custos. A digitalização com BIM tem melhorado significativamente a

precisão e a eficiência destes processos. Os casos de estudo apresentados nesta secção revelam avanços importantes e serão analisados detalhadamente no Capítulo 3, com a finalidade de criar um método BIM robusta para o sector da construção.

Para assegurar a relevância e a abrangência das análises, os casos de estudo foram selecionados com base em critérios rigorosos. Optou-se por estudos que demonstram a aplicação do BIM nas dimensões 4D e 5D em variados tipos de projetos, destacando o impacto positivo na gestão de prazos e custos. Privilegiaram-se aqueles que enfrentaram desafios significativos na implementação do BIM e apresentaram soluções inovadoras. Além disso, a seleção incluiu estudos com documentação detalhada e análise crítica, realizados em diversos contextos geográficos e ambientes de construção, evidenciando a versatilidade do BIM. Estes critérios asseguraram a representatividade das melhores práticas e ofereceram insights valiosos para a gestão de projetos de construção.

2.4.1. IMPLEMENTAÇÃO DE BIM 4D NO PLANEAMENTO DO MAIS ALTO EDIFÍCIO MODULAR DO MUNDO.

O artigo relata o trabalho da empresa Tantek 4D na gestão do planeamento de construção do mais alto edifício modular do mundo, localizado em Londres, Inglaterra. O objetivo principal foi criar simulações digitais 4D dos planos pré-construção, recorrendo ao software SYNCHRO de modo a resolver os desafios do projeto.

A metodologia empregada pela Tantek 4D para gerir o planeamento da construção do edifício modular envolveu várias etapas. Inicialmente, a equipe importou os dados do projeto para as ferramentas SYNCHRO 4D e SYNCHRO Pro. Essas ferramentas permitiram a criação de um modelo BIM 4D detalhado. Com o modelo BIM 4D em mãos, a equipe pôde simular virtualmente o processo de construção, incluindo a sequência de atividades, alocação de recursos e duração das tarefas proporcionando uma visão dinâmica e interativa do progresso da obra ao longo do tempo, identificando potenciais conflitos e oportunidades de otimização. Durante a simulação, a equipe pôde identificar erros de sequenciamento e áreas onde o programa de construção poderia ser acelerado. Essas descobertas foram então utilizadas para ajustar o plano de construção e otimizar o cronograma, visando aumentar a eficiência e reduzir os atrasos.

Além disso, o modelo BIM 4D foi usado para comunicar visualmente o plano de construção aos stakeholders, como a Network Rail e a Transport for London, facilitando a compreensão do projeto e ajudando na tomada de decisões rápidas e eficientes.[26]

2.4.2. PLANEAMENTO BIM 4D NA CONSTRUÇÃO FERROVIÁRIA DE MELBOURNE.

O artigo aborda um projeto de construção liderado pela organização Laing O'Rourke, localizado em Melbourne, Victoria, Austrália. O projeto teve como principal objetivo a eliminação de passagens de nível ao longo de uma linha ferroviária, visando eliminar bloqueios rodoviários e colisões. Esta intervenção foi vital para melhorar a segurança e eficiência do transporte na região.

A metodologia utilizada foi crucial para alcançar os objetivos estabelecidos. O projeto empregou uma abordagem inovadora, incluindo o uso de tecnologias como Descartes™, iTwin® Capture, OpenBuildings®, ProjectWise® e SYNCHRO. Destas, destaca-se a utilização do SYNCHRO.

O SYNCHRO desempenhou um papel fundamental na gestão e otimização do processo de construção. Inicialmente, a equipe utilizou o SYNCHRO para vincular o cronograma do projeto ao modelo digital, criando uma representação visual precisa de cada fase da construção ao longo do tempo, permitindo uma análise detalhada do planeamento da obra, identificando potenciais conflitos na programação e

permitindo ajustes para maximizar a eficiência. Além disso, o SYNCHRO foi utilizado para simular virtualmente 90% dos movimentos das guias incluindo a identificação dos locais ideais para as posicionar, a determinação das rotas de transporte e a análise dos procedimentos de montagem e desmontagem das guias. Essa simulação permitiu à equipe otimizar a utilização das guias, minimizando o tempo de inatividade e maximizando a segurança durante as operações de elevação.

Outro aspecto importante do uso do SYNCHRO foi a sua capacidade de fornecer relatórios visuais dinâmicos, permitindo à equipe acompanhar de perto o progresso do projeto em tempo real. [27]

2.4.3. APLICAÇÃO DO PLANEAMENTO 4D EM UMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.

O estudo concentrou-se na aplicação do planeamento 4D numa residência unifamiliar situada no município do Eusébio, Ceará, empregando a metodologia BIM. A habitação é composta por três suítes, casa de banho, escritório, sala com pé direito duplo, cozinha, deck gourmet, área de serviço, garagem e área de lazer com piscina e casa de banho.

Os objetivos foram analisar os benefícios da aplicação do planeamento 4D neste contexto. A metodologia empregue teve início com uma análise detalhada do caso específico em questão, priorizando a construção virtual multidisciplinar no software Revit. Posteriormente, a vinculação ao planeamento foi realizada no Microsoft Project, utilizando o Navisworks como ferramenta de integração entre os modelos e o cronograma.

Os resultados destacaram que o BIM, quando aplicado corretamente, contribui para a melhoria contínua na construção civil. A atualização em tempo real dos modelos permitiu o rastreamento das alterações durante a execução da obra, simplificando o processo de decisão e a interação entre a equipa e os clientes. Em suma, o planeamento 4D mostrou-se uma ferramenta eficaz para melhorar o controlo e a comunicação em projetos de construção, permitindo uma visualização detalhada da obra e auxiliando na previsão de problemas antes da execução.[28]

2.4.4. EMPREENDIMENTO COMERCIAL HILLWOOD- BIM PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS.

O estudo analisa o Empreendimento Comercial Hillwood, localizado no coração de Dallas, Texas. Este empreendimento compreende um edifício de escritórios e lojas numa área de 12.524 m², situado num terreno de 0,65 hectares. Para viabilizar e otimizar o desenvolvimento deste empreendimento, foi empregada uma abordagem inovadora baseada na metodologia Building Information Modeling (BIM), com destaque para a utilização da ferramenta DProfiler da Beck Technology. Essa metodologia consistiu na criação de um modelo digital abrangente, capaz de fornecer estimativas de custos precisas e em tempo real, integradas a folhas de cálculo.

Foi obtida uma redução significativa de até 92% no tempo necessário para a produção de estimativas de custos, quando comparado aos métodos tradicionais. Além disso, a equipe teve a capacidade de explorar diversas alternativas de projeto de forma ágil, ajustando custos e viabilidade conforme necessário. A representação visual das estimativas no modelo tridimensional proporcionou uma compreensão mais profunda e detalhada do projeto, permitindo uma tomada de decisão mais precisa.[5]

2.4.5. CHASE CENTER

O artigo aborda a metodologia adotada pela equipe da Mortenson | Clark durante a construção do Chase Center, um empreendimento ambicioso de desporto e entretenimento nos Estados Unidos. Diante a

necessidade de concluir a construção dentro de um prazo rigoroso e enfrentando complexidades como o terreno instável e a proximidade de estruturas vizinhas, a equipa adotou uma abordagem inovadora e eficiente para garantir o sucesso do projeto. Na etapa de planeamento, a equipa determinou que a melhor maneira de desenvolver um cronograma de construção eficaz e rápido era dividir o projeto em partes gerenciáveis com cronogramas únicos, mas interligados. Assim, os quatro edifícios principais foram construídos simultaneamente, com cada um tendo seu próprio cronograma de trabalho coordenado permitindo que a construção progredisse de forma consistente em todas as áreas, evitando atrasos e maximizando a eficiência.

Para apoiar essa abordagem, a equipe utilizou o software SYNCHRO para criar um modelo 4D detalhado da arena proposta. Este modelo não apenas representou a estrutura física da arena, mas também incorporou elementos de tempo e sequenciamento, permitindo uma visualização dinâmica do progresso da construção ao longo do tempo. Além disso, foram desenvolvidos scripts para automatizar a manutenção do modelo e otimizar a transferência de dados entre elementos, reduzindo o tempo necessário para essas tarefas de até 20 horas para minutos. Reuniões regulares foram realizadas, onde as partes interessadas identificaram e abordaram potenciais problemas de sequenciamento.[29]

2.4.6. ESTÁDIO DO CSKA MOSCOVO.

Este artigo descreve um projeto de construção que envolve a criação de um novo estádio para o CSKA Moscow na Rússia.

A metodologia proposta inclui a implementação do BIM desde o início do projeto até a conclusão da construção, utilizando o software BEXEL Manager. O modelo BIM, com aproximadamente 400.000 elementos, foi mantido atualizado ao longo de todo o processo. A utilização do BIM possibilitou a detecção e resolução eficiente de mais de 3.200 conflitos espaciais, economizando tempo e evitando custos extras. Além disso, a extração de desenhos precisos e a realização de levantamentos de quantidade de BIM durante a fase de licitação contribuíram para economias significativas para o empreiteiro, totalizando 3,17% do valor total do contrato. A metodologia também envolveu o uso de simulações 4D/5D para o planeamento da obra, garantindo a inclusão de todas as atividades necessárias nos cronogramas e fornecendo uma melhor compreensão do progresso e dos custos do projeto. Atualizações regulares das simulações foram realizadas para refletir as mudanças no mercado e no progresso real da construção.[30]

2.4.7. BIM 4D E 5D NUM PROJETO DE ESTÂNCIA NO CARIBE

O projeto teve como objetivo a expansão de um resort na Jamaica, sob a gestão da renomada empresa Karisma Hotels & Resorts. A expansão compreendeu a construção de seis novos edifícios, totalizando 147 suítes, além da incorporação de diversas instalações complementares.

A fim de enfrentar os desafios complexos inerentes ao projeto, optou-se pela implementação da metodologia BIM desde a etapa inicial do projeto até a fase de comissionamento. O software Autodesk Revit foi selecionado como ferramenta primária para o desenvolvimento do modelo completo em 3D, servindo como a espinha dorsal do processo. Entretanto, a diferenciação e a verdadeira otimização do projeto vieram com a incorporação das dimensões 4D e 5D do BIM.

Na dimensão 4D, o principal foco foi integrar o fator tempo ao modelo tridimensional permitindo uma representação visual do progresso da construção ao longo do tempo, proporcionando uma perspectiva dinâmica do projeto. A utilização do software possibilitou a visualização sequencial dos estágios de

construção, facilitando o planejamento detalhado e a programação precisa das atividades. Esta abordagem não só facilitou a gestão de recursos, como também permitiu identificar precocemente possíveis conflitos e atrasos no cronograma, resultando numa execução mais eficiente e eficaz do projeto.

Por outro lado, a dimensão 5D do BIM trouxe uma camada adicional de análise financeira e gestão de custos ao projeto. Nesse sentido, foram incorporadas informações detalhadas de custos ao modelo, possibilitando uma análise abrangente dos aspectos financeiros do empreendimento. Isso incluiu a estimativa de custos ao longo do tempo, o que permitiu uma previsão mais precisa dos gastos em cada fase do projeto. Além disso, a integração dos custos ao modelo facilitou o controle financeiro em tempo real, possibilitando ajustes rápidos e efetivos para garantir a conformidade com o orçamento estabelecido. A implementação bem-sucedida das dimensões 4D e 5D do BIM resultou numa série de benefícios tangíveis para o projeto. Em primeiro lugar, a visualização do progresso da construção ao longo do tempo permitiu uma gestão mais eficiente do cronograma, reduzindo significativamente o risco de atrasos e conflitos durante a execução. Em segundo lugar, a análise financeira detalhada possibilitada pela dimensão 5D permitiu um controle mais preciso dos custos, resultando em uma administração financeira mais eficaz e transparente.[31]

2.4.8. UTILIZAÇÃO DE UM MODELO BIM 4D NA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO: ESTUDO DE CASO NO IRAQUE.

O artigo descreve a implementação do modelo 4D BIM na documentação de um projeto de construção no Iraque. A obra em questão trata-se de um edifício de grande escala, com uma área de 2000 metros quadrados, cuja construção teve início em 2012. Inicialmente, o modelo foi criado no software Revit e, em seguida, exportado para o Navisworks. O planejamento do projeto foi importado do Microsoft Project para o Navisworks, permitindo a vinculação do cronograma ao modelo tridimensional e a criação do modelo 4D BIM.

A metodologia adotada incluiu a comparação das quantidades documentadas pelo BIM com métodos manuais em vários elementos da construção. Os resultados destacaram a eficácia e precisão do modelo 4D BIM, evidenciando diferenças mínimas entre as quantidades reais e as calculadas pelo BIM. Além disso, a inclusão de links externos no Navisworks facilitou o acesso aos documentos relevantes do projeto, melhorando a gestão e organização das informações. Em síntese, o estudo demonstrou os benefícios da documentação BIM na administração de projetos de construção, proporcionando uma visão dinâmica e integrada das etapas de construção, fundamental para o sucesso e eficiência das obras.[32]

2.4.9. CONTROLO DE QUALIDADE EM OBRA.

Nesta dissertação é feita uma introdução ao uso da ferramenta Procore e das suas funcionalidades para a fiscalização de uma obra. São apresentadas ferramentas de gestão de projetos e especificadas as funcionalidades que a empresa Buildgest optou por não adquirir, explicando como poderiam ser utilizadas.

Posteriormente, as ferramentas foram testadas em obra, incluindo a associação de uma foto a um desenho, o cumprimento dos requisitos de um material e a notificação da substituição de uma placa de gesso cartonado danificada.

Concluiu-se que a ferramenta se revelou muito útil e capaz de satisfazer de forma positiva os serviços prestados pela Buildgest.[33]

2.4.10. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NA CONSTRUÇÃO DE UM PARQUE INFANTIL

O artigo descreve o processo de planeamento e controlo de uma obra, mais especificamente a construção de um parque infantil no Distrito de Corozal, utilizando a metodologia BIM 5D. O planeamento envolve a revisão dos itens e unidades, agrupando-os de forma ordenada, calculando as quantidades de trabalho e analisando os preços unitários dos materiais e equipamentos. A programação é realizada utilizando ferramentas computacionais, como o software Revit 2019, para criar um modelo tridimensional (3D) baseado nos planos arquitetónicos e estruturais do projeto.

Posteriormente, o software Navisworks 2019 é utilizado para integrar o modelo 3D com a programação do projeto, obtendo assim as dimensões 4D (tempos estimados para executar o trabalho) e 5D (custos do projeto) da metodologia BIM. Além disso, o Navisworks permitiu simular o processo de construção de forma animada. O controlo do avanço do trabalho foi realizado utilizando índices de desempenho do cronograma e de custo. No final, através deste planeamento e controlo, os objetivos do projeto são alcançados, incluindo a quantificação das quantidades de trabalho, a análise dos preços unitários, a execução do cronograma de equipamentos e mão de obra, e a atribuição dos custos e recursos das atividades orçamentais no Ms Project.[34]

2.4.11. APLICAÇÃO DE BIM NO PLANEAMENTO DE UMA OBRA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: CASO DE ESTUDO

O artigo aborda a aplicação do BIM no planeamento de residências de interesse social no Brasil. Começa por descrever a habitação escolhida para estudo, destacando que se trata de uma construção de pequena dimensão com 51,69 m², contendo 2 quartos, sala, cozinha, casa de banho, área de serviço e terraço, com alta replicabilidade no território brasileiro.

A metodologia aplicada inicia com a análise do projeto arquitetónico e hidráulico existentes, seguida pelo desenvolvimento de modelos BIM adicionais para os projetos elétrico, sanitário e estrutural, para esta finalidade, foram utilizadas ferramentas digitais como TQS para estrutura, Autodesk Revit para instalações e Navisworks para compatibilização dos modelos. Os modelos foram reunidos num único arquivo, denominado modelo federado, e passaram por um estudo de compatibilização para identificar e eliminar interferências entre as diferentes disciplinas. Após esta etapa, foram realizados levantamentos quantitativos e introduzidos numa planilha Excel. Posteriormente, deu-se início ao planeamento da obra utilizando o software MS Project, no qual foram inseridos os dados extraídos dos modelos federados juntamente com fatores de tempo. Após a programação, foi realizada uma simulação do tempo no Navisworks para obter o cronograma-físico da obra, permitindo visualizar os parâmetros temporais do projeto.

Os resultados obtidos destacaram a interoperabilidade entre os softwares utilizados, a facilidade de extração de quantitativos a partir dos modelos virtuais e a capacidade de prever interferências ainda na fase de projeto. Além disso, foi possível visualizar a programação da obra, diluindo atrasos e conservando o caminho crítico. Concluiu-se que o uso do BIM proporcionou maior fluidez, agilidade e confiabilidade no planeamento da habitação de interesse social, destacando-se a importância do BIM como uma ferramenta essencial para a melhoria da qualidade dos projetos na construção civil.[35]

2.4.12. ESTIMATIVA DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DE UM HOSPITAL ATRAVÉS DO SOFTWARE VICO OFFICE.

Foi desenvolvido um processo operacional para a gestão financeira, sublinhando-se a importância do papel do estimador e a utilização do Vico Office. O projeto tinha diversos propósitos, incluindo a automação da extração de quantidades, a criação de sequências e animações para a gestão do planeamento construtivo, a integração com diversos softwares, como Revit, AutoCAD, SketchUp e Rhino, e a obtenção exata de quantidades a partir de diferentes modelos.

Esta abordagem foi utilizada num estudo de caso referente à construção de um hospital, com o objetivo de informatizar grandes volumes de dados. O processo teve início com a criação de um modelo tridimensional no Revit, com a classificação dos elementos construtivos segundo os níveis Unifomat II, permitindo a exportação para o Vico Office, onde o desenvolvimento e ajustes do projeto foram realizados. A extração de quantidades foi facilitada pela divisão do edifício em zonas, possibilitando uma categorização mais eficaz através do gerenciador de cronograma baseado em localização (LBS).

Todos os elementos pertinentes foram meticulosamente organizados utilizando códigos, famílias e tipos, resultando em uma extração rápida e precisa de quantidades. O modelo 5D foi então desenvolvido, vinculando as quantidades às tarefas do planeamento construtivo, evidenciando a viabilidade de digitalizar uma vasta gama de informações relevantes para o controle de um projeto de construção, através da utilização de diversas funcionalidades de um único software.[36]

2.4.13. INCORPORAÇÃO DO CÁLCULO DO CICLO DE VIDA (LCC) NO BIM 5D.

Este artigo explora a sinergia entre a quinta dimensão do BIM e o Life Cycle Costing (LCC), fornecendo uma abordagem inovadora para a estimativa de custos ao longo do ciclo de vida de projetos de construção. A metodologia empregada envolve a personalização do software CostX 5D Estimating para incorporar estruturas de cálculo de LCC baseadas em planilhas.

Os participantes foram envolvidos em uma avaliação cooperativa para testar a eficácia dessa abordagem, a qual permitiu a automação de cálculos complexos de LCC, simplificando a geração de estimativas financeiras ao longo do ciclo de vida do projeto. A integração de BIM 5D facilitou a extração de quantidades de modelos BIM, vinculando-as diretamente às planilhas de cálculo de LCC. Os resultados indicaram uma melhoria significativa na eficiência e na precisão das estimativas de custos do ciclo de vida do projeto, destacando a viabilidade e os benefícios dessa abordagem para profissionais da construção.[37]

2.4.14. AUTOMATISMOS E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL EM BIM.

O artigo detalha um projeto específico de remodelação de um piso de escritórios como caso de estudo para demonstrar a eficácia do método proposto. Nesse projeto, todos os elementos foram cuidadosamente modelados no software Revit, incluindo demolições, elementos construtivos, equipamentos e mobiliário.

A metodologia adotada envolveu várias etapas bem definidas. Inicialmente, houve uma análise minuciosa dos softwares de medição disponíveis no mercado, seguida pela identificação dos processos de medição utilizados na indústria. Posteriormente, foram desenvolvidos automatismos (add-ins) em Python e C# para a extração das quantidades e informações do modelo Revit e sua exportação para um documento de MQTP. O processo também incluiu a preparação cuidadosa do modelo Revit, auditoria dos ficheiros para garantir a integridade das informações, extração e validação das quantidades, e por

fim, a exportação final do MQTP. Cada etapa foi realizada com atenção aos detalhes, visando garantir a precisão e consistência das informações.

Os resultados obtidos foram muito positivos. Além de uma redução significativa no tempo necessário para a preparação do MQTP, houve uma diminuição dos erros e omissões comuns em processos tradicionais de medição. O método foi considerado um sucesso pela empresa, representando um avanço significativo na eficiência e qualidade das estimativas orçamentais em projetos de arquitetura.[38]

2.4.15. UTILIZAÇÃO DO BIM NA OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E CONTROLO DAS CONSTRUÇÕES.

O artigo apresenta um estudo detalhado sobre a integração de metodologias BIM no planeamento e gestão de um edifício de habitação coletiva situado em Cascais. Este edifício, com uma área de construção de 1306 metros quadrados, compreende 7 andares acima do nível do solo e 2 andares subterrâneos, apresentando um pé-direito de 3,38 metros.

A metodologia implementada começa com a criação de um modelo 3D para a arquitetura e as estruturas do edifício no software Autodesk Revit. Em seguida, identificam-se incompatibilidades e conflitos entre as especialidades, utilizando-se o software Navisworks para a deteção e correção destes problemas. Isso incluiu a geração de representações visuais no software de modelagem e a realização de testes de clash-detection para antecipar problemas na obra. Posteriormente, realiza-se a simulação 4D e 5D para permitir a visualização temporal e de custos ao longo da construção. Isso envolve a vinculação dos elementos do modelo com as tarefas correspondentes do cronograma, exportando o modelo do Revit para o Navisworks e importando o planeamento do MS Project para o Navisworks. Além disso a previsão de custos foi realizada utilizando a ferramenta de cotação online da CYPE.

Os resultados obtidos demonstram a eficácia da metodologia implementada. A modelação tridimensional permitiu a deteção precoce de conflitos e a associação dos elementos do modelo às tarefas do cronograma, possibilitando uma simulação precisa do faseamento construtivo. Além disso, a automatização dos processos através de códigos de programação desenvolvidos com o plug-in Dynamo para o Autodesk Revit proporcionou um controlo eficiente de tempos e custos, permitindo uma visualização clara do estado da construção em diferentes momentos.[39]

2.4.16. BIM NA GESTÃO DA OBRA: DIGITALIZAÇÃO 3D COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA O CONTROLO DO PLANEAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA.

O artigo aborda o uso do Laser Scanning (LS) no controlo de obras e planeamento, com foco no estudo de caso do edifício do Continente Bom Dia situado em S. João da Madeira. Este edifício é detalhadamente descrito, compreendendo três pisos destinados a diferentes funções, totalizando uma área de cerca de 3303 m².

A metodologia empregada no estudo compreende várias etapas, desde o planeamento até à análise dos resultados. No planeamento, são definidos os objetivos do levantamento, a área a ser coberta e os detalhes a serem capturados. Na recolha de dados, o Laser Scanning é utilizado para varrer o edifício e estabelecer pontos de controlo. Posteriormente, as nuvens de pontos são pré-processadas para otimização e unificação, utilizando o software Cyclone da Leica.

O edifício é modelado com o software Revit e Tekla, com a estrutura de betão e metálica tratadas separadamente. O planeamento dos trabalhos é realizado no MS Project, dividindo as tarefas por pisos e elementos estruturais. O Revit é utilizado para extrair as quantidades de materiais incluídas no modelo, e a estimativa de custos é realizada no Excel com base nas quantidades exportadas anteriormente.

Os levantamentos de Laser Scanning são realizados em duas ocasiões distintas. No primeiro levantamento, realizado em julho de 2017, é possível comparar a obra realizada com o planeamento, identificando atrasos e elementos em falta. Já no segundo levantamento, em agosto de 2017, o foco é na cobertura metálica, evidenciando falhas de construção e discrepâncias com o modelo.

A conclusão do estudo destaca a importância da comparação entre o modelo 3D e os levantamentos de LS para identificar atrasos na obra e discrepâncias em relação ao planeamento.[40]

2.4.17. ANÁLISE DO QUANTITATIVO EXTRAÍDO VIA MÉTODO CONVENCIONAL E TECNOLOGIA BIM PARA OS REVESTIMENTOS.

O estudo analisa a diferença entre os métodos de orçamentação convencional, utilizando o AutoCAD, e a tecnologia BIM, representada pelo Revit, para um edifício residencial de pequeno porte localizado no Nordeste de Minas Gerais. A obra compreende uma construção em betão armado, abrangendo revestimentos de argamassa e pintura/cerâmica. A metodologia empregada envolveu a modelagem do edifício no Revit para extração dos quantitativos, posteriormente comparados com os obtidos através do AutoCAD. As análises foram conduzidas tanto para os revestimentos de argamassa quanto para os de pintura/cerâmica, identificando diferenças nos quantitativos e seus impactos nos custos.

As diferenças observadas nos quantitativos entre os métodos convencionais e o BIM podem ser atribuídas à representação mais precisa e detalhada da edificação proporcionada pelo BIM, resultando em uma identificação mais acurada dos elementos construtivos e uma extração automática de quantitativos mais eficientes. Enquanto isso, o método convencional, baseado em softwares como o AutoCAD, depende mais de processos manuais e cálculos separados, o que pode levar a estimativas menos precisas e sujeitas a erros. Essas diferenças refletem as vantagens do BIM em termos de precisão, automação e integração de dados, conforme destacado no estudo.[41]

2.4.18. O USO DA TECNOLOGIA BIM NA QUANTIFICAÇÃO E NO PLANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA RN - BRASIL.

Este artigo aborda a aplicação do BIM num projeto de habitação em Portugal. A metodologia utilizada foi dividida em três etapas: revisão teórica sobre BIM, quantificação e planeamento; treinamento nos softwares Revit e Navisworks; e aplicação prática desses conhecimentos num projeto real.

Para a extração de quantidades, o Revit foi utilizado para modelar e quantificar os materiais necessários, ajustando parâmetros e fórmulas conforme os critérios locais de medição. O software permitiu resolver conflitos e garantir a precisão na quantificação de alvenarias, rodapés e áreas impermeáveis. A modelagem 4D no Navisworks facilitou a identificação de incompatibilidades na sequência de serviços e permitiu uma visualização detalhada do desenvolvimento da obra.

Os resultados mostraram que a utilização do BIM promoveu maior facilidade, rapidez e confiabilidade nos processos de construção. A integração de modelagem 3D com cronogramas possibilitou um acompanhamento mais preciso da execução da obra, minimizando erros e facilitando a gestão de prazos e custos. Concluiu-se que o BIM oferece benefícios significativos para a coordenação e execução de projetos de construção.[42]

2.4.19. APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM NA MELHORIA DA COLABORAÇÃO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO.

Este estudo concentrou-se na aplicação da metodologia BIM em um projeto de construção de um complexo turístico no interior de Portugal. O edifício, composto por quatro pisos, apresentava metade de sua estrutura abaixo do solo, destinada a quartos, sala e cozinha, enquanto a outra metade estava acima do solo, incluindo garagem, quartos e sótão, em um terreno com inclinação de 30%.

Inicialmente, utilizou-se o software Revit para realizar a modelagem arquitetônica e estrutural do projeto. Por meio do Revit, foi possível criar modelos tridimensionais precisos, incorporando informações detalhadas sobre cada componente da construção. Em seguida, o software Navisworks foi empregado para realizar a simulação do processo de construção em 4D. Essa abordagem permitiu a visualização dinâmica e cronológica do projeto, integrando a dimensão temporal ao modelo BIM e facilitando o planejamento e a gestão das atividades de construção ao longo do tempo.

Além disso, foram conduzidas análises de detecção de conflitos entre os diferentes componentes do modelo BIM. Essas análises ajudaram a identificar e corrigir inconsistências e erros de projeto antes mesmo do início da construção física, economizando tempo e recursos. A extração de quantidades de materiais foi outra etapa crucial do processo metodológico. Isso envolveu a geração de tabelas que detalham a quantidade de materiais necessários para a construção com base no modelo BIM. Utilizando informações como dimensões, áreas e volumes dos elementos construtivos, foram elaboradas estimativas precisas dos requisitos de materiais e dos custos associados à construção.

Os resultados obtidos demonstraram uma melhoria significativa na qualidade e eficiência do projeto e planejamento da construção. A metodologia BIM permitiu uma redução de conflitos entre disciplinas, uma visualização mais realista do projeto e uma estimativa mais precisa dos custos de construção. A simulação em 4D facilitou o planejamento das atividades e contribuiu para uma execução mais eficiente do projeto.[43]

2.4.20. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NO CONTROLO FINANCEIRO DE UM HOTEL.

O estudo explorou detalhadamente a aplicação das tecnologias BIM para a gestão financeira na construção de um hotel. Foi desenvolvido no software Bexel Manager um modelo BIM 5D com o propósito de registrar os elementos construídos ao longo de todo o processo. Este empreendimento envolveu várias etapas, começando pela criação de um modelo 3D em Revit, que em seguida foi enviado para o Bexel Manager. Os elementos foram organizados por meio da atribuição de códigos OmniClass.

A medição automática das quantidades foi realizada com base na Estrutura de Divisão do Trabalho (WBS) estabelecida pelo empreiteiro, seguida pela implementação de um sistema de custos para calcular os custos dos objetos. Adicionalmente, foi elaborado um planejamento detalhado em MS Project e integrado aos elementos do modelo 3D. Por fim, o progresso real da construção foi inserido no modelo para comparação com o orçamento inicial, com o objetivo de realizar o controlo financeiro. Esta abordagem contribuiu significativamente para otimizar custos e cronogramas, simplificar o processo de fiscalização e identificar precocemente desvios em relação ao planejamento inicial.[44]

3

Analise Critica e Comparativa de Casos de Estudo

3.1. MÉTODO USADO PARA A ANÁLISE CRÍTICA E COMPARATIVA DE SOFTWARE DE GESTÃO DE CUSTOS E PRAZOS

No capítulo anterior, procedeu-se a uma análise bibliográfica com o intuito de avaliar a digitalização no contexto do controlo de empreitadas, destacando-se as ferramentas BIM (Modelação da Informação da Construção) como soluções viáveis para a digitalização e automação na indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Foram apresentados exemplos práticos que evidenciaram a aplicação do BIM no planeamento, controlo de custos e gestão de quantidades, especialmente nas dimensões 4D e 5D do BIM, áreas extensivamente estudadas nas últimas duas décadas.

A revisão abordou a automatização de processos tradicionalmente demorados, evidenciando que a melhoria de pequenos processos é crucial para um controlo mais eficiente do projeto. A aplicação de tecnologias digitais no setor AEC revelou-se impactante, justificando uma análise crítica detalhada. Assim, no Capítulo 3, serão analisadas as metodologias e recursos para o planeamento da construção e estimativa de custos, a aplicabilidade das ferramentas utilizadas nos casos de estudo, e os obstáculos enfrentados pelos autores na implementação de suas metodologias.

Os estudos mais relevantes digitalizam todas as informações essenciais para o controlo de prazos e custos das empreitadas. O BIM permite uma visão abrangente dos custos associados ao ciclo de vida dos projetos de construção, desde a fase de conceção até à fase de manutenção, possibilitando uma monitorização automatizada e reduzindo a necessidade de intervenção humana.

Os estudos de caso analisados destacam-se por:

- Comparar a estimativa de custos entre métodos tradicionais e BIM, identificando desvios entre custos estimados e reais.
- Analisar a implementação do BIM, enfrentando desafios relacionados ao uso de software e normas.
- Avaliar o impacto das soluções BIM na diminuição de custos e otimização do planeamento construtivo.

Estes estudos serão analisados criticamente para avaliar as abordagens propostas e identificar os elementos fundamentais para a criação de um método que será abordada no capítulo seguinte.

Além da análise crítica dos casos de estudo, será feita uma análise minuciosa e comparativa dos softwares amplamente utilizados na gestão de projetos de construção, especificamente relacionados aos casos de estudo expostos no segundo capítulo. Cada um desses software oferece funcionalidades distintas para extração de quantidades, planeamento de custos e controle de projetos. Esta comparação

abrange as funcionalidades, planos de custos, vantagens e desvantagens de cada software, visando identificar a melhor solução para a extração de quantidades e controle de custos em obras.

Inicialmente, será apresentada uma visão geral dos principais softwares utilizados no mercado: Bixel Manager, Vico Office, Navisworks Manage, Synchro 4D e CostX. Cada um destes softwares será descrito em termos das suas funcionalidades principais, destacando as capacidades específicas que os tornam valiosos na gestão de projetos de construção.

Além das funcionalidades, será avaliada a facilidade de uso de cada software, um fator crucial para a adoção e eficiência operativa. A interoperabilidade, ou seja, a capacidade de cada software de integrar-se com outras ferramentas e plataformas, será também analisada, pois é essencial para garantir uma gestão de projeto sem descontinuidades.

Os planos de custos serão igualmente examinados para fornecer uma visão clara dos investimentos necessários para a implementação de cada solução. As vantagens e desvantagens de cada software serão apresentadas de forma detalhada, permitindo uma compreensão abrangente dos benefícios e limitações de cada ferramenta.

Posteriormente, será apresentada uma tabela comparativa detalhada, destacando as funcionalidades chave de cada software, tais como extração de quantidades, geração de relatórios financeiros, gestão de custos, otimização do cronograma, deteção de conflitos e simulação 4D. Será atribuída uma pontuação a cada funcionalidade, resultando numa nota final que reflete a adequação de cada software para a gestão de custos e prazos em projetos de construção.

Por fim, será concluído com a seleção do software que melhor atende às necessidades específicas de extração de quantidades e gestão de custos, fundamentando a escolha com base na análise realizada. Esta abordagem abrangente permite identificar a solução mais eficaz e eficiente para a gestão integrada de projetos de construção, garantindo maior precisão, controlo e sucesso na execução das obras.

3.1.1. CASO DE ESTUDO 1- IMPLEMENTAÇÃO DE BIM 4D NO PLANEAMENTO DO MAIS ALTO EDIFÍCIO MODULAR DO MUNDO.

Proposta/Objetivos

O objetivo principal do estudo de caso foi a implementação de simulações digitais 4D no planeamento da construção do mais alto edifício modular do mundo, localizado em College Road, Croydon, Londres. Este projeto, liderado pela empresa Tantek 4D, visou criar um modelo BIM 4D detalhado utilizando o software SYNCHRO, com o intuito de otimizar o cronograma de construção e resolver desafios complexos associados ao projeto. A proposta envolvia a visualização clara da sequência de construção dos 2.000 módulos a serem instalados, garantindo a robustez do cronograma e a integridade dos modelos 3D. Além disso, o uso do SYNCHRO visava permitir a interoperabilidade de modelos e fomentar a colaboração em tempo real entre a equipa, composta por 10 membros.[26]

Conclusões e Análise Crítica

A implementação do modelo BIM 4D proporcionou vários benefícios significativos ao projeto. Primeiramente, a simulação detalhada permitiu identificar e corrigir erros de sequenciamento, o que contribuiu para a otimização do cronograma e a mitigação de riscos. A visualização clara das tarefas complexas e a estratégia de elevação de guias, que seria difícil de desenvolver sem a tecnologia 4D,

foram cruciais para o sucesso do projeto, especialmente devido ao terreno complexo e à proximidade de outros edifícios.

A utilização do SYNCHRO 4D não só aumentou a produtividade da equipa, como também melhorou a consciencialização sobre segurança e reduziu o risco de atrasos. A capacidade de demonstrar visualmente o plano aos stakeholders, incluindo a Network Rail e a Transport for London, facilitou a compreensão e a tomada rápida de decisões. A satisfação dos clientes foi excedida em termos de rapidez de entrega, precisão das simulações 4D e qualidade das renderizações finais.[26]

Criticamente, este estudo de caso destaca a importância da tecnologia BIM 4D na gestão de grandes empreendimentos. A interoperabilidade do SYNCHRO com vários tipos de software e formatos de arquivo mostrou-se essencial para uma integração eficiente dos dados. A implementação das aplicações SYNCHRO como parte da oferta BIM 4D permitiu à Tanteq 4D duplicar a sua base de clientes no último ano, demonstrando um claro retorno sobre o investimento. No futuro, a empresa planeia integrar mais aplicações SYNCHRO para melhorar ainda mais o monitoramento do progresso e a otimização das tarefas, reafirmando o valor contínuo da tecnologia BIM 4D na construção modular de grande escala.

3.1.2. CASO DE ESTUDO 2- PLANEAMENTO BIM 4D NA CONSTRUÇÃO FERROVIÁRIA DE MELBOURNE.

Proposta/Objetivos

O principal objetivo do estudo de caso foi eliminar 85 passagens de nível ao longo de uma linha ferroviária no estado de Victoria, Austrália, para melhorar a segurança e eficiência do transporte na região. A South Eastern Program Alliance (SEPA), em conjunto com a Laing O'Rourke, Metro Trains Melbourne e Jacobs Groups Austrália, foi encarregada de um projeto de AUD 600 milhões para remover passagens de nível entre Union Road, em Surrey Hills, e Mont Albert Road, em Mont Albert, além de construir uma nova estação entre estas cidades. A proposta envolvia a utilização de uma abordagem de Design for Manufacture and Assembly (DfMA) e a criação de um modelo digital 4D usando o software SYNCHRO, visando reduzir o tempo de desenvolvimento, minimizar a interrupção do tráfego e garantir a execução eficiente e segura do projeto.[27]

Conclusões e Análise Crítica

A implementação do BIM 4D proporcionou uma série de benefícios significativos para o projeto. A utilização do SYNCHRO permitiu criar uma simulação digital detalhada do processo de construção, que foi crucial para a visualização do projeto e a antecipação de possíveis problemas. Esta abordagem resultou numa redução de 71,5% no tempo necessário para desenvolver planos de construção em comparação com diagramas 2D tradicionais. A visibilidade do projeto foi aumentada em 50%, e o risco de conflitos foi reduzido em 75%, destacando a eficácia da simulação 4D na identificação e mitigação de riscos.

A abordagem DfMA, combinada com a tecnologia 4D, também contribuiu para uma série de benefícios logísticos e ambientais. A fabricação de componentes fora do local e a sua posterior montagem no local de construção reduziram significativamente a interrupção da comunidade e melhoraram o controlo de qualidade. A simulação de 90% dos movimentos das gruas e a planificação detalhada das rotas logísticas ajudaram a evitar atrasos críticos e otimizaram a segurança dos trabalhadores.[27]

Além disso, a atualização dinâmica do modelo 4D durante a construção permitiu uma monitorização contínua do progresso, facilitando a identificação rápida de elementos fora do cronograma e a realocação de recursos conforme necessário. Este método de trabalho resultou numa conclusão eficiente do projeto

dentro do prazo estipulado de 93 dias, minimizando a interrupção do tráfego e garantindo a continuidade segura tanto para os trens quanto para os veículos rodoviários.

Criticamente, este estudo de caso demonstra como a combinação de tecnologias avançadas de BIM 4D e abordagens de fabricação inovadoras podem transformar a gestão de grandes projetos de infraestrutura. A integração eficiente dos dados e a colaboração em tempo real foram elementos-chave para o sucesso do projeto, evidenciando o valor contínuo da digitalização na construção moderna. A redução de 30% nas emissões de gases de efeito estufa e a diminuição do uso de combustível também ressaltam os benefícios ambientais significativos desta abordagem.

3.1.3. CASO DE ESTUDO 3: APLICAÇÃO DO PLANEAMENTO 4D NUMA RESIDÊNCIA UNIFAMILIAR.

Proposta/Objetivos

O artigo tem como objetivo principal discutir a associação do cronograma de obra com o modelo virtual 3D, utilizando a metodologia BIM. A pesquisa foca na análise dos benefícios e dificuldades envolvidas no processo de construção 4D, através de um estudo de caso de uma edificação unifamiliar de alto padrão localizada no município de Eusébio, Ceará. A proposta é construir virtualmente os projetos de arquitetura, estrutura, estaleiro de obras, instalações elétricas e hidros sanitárias utilizando o software Revit, além de elaborar o planeamento no Microsoft Project para vinculação das atividades do cronograma aos modelos pré-concebidos no programa Navisworks, gerando o planeamento 4D. [28]

Conclusões e Análise Crítica

O estudo conclui que a metodologia BIM, associada ao planeamento 4D, proporciona uma série de vantagens significativas para a administração de projetos de construção. Entre os principais benefícios destacam-se a clarividência trazida à equipa da obra, a possibilidade de rastreamento preciso das atividades e a atualização em tempo real do modelo virtual, do orçamento e do cronograma. Isso permite uma melhor integração da equipa e uma maior previsibilidade e controlo sobre os possíveis problemas, facilitando a tomada de decisões assertivas e mitigando impactos no custo, no prazo e na qualidade da obra.

Apesar dos claros benefícios, o artigo também identifica alguns desafios significativos na implementação do BIM e do planeamento 4D. A adoção dessas tecnologias exige um elevado investimento inicial em equipamentos e licenças de software, além de demandar a contratação de profissionais capacitados para garantir a viabilidade do processo. A metodologia BIM precisa ser incorporada desde a conceção dos projetos, o que demanda tempo e esforço para modelar todos os documentos e assegurar a compatibilidade do planeamento 4D com a execução real da obra.[28]

Portanto, apesar dos altos custos e da necessidade de formação especializada, a adoção do BIM e do planeamento 4D pode transformar positivamente o setor de construção, oferecendo um maior nível de controle e eficiência, desde que bem implementada e gerida adequadamente.

3.1.4. CASO DE ESTUDO 4: EMPREENDIMENTO COMERCIAL HILLWOOD- BIM PARA ESTIMATIVA DE CUSTOS.

Proposta/Objetivos

Neste estudo, o foco é a utilização do BIM para a estimativa de custos em um empreendimento comercial desenvolvido pela Hillwood. O objetivo era aumentar a precisão das estimativas de custos e melhorar o controlo financeiro do projeto.[5]

Conclusões e Análise Crítica

O uso do BIM para a estimativa de custos permitiu uma maior precisão nas previsões financeiras e uma melhor gestão dos recursos financeiros. A integração dos modelos BIM com bases de dados de custos facilitou a atualização contínua das estimativas, ajudando a manter o projeto dentro do orçamento previsto. Esta abordagem reduziu significativamente a probabilidade de custos imprevistos e melhorou a transparência financeira do projeto.[5]

3.1.5. CASO DE ESTUDO 5: CHASE CENTER.

Proposta/Objetivos

O artigo aborda o uso da modelagem de construção 4D pela Mortenson | Clark, uma joint venture, na construção do Chase Center, um complexo desportivo e de entretenimento avaliado em 1,4 bilhões de dólares, localizado em San Francisco, Califórnia. A proposta do artigo é detalhar como a utilização do software SYNCHRO facilitou a execução simultânea de todas as partes do projeto, levando a uma economia de tempo e recursos. A principal finalidade era concluir a construção antes do início da temporada 2019-2020 da NBA, enfrentando desafios significativos devido ao terreno, prazo agressivo e a complexidade do projeto, que incluía um estádio de 18.000 lugares, dois edifícios de escritórios de 11 andares, uma série de lojas, espaços públicos e um estacionamento subterrâneo.[29]

Conclusões e Análise Crítica

O uso da modelagem 4D com o software SYNCHRO permitiu à Mortenson | Clark concluir o Chase Center de forma eficiente e dentro do prazo, economizando 720 horas de recursos. A tecnologia facilitou a gestão detalhada do projeto, melhorando a comunicação e a coordenação entre a equipe de construção e a comunidade local.

A integração de realidade aumentada (XR) proporcionou uma visualização avançada e colaborativa do projeto. No entanto, a adoção dessas tecnologias requer investimento significativo em software e treinamento, o que pode ser um desafio para empresas menores. A precisão e atualização contínua dos dados são cruciais para o sucesso da modelagem 4D. [29]

Em resumo, a experiência da Mortenson | Clark com o Chase Center demonstra que a modelagem 4D pode melhorar a eficiência e a comunicação em grandes projetos de construção, desde que haja uma equipe bem treinada e um planeamento rigoroso.

3.1.6. CASO DE ESTUDO 6: ESTÁDIO DO CSKA MOSCOVO.

Proposta/Objetivos

Este caso de estudo foca na construção de um novo estádio para o CSKA Moscovo na Rússia, utilizando a metodologia BIM desde o início até a conclusão do projeto. O objetivo foi implementar o software BEXEL Manager para manter o modelo BIM atualizado e gerir eficientemente o planeamento e os custos de construção. [30]

Conclusões e Análise Crítica

O uso do BIM permitiu a detecção e resolução eficiente de mais de 3.200 conflitos espaciais, resultando em economias de tempo e custos. A extração de desenhos precisos e a realização de levantamentos de quantidade durante a fase de licitação contribuíram para uma economia significativa para o empreiteiro, representando 3,17% do valor total do contrato. As simulações 4D/5D foram fundamentais para o planejamento da construção, proporcionando uma compreensão clara do progresso e dos custos. Atualizações regulares das simulações garantiram a inclusão de todas as atividades necessárias e refletiram as mudanças no mercado e no progresso real da construção, demonstrando a eficácia da metodologia BIM para grandes projetos de construção.[30]

3.1.7. CASO DE ESTUDO 7: BIM 4D E 5D EM UM PROJETO DE ESTÂNCIA NO CARIBE.

Proposta/Objetivos

O caso de estudo aborda a expansão de um resort na Jamaica pela Karisma Hotels & Resorts. O objetivo foi utilizar a metodologia BIM para gerir os desafios complexos da construção de seis novos edifícios e várias instalações complementares. [31]

Conclusões e Análise Crítica

A aplicação do BIM 4D e 5D permitiu uma gestão detalhada do tempo e dos custos do projeto, desde a fase de planejamento até à construção. A capacidade de integrar e visualizar as diferentes fases do projeto ajudou na identificação precoce de problemas e na otimização dos recursos. As reuniões regulares e a colaboração entre as partes interessadas foram fundamentais para manter o projeto dentro do prazo e do orçamento. Este caso de estudo destaca como o BIM pode ser implementado eficazmente em projetos complexos, melhorando a eficiência e reduzindo riscos.[31]

3.1.8. CASO DE ESTUDO 8: UTILIZAÇÃO DE UM MODELO BIM 4D NA DOCUMENTAÇÃO DE PROJETOS DE CONSTRUÇÃO NO IRAQUE.

Proposta/Objetivos

Este caso de estudo descreve a implementação do modelo BIM 4D para a documentação de um projeto de construção de grande escala no Iraque. O objetivo foi utilizar o modelo BIM 4D para melhorar a precisão e a eficiência da documentação e gestão do projeto, enfrentando os desafios de construção em um ambiente complexo.[32]

Conclusões e Análise Crítica

A metodologia envolveu a utilização do Navisworks para criar links externos que facilitam o acesso a documentos relevantes do projeto diretamente a partir do modelo 4D. Isso permitiu uma documentação mais precisa e uma gestão mais eficiente das informações do projeto. A comparação entre as quantidades documentadas pelo modelo BIM e os métodos tradicionais mostrou que o BIM forneceu dados mais precisos e confiáveis. A implementação do BIM 4D melhorou significativamente a comunicação entre as equipas e a coordenação das atividades, resultando em uma melhor gestão do cronograma e redução

de erros. Este caso destaca a importância do BIM para projetos de construção complexos, especialmente em ambientes desafiadores.[32]

3.1.9. CASO DE ESTUDO 10- APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NA CONSTRUÇÃO DE UM PARQUE INFANTIL.

Proposta/Objetivos

O artigo tem como principal objetivo aplicar a metodologia BIM 5D na construção de um parque infantil no Corozal Precinct. A proposta visa demonstrar como esta metodologia pode otimizar o planeamento e controlo das obras, integrando diferentes dimensões de informação (modelo 3D, cronograma e custos) para uma gestão mais eficaz e precisa do projeto. Para atingir este objetivo, o projeto utilizou softwares como Revit para a modelagem 3D e Navisworks para a integração do modelo com o cronograma de atividades (Diagrama de Gantt), resultando num modelo 5D que facilita a simulação do progresso da obra em termos de tempo e custo.[34]

Conclusões e Análise Crítica

A aplicação da metodologia BIM 5D na construção do parque infantil permitiu alcançar os objetivos propostos. Foi possível quantificar as quantidades de trabalho, realizar a análise de preços unitários para a elaboração do orçamento do projeto e desenvolver um cronograma detalhado no MS Project, com a atribuição dos custos e recursos para cada atividade do orçamento. A metodologia BIM 5D mostrou-se eficaz no planeamento e controlo das obras, visto que o modelo BIM integra todas as informações do projeto, permitindo uma estimativa mais precisa do tempo e dos custos envolvidos.

A implementação desta metodologia revelou várias vantagens significativas. A otimização do tempo e dos recursos, proporcionada pela capacidade de integrar e visualizar informações detalhadas, contribuiu para uma gestão mais organizada e precisa do projeto. A simulação do progresso da obra permitiu ajustes no planeamento, evitando erros futuros e melhorando a eficiência global da gestão. No entanto, há desafios a considerar, como a dependência de softwares específicos e a necessidade de formação adequada para a equipa envolvida. Esses aspetos destacam a importância de investir em tecnologia e capacitação para maximizar os benefícios do BIM 5D na indústria da construção. [34]

3.1.10. CASO DE ESTUDO 11- APLICAÇÃO DE BIM NO PLANEAMENTO DE UMA OBRA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: CASO DE ESTUDO.

Proposta/Objetivos

O artigo propõe-se a explorar a aplicação do BIM no contexto do planeamento de habitações. Através de um estudo de caso, busca-se não apenas demonstrar a viabilidade do uso do BIM nesse contexto, mas também destacar seus benefícios e fornecer uma compreensão detalhada da metodologia empregada.

Os objetivos delineados pelos autores envolvem a demonstração da eficácia do BIM na construção civil brasileira, particularmente em projetos destinados às famílias de baixa renda. Pretende-se apresentar uma descrição minuciosa da metodologia utilizada, desde a análise dos projetos existentes até a simulação do tempo no planeamento da obra. Além disso, o artigo visa destacar os benefícios do BIM, como a interoperabilidade entre os softwares utilizados, a facilidade na extração de quantitativos e a capacidade de prever interferências desde a fase de projeto. Por fim, procura-se contribuir para a disseminação e compreensão do BIM como uma ferramenta essencial para a melhoria da qualidade dos projetos na construção civil brasileira.[35]

Conclusões e Análise Crítica

O estudo defende as vantagens do BIM face aos métodos tradicionais, destacando melhorias em fluidez, agilidade e confiabilidade, tornando-se quase indispensável para arquitetura, engenharia e construção civil. Concluiu-se que o modelo federado foi compatibilizado via arquivos IFC, houve alto nível de interoperabilidade entre ferramentas e o planeamento durou 4 meses e 13 dias.

O principal desafio foi o tempo de adaptação ao BIM, embora o aumento de softwares tenha causado conflitos na linearidade das informações, que se dissipam com o conhecimento. Os obstáculos não inviabilizam a metodologia; pelo contrário, BIM melhora a qualidade dos projetos e viabiliza a sua adoção em obras de pequeno porte. Futuramente, sugere-se o uso de outras ferramentas BIM e estudo de diretrizes para modelagem e planeamento de obras.[35]

A análise crítica mostra que, apesar do estudo ser promissor, faltaram dados quantitativos adicionais e uma análise mais profunda dos desafios práticos na implementação. No entanto, confirma a importância do BIM para a qualidade dos projetos de construção, especialmente em habitações de interesse social.

3.1.11. CASO DE ESTUDO 12- ESTIMATIVA DE CUSTOS NA CONSTRUÇÃO DE UM HOSPITAL ATRAVÉS DO SOFTWARE VICO OFFICE.

Proposta/Objetivos

O estudo de caso propõe demonstrar a aplicação do software Vico Office num projeto hospitalar, destacando suas funcionalidades para estimativa de custos e planeamento de cronogramas. O objetivo principal é integrar modelos BIM de diferentes fontes, enriquecendo-os com informações de custos e cronogramas, para facilitar a colaboração entre disciplinas. Além disso, procura-se automatizar processos como a geração de quantidades de take-offs com um clique e a criação de sequências de cronogramas. A comparação de diferentes versões do projeto é utilizada para ajudar na tomada de decisões, enquanto relatórios personalizados são desenvolvidos para incluir quantidades específicas de materiais e análises comparativas. A integração da plataforma de estimativa visa padronizar as estimativas conforme normas da indústria e facilitar a colaboração entre estimadores. O estudo também tem um componente educacional, ensinando as funcionalidades básicas do Vico Office e sua interação com outros softwares de design.[36]

Conclusões e Análise Crítica

A utilização do Vico Office no projeto hospitalar trouxe benefícios significativos, como maior precisão nas estimativas de custos e eficiência operacional. A comparação de diferentes versões do projeto facilitou a tomada de decisões informadas, enquanto a automatização de processos permitiu focar em tarefas de maior valor. A integração de diferentes plataformas de projeto e a padronização das estimativas melhoraram a colaboração entre a equipa, e a flexibilidade dos relatórios proporcionou um controlo rigoroso sobre os detalhes do projeto. No entanto, há áreas a melhorar, como a curva de aprendizagem do novo sistema, a necessidade de melhor integração com outros softwares e os custos iniciais de implementação e manutenção. A dependência de tecnologia avançada pode ser uma desvantagem em ambientes com infraestrutura limitada, exigindo formação contínua e acesso adequado para todos os membros da equipa. Em resumo, o Vico Office demonstrou ser uma ferramenta poderosa para aumentar a precisão e eficiência na construção, mas requer investimento significativo em formação e integração contínua para atingir seu pleno potencial.[36]

3.1.12. CASO DE ESTUDO 13- INCORPORAÇÃO DO CÁLCULO DO CICLO DE VIDA (LCC) NO BIM 5D.

Proposta/Objetivos

O artigo "Embedding Life Cycle Costing in 5D BIM" investiga a utilização do software BIM por Quantity Surveyors (Qs) para realizar o Life Cycle Costing (LCC). O objetivo é integrar cálculos de LCC numa plataforma BIM, melhorando a eficiência e o fluxo de trabalho dos Qs ao permitir uma análise conjunta de CAPex e LCC.[37]

Conclusões e Análise Crítica

O estudo conclui que a integração de LCC numa plataforma 5D BIM automatiza cálculos complexos e padroniza relatórios, facilitando o trabalho dos Qs. Os participantes relataram que a familiaridade com folhas de cálculo eletrónicas acelera a curva de aprendizagem e aumenta a confiança no processo. No entanto, desafios persistem, como a falta de dados históricos e a necessidade de adaptação tecnológica. A falta de demanda por parte dos clientes também é um obstáculo significativo.

A pesquisa sugere que, embora a metodologia proposta traga benefícios significativos em termos de eficiência e transparência, a sua implementação em larga escala requer colaboração entre Qs, desenvolvedores de software e clientes. Demonstrar o valor do LCC pode incentivar os clientes a solicitar este serviço em futuros projetos.[37]

3.1.13. CASO DE ESTUDO 14- AUTOMATISMOS E ESTIMATIVA ORÇAMENTAL EM BIM.

Proposta/Objetivos

O artigo aborda a implementação de automatismos para a estimativa orçamental em BIM dentro do atelier Nuno Leónidas Arquitetos (NLA). A proposta principal é criar procedimentos e ferramentas que substituam processos repetitivos e manuais, visando aumentar a eficiência e reduzir erros humanos. O foco está na integração de add-ins no software Revit, que automatizam a exportação de dados para um documento Excel formatado, economizando tempo significativo no processamento de dados e atualização de mapas de quantidades.[38]

Conclusões e Análise Crítica

A implementação dos automatismos no NLA resultou em melhorias notáveis na eficiência do processo de estimativa orçamental. Os add-ins desenvolvidos permitiram superar limitações do software Revit, como a incapacidade de medir certos elementos e a dificuldade de gerar tabelas multi-categoria. Esses automatismos simplificaram a gestão das quantidades, descrições, trabalhos e preços diretamente no modelo de Revit, eliminando a necessidade de softwares de medição externos e consolidando toda a informação num único sistema. A integração direta com o Excel facilitou a partilha e revisão dos documentos com clientes e construtores.[38]

Do ponto de vista crítico, embora o desenvolvimento dessas ferramentas tenha exigido um investimento temporal considerável, o retorno em termos de eficiência operacional justifica plenamente o esforço. A centralização da informação num único software não só reduziu o tempo necessário para as tarefas como também melhorou a consistência dos dados, minimizando erros e omissões. Contudo, o sucesso do sistema depende do conhecimento consolidado dos colaboradores em BIM e dos sistemas construtivos,

pois a qualidade da modelação e a correta especificação dos elementos são cruciais para o funcionamento dos automatismos.

3.1.14. CASO DE ESTUDO 15-UTILIZAÇÃO DO BIM NA OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO E CONTROLO DAS CONSTRUÇÕES.

Proposta/Objetivos

O estudo “Utilização do BIM na Otimização do Planeamento e Controlo das Construções” foca-se na importância crescente da integração de tecnologias digitais na indústria da construção, com destaque para o BIM como uma solução inovadora. A proposta deste estudo é explorar como a modelação e a interação entre diversas especialidades podem influenciar positivamente a gestão de projetos, especialmente na gestão de colisões e na automatização do processo de planeamento. Os autores objetivam analisar a integração do BIM para melhorar a coordenação do projeto e reduzir erros, desenvolver procedimentos automatizados para o planeamento utilizando ferramentas como MS Project e Autodesk Navisworks, e aplicar estas metodologias a um caso prático – um edifício multifamiliar em Cascais – para demonstrar a eficácia do BIM em contextos reais de construção.[39]

Conclusões e Análise Crítica

A conclusão do estudo reforça que o BIM otimiza significativamente o planeamento e o controlo das construções, proporcionando maior facilidade, rapidez e confiabilidade nos processos. Este método contribui diretamente para a avaliação da viabilidade das obras e para a determinação precisa de custos e prazos, o que é crucial para o sucesso das empresas no setor. O estudo evidencia que o BIM reduz erros e omissões, graças à modelação tridimensional e às análises 4D e 5D, que antecipam conflitos e evitam erros, resultando numa execução mais eficiente dos projetos. A automatização do processo de planeamento, facilitada pela programação em Dynamo, mostrou-se eficaz, melhorando a gestão e o monitoramento de custos e prazos.

Contudo, o estudo também identifica limitações, principalmente relacionadas à necessidade de adaptação aos softwares existentes, que muitas vezes não estão totalmente alinhados com as normativas locais. Além disso, a utilização eficiente do BIM requer um alto nível de conhecimento técnico e prática nos softwares envolvidos. Em resumo, apesar dos desafios, o estudo conclui que o BIM é um recurso extremamente valioso para melhorar a produtividade e a eficiência no setor da construção, desde que sejam feitas as adaptações e formações necessárias.[39]

3.1.15. CASO DE ESTUDO 16-BIM NA GESTÃO DA OBRA: DIGITALIZAÇÃO 3D COMO FERRAMENTA INTEGRADA PARA O CONTROLO DO PLANEAMENTO E ORÇAMENTAÇÃO DA OBRA.

Proposta/Objetivos

O estudo “BIM na gestão da obra: digitalização 3D como ferramenta integrada para o controlo do planeamento e orçamentação da obra” visa explorar a aplicação do Laser Scanning (LS) como uma tecnologia que pode otimizar significativamente o planeamento e a orçamentação das construções. A proposta deste trabalho é analisar como a digitalização 3D pode minimizar as discrepâncias entre o projeto inicial e a execução real da obra. O caso de estudo escolhido foi o Pavilhão Continente Bom Dia em São João da Madeira, onde se realizou uma análise detalhada 4D e 5D do pavilhão, seguida de levantamentos periódicos utilizando LS para monitorar o progresso da obra e identificar possíveis

desvios em relação ao plano original. Através desta abordagem, o objetivo é demonstrar que o uso de LS permite um controlo mais rigoroso e eficaz da obra, detetando atrasos e ajustando os cronogramas e orçamentos em tempo real. [40]

Conclusões e Análise Crítica

A conclusão do estudo destaca que a utilização do LS na gestão de obras oferece uma melhoria significativa no controlo do planeamento e da orçamentação. A digitalização 3D permite obter modelos precisos da situação atual da obra, facilitando a comparação com os planos originais e a identificação de quaisquer discrepâncias. Isso resulta em uma gestão mais eficiente e em uma maior capacidade de resposta a imprevistos. No entanto, o estudo também aponta algumas limitações, como a necessidade de processamento intensivo dos dados obtidos e as dificuldades na deteção de formas complexas e objetos de grandes dimensões sem o uso de sensores adicionais. Apesar desses desafios, a pesquisa conclui que a integração do LS no processo BIM representa uma evolução significativa na gestão da construção, promovendo maior precisão e eficiência na execução dos projetos.[40]

3.1.16. CASO DE ESTUDO 17-ANÁLISE DO QUANTITATIVO EXTRAÍDO VIA MÉTODO CONVENCIONAL E TECNOLOGIA BIM PARA OS REVESTIMENTOS.

Proposta/Objetivos

Este estudo visa comparar os impactos nos custos e na precisão dos quantitativos de obras entre o método convencional (usando AutoCAD) e a tecnologia BIM (usando Revit) para revestimentos de um edifício residencial pequeno. O objetivo é analisar as diferenças em termos de precisão e custo, destacando as vantagens e desvantagens de cada método. O estudo pretende demonstrar como a tecnologia BIM pode oferecer maior precisão e rapidez na estimativa de custos, promovendo práticas mais eficientes e precisas na construção civil.[41]

Conclusões e Análise Crítica

O estudo concluiu que o Revit (BIM) resultou em reduções significativas nos quantitativos dos revestimentos externos, com até 50,28% de diferença em comparação ao AutoCAD, enquanto os revestimentos cerâmicos internos mostraram um aumento de 31,59%. Essas variações afetaram diretamente os custos, gerando uma economia total de cerca de 17%. A tecnologia BIM mostrou-se mais precisa e eficiente, reduzindo erros através da visualização tridimensional e da atualização automática dos dados.

A análise crítica aponta que, embora o BIM traga benefícios significativos, é necessário cuidado na extração de quantitativos de subgrupos sensíveis, como o porcelanato. A adoção do BIM também exige formação adequada dos profissionais. Recomenda-se treinamento específico e uma revisão contínua dos processos para maximizar os benefícios e minimizar erros. Em resumo, o BIM oferece vantagens claras, mas requer cuidados e soluções práticas para ser plenamente eficaz na construção civil.[41]

3.1.17. CASO DE ESTUDO 18-O USO DA TECNOLOGIA BIM NA QUANTIFICAÇÃO E NO PLANEAMENTO: ESTUDO DE CASO DE RESIDÊNCIA RN - BRASIL.

Proposta/Objetivos

O artigo tem como objetivo analisar a utilização do BIM na quantificação e planeamento de uma obra residencial em Parnamirim, Rio Grande do Norte, Brasil. A proposta é verificar como o BIM pode melhorar a precisão e eficiência nos processos de construção. A metodologia inclui uma revisão teórica sobre BIM, quantificação e planeamento, seguida de um treinamento nos softwares Revit e Navisworks para comparar métodos tradicionais com o BIM. Por fim, aplica-se o BIM em um estudo de caso real, avaliando a eficácia na quantificação de materiais e no planeamento das etapas da obra, identificando benefícios e desafios.[42]

Conclusões e Análise Crítica

O estudo concluiu que o uso de softwares BIM, como Revit e Navisworks, facilita e torna mais confiáveis os processos de construção, ajudando na determinação de custos e prazos, e contribuindo para a redução de erros e gastos. A integração da modelagem 3D com cronogramas (BIM 4D) e a extração automática de quantitativos foram especialmente benéficas. No entanto, a adaptação aos critérios locais de construção é necessária, e a precisão dos resultados depende do nível de detalhe da modelagem 3D. A interoperabilidade entre diferentes softwares também representa um desafio. Embora o artigo ofereça uma valiosa contribuição acadêmica, estudos futuros poderiam colaborar mais estreitamente com empresas da construção para validar os achados em contextos de mercado mais amplos.[42]

3.1.18. CASO DE ESTUDO 19- APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS BIM NA MELHORIA DA COLABORAÇÃO EM PROJETOS DE CONSTRUÇÃO.

Proposta/Objetivos

O artigo tem como objetivo principal investigar como a metodologia BIM pode ser empregada para melhorar a colaboração em projetos de construção. Especificamente, busca-se explorar como o BIM pode integrar diferentes disciplinas, como arquitetura, engenharia estrutural e sistemas MEP (mecânicos, elétricos e hidráulicos), e avaliar os benefícios associados, como detecção de conflitos, visualização em 3D, simulação em 4D e extração de quantidades de materiais. Por meio de um estudo de caso, o artigo demonstra a aplicação prática do BIM em um projeto real, destacando os programas utilizados (Revit e Navisworks) e os processos de modelação, planeamento e coordenação. Além disso, visa avaliar como o BIM pode contribuir para uma estimativa mais precisa de custos e uma coordenação mais eficiente das atividades de construção.[43]

Conclusões e Análise Crítica

O artigo conclui que a adoção da metodologia BIM traz benefícios substanciais para a indústria da construção, especialmente em projetos colaborativos. Destaca-se a capacidade do BIM de criar modelos detalhados e precisos, reduzindo erros e retrabalhos, e facilitando a detecção de conflitos entre disciplinas, resultando em economia de tempo e recursos. A visualização realista em 3D e a simulação em 4D melhoram o entendimento do projeto e o planeamento das atividades de construção. Além disso, a extração precisa de quantidades de materiais proporciona uma estimativa mais precisa de custos, auxiliando na gestão financeira do projeto.

Embora o estudo de caso fornecido apresente resultados positivos, é importante reconhecer que a implementação do BIM não está isenta de desafios. O investimento inicial em tecnologia e formação pode ser significativo, e a transição para o BIM pode exigir uma curva de aprendizagem para os

profissionais envolvidos. Além disso, a integração bem-sucedida do BIM ao longo de todo o ciclo de vida do projeto requer uma coordenação eficaz entre todas as partes interessadas, o que nem sempre é fácil de alcançar. A interoperabilidade entre diferentes plataformas de software também pode ser uma preocupação, exigindo padrões claros e protocolos de comunicação bem definidos.

Apesar desses desafios, o potencial do BIM para melhorar a eficiência e a colaboração na indústria da construção é inegável. À medida que mais empresas e profissionais adotam o BIM, é importante continuar a investir em formação e desenvolvimento de habilidades para garantir uma transição suave e maximizar os benefícios dessa metodologia. Em última análise, o sucesso da implementação do BIM dependerá da capacidade das organizações de superar esses desafios e aproveitar ao máximo o potencial dessa tecnologia inovadora. [43]

3.1.19. CASO DE ESTUDO 20-APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM 5D NO CONTROLO FINANCEIRO DE UM HOTEL.

Proposta/Objetivos

A dissertação explora o uso do BIM para o controlo financeiro em projetos de construção civil, com um estudo de caso específico. O principal objetivo é desenvolver modelos utilizando ferramentas BIM para elaborar análises financeiras mensais, avaliar volumes e atividades, e desenvolver um modelo com cinco dimensões que identifique as partes concluídas e não concluídas de uma obra em andamento. Além disso, visa implementar metodologias BIM que padronizem tarefas, reduzindo o tempo requerido para medições e obtendo resultados mais precisos e confiáveis. A exploração do software Bixel Manager é outro objetivo, utilizando suas funcionalidades para previsões de custos mais exatas, diagnóstico de conflitos e redução das discrepâncias nos custos planeados e os custos reais. Esses objetivos pretendem melhorar a precisão e a eficiência no controle financeiro das obras, aproveitando a digitalização e a gestão integrada de dados oferecidas pela metodologia BIM, permitindo uma visão holística e em tempo real do progresso do projeto e controle financeiro.[44]

Conclusões e Análise Crítica

Na conclusão, o autor ressalta diversas vantagens da implementação do BIM no processo de gestão de custos em projetos de construção. O BIM proporciona ganhos significativos no que concerne à eficácia e à exatidão, permitindo a visualização detalhada e específica do projeto a qualquer momento, graças à informatização dos modelos que são constantemente atualizados com as informações mais recentes. Além disso, ao consolidar todas as informações num único modelo BIM, há uma visualização global e uma sincronização contínua com os cronogramas da obra, facilitando a comparação entre o planeado e o real, bem como entre os custos orçamentados e as despesas atuais. A capacidade do BIM de gerar análises visuais do progresso atual da obra e de automatizar a apresentação de informações financeiras oferece vantagens significativas na comunicação e tomada de decisões, beneficiando todos os stakeholders envolvidos.

A dissertação demonstra o potencial significativo do BIM na gestão financeira de empreitadas, destacando suas vantagens em termos de precisão, eficiência e capacidade de integração de dados. No entanto, o autor também menciona desafios e limitações na aplicação prática do BIM. Estes incluem a necessidade de formação adequada para os profissionais envolvidos e a adaptação dos processos tradicionais de construção às novas metodologias digitais. Além disso, a implementação bem-sucedida do BIM requer investimento inicial em software e treinamento, o que pode ser uma barreira para algumas empresas. Em suma, o estudo valida o BIM como uma ferramenta poderosa para o controle financeiro

de projetos de construção, mas enfatiza que a plena realização de seus benefícios depende da superação de desafios técnicos e organizacionais.[44]

3.2. COMPARAÇÃO DE SOFTWARE

3.2.1. BEXEL MANAGER

O Bexel Manager é uma ferramenta de software desenvolvida para a gestão de projetos de construção. Este é especialmente projetado para lidar com a complexidade de projetos de engenharia civil e arquitetura, oferecendo recursos avançados para planejamento, coordenação, controle e análise de dados. O Bexel Manager é amplamente utilizado em projetos de grande escala devido à sua capacidade de integrar diferentes aspectos da gestão de projetos em uma única plataforma, permitindo uma visão holística e detalhada do progresso e das necessidades do projeto.[45]

3.2.1.1. FUNCIONALIDADES

- **Modelação 5D BIM:** Integração de modelos 3D com cronogramas e orçamentos, permitindo uma visualização abrangente do projeto. Essa funcionalidade facilita a gestão e a coordenação de várias disciplinas, proporcionando uma visão holística do projeto.
- **Coordenação e Detecção de Conflitos:** Facilita a identificação e resolução de conflitos entre diferentes disciplinas de engenharia, garantindo que todos os elementos do projeto estejam em conformidade antes do início da construção.
- **Gestão de Custos e Planejamento de Recursos:** Automatiza a alocação de recursos e o planejamento financeiro, integrando dados de custos em tempo real e permitindo um controle mais preciso do orçamento.
- **Relatórios Personalizados:** Geração de relatórios detalhados para monitorização de progresso e desempenho do projeto, permitindo ajustes rápidos e informados conforme necessário.
- **Interoperabilidade:** Suporta diversos formatos de arquivo padrão da indústria, como IFC, DWG e RVT, facilitando a integração com outras ferramentas BIM.

3.2.1.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTO

O Bexel Manager possui uma interface intuitiva que facilita o uso mesmo para profissionais menos experientes em BIM. No entanto, a curva de aprendizagem pode ser íngreme para usuários sem conhecimento prévio em modelação BIM, devido à complexidade e abrangência das suas funcionalidades.

Este software oferece boa interoperabilidade com outras ferramentas BIM, facilitando a importação e exportação de modelos em diversos formatos padrão da indústria. Isso facilita a colaboração entre diferentes equipas e disciplinas, otimizando o processo de gestão de projetos.[45]

Os planos de custos variam conforme as necessidades do projeto e o número de usuários. Os preços podem começar em torno de €2400 por licença anual para pequenas empresas e projetos menores. Esse custo pode aumentar significativamente para projetos maiores ou para empresas que necessitam de múltiplas licenças. Por exemplo, para 10 ou mais usuários, o custo é €1650 por usuário/ano, enquanto para 25 ou mais usuários, o preço cai para €1190 por usuário/ano. O preço continua a diminuir

proporcionalmente com o aumento do número de usuários, chegando a €520 por usuário/ano para 250 ou mais usuários. [46]

A seguinte tabela apresenta o plano de custos para o Bexel Manager, detalhando os gastos relacionados às necessidades do projeto e número de usuários:

Tabela 4- Planos de custo do Bexel Manager

Categoria	Preço (€/ano)
Para Gestores de Projeto	2400 €
10+ Usuários	1650 €
25+ Usuários	1190 €
50+ Usuários	940 €
100+ Usuários	760 €
250+ Usuários	520 €

3.2.1.3. VANTAGENS

- Integração abrangente de funções BIM.
- Excelente ferramenta de deteção de conflitos.
- Relatórios detalhados e personalizáveis.
- Boa interoperabilidade com outros softwares.

3.2.1.4. DESVANTAGENS

- Curva de aprendizagem relativamente íngreme.
- Pode ser caro para pequenas empresas com recursos limitados.
- Necessita de hardware robusto para funcionar de forma eficiente.

3.2.2. VICO OFFICE

O Vico Office representa uma ferramenta desenvolvida pela Trimble para facilitar a administração de projetos de construção. Destina-se a integrar várias disciplinas e processos numa única plataforma, simplificando a coordenação, planeamento, orçamentação e análise de riscos em projetos de construção. Equipado com ferramentas avançadas de Modelação de Informação da Construção (BIM), o Vico Office colabora com as equipas de projeto para melhorar a eficácia e a exatidão em todos os momentos da vida útil do projeto.[47]

3.2.2.1. FUNCIONALIDADES

- 2D + 3D Quantidade de Extração: Combina quantidades de desenhos 2D e modelos 3D, proporcionando uma visão completa dos materiais de construção. Esta funcionalidade permite uma precisão maior na estimativa de materiais e na gestão de inventários.

- 4D Planeamento e Gestão de Recursos: Vincula o modelo 3D ao cronograma para uma simulação 4D, permitindo a gestão eficiente de recursos e a visualização do progresso do projeto ao longo do tempo.
- 5D Gestão Financeira: Integra quantidades do modelo 3D com preços de materiais e salários, oferecendo cálculos automáticos e seguros de custos, o que facilita a elaboração de orçamentos precisos.
- Análise de Riscos com BIM/VDC: Integração do BIM na gestão de riscos para prever problemas e controlar custos de maneira eficaz.
- Relatórios de Progresso: Geração de relatórios detalhados de progresso, permitindo uma análise contínua e ajustes rápidos conforme necessário.

3.2.2.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTO

O Vico Office é conhecido por sua interface consistente e visualmente intuitiva, que permite uma rápida adaptação dos usuários. O software retém o conhecimento do usuário mesmo após períodos de não uso, o que é uma vantagem significativa em projetos de longa duração.

Este software suporta uma ampla gama de formatos de arquivos BIM, garantindo flexibilidade máxima e integração com diversas ferramentas de autoria. Isso facilita a colaboração e a troca de informações entre diferentes equipes e disciplinas.

Os custos do Vico Office dependem dos módulos adquiridos, com preços variando conforme a complexidade do projeto e o número de usuários. Licenças anuais começam em torno de €2.500, podendo aumentar significativamente para projetos maiores ou empresas que necessitam de funcionalidades adicionais.[48]

3.2.2.3. VANTAGENS

- Integração eficiente de planeamento e controle de custos.
- Ferramentas poderosas de gestão de recursos e riscos.
- Interface amigável e consistente.
- Suporte a múltiplos formatos de arquivos BIM.

3.2.2.4. DESVANTAGENS

- Pode ser caro, especialmente para pequenas empresas.
- Requer formação inicial para utilização eficaz de todos os módulos.
- A complexidade do software pode ser um desafio para novos usuários.

3.2.3. NAVISWORKS

O Navisworks é um software desenvolvido pela Autodesk para facilitar a coordenação, simulação e análise de projetos de construção. Ele existe para permitir que equipes de projeto visualizem e analisem modelos 3D de edifícios e infraestruturas, identificando conflitos e problemas de forma antecipada. O

Navisworks integra dados de várias fontes e disciplinas, proporcionando uma visão abrangente do projeto e facilitando a colaboração entre diferentes partes interessadas. Em resumo, o Navisworks visa melhorar a eficiência e a precisão na gestão de projetos de construção, ajudando a reduzir custos e evitar atrasos.[49]

3.2.3.1. FUNCIONALIDADES

- **Revisão e Coordenação de Modelos:** Permite a visualização e revisão de modelos 3D, facilitando a deteção de conflitos e a coordenação entre diferentes disciplinas. Isso garante que todos os elementos do projeto estejam alinhados antes da construção.
- **Simulação 4D:** Integra cronogramas com modelos 3D para criar simulações temporais do projeto, permitindo a visualização do progresso ao longo do tempo e ajudando na identificação de possíveis atrasos e conflitos.
- **Gestão de Quantidades:** Extração de quantidades detalhadas a partir de modelos BIM, facilitando o planeamento de materiais e custos. Essa funcionalidade é crucial para a elaboração de orçamentos precisos e a gestão eficiente de recursos.
- **Integração com Autodesk:** Integra-se perfeitamente com outras ferramentas da Autodesk, como Revit e AutoCAD, proporcionando um fluxo de trabalho contínuo e eficiente para os usuários que já utilizam o ecossistema Autodesk.

3.2.3.2. Facilidade de Uso, Interoperabilidade e planos de custos

Navisworks possui uma interface robusta, mas a complexidade das suas funcionalidades pode exigir uma curva de aprendizagem significativa para novos usuários. No entanto, a familiaridade com outros produtos Autodesk pode facilitar a adaptação ao Navisworks.

Possui excelente interoperabilidade com outros produtos Autodesk sendo compatível com uma vasta gama de tipos de arquivos, tornando-se uma ferramenta versátil para integração BIM. Isso permite a colaboração eficiente entre diferentes equipes e disciplinas.

Os custos do Navisworks variam conforme o tipo de licença (anual, trienal, etc.) e as funcionalidades necessárias, com preços começando em torno de €2.800 por licença anual. Esse custo pode aumentar ou diminuir consoante o tipo de licença pretendido.[50]

A tabela 5 apresenta os preços de acordo com o tempo de licença necessário:

Tabela 5- Plano de custos Naviswork

Termo	Preço (USD)
3 anos	\$8,225 (anual)
1 ano	\$2,740 (mais popular)
1 mês	\$340

3.2.3.3. VANTAGENS

- Ferramentas poderosas de revisão e coordenação de modelos.

- Integração robusta com o ecossistema Autodesk.
- Excelente suporte para simulação 4D e extração de quantidades.
- Boa interoperabilidade com uma ampla variedade de formatos de arquivos.

3.2.3.4. DESVANTAGENS

- Curva de aprendizagem pode ser íngreme para novos usuários.
- Alto custo para pequenas empresas e projetos menores.
- Pode exigir hardware de alto desempenho para funcionamento eficiente.

3.2.4. SYNCHRO 4D

O Synchro 4D é uma solução avançada de software para a gestão de construção, desenvolvida pela Bentley Systems. Fundada em 1984, a Bentley Systems é uma empresa americana líder em soluções de software para infraestruturas. O Synchro 4D foi criado para atender às necessidades do setor da construção, facilitando uma administração eficaz e integrada dos projetos através da combinação de modelos 3D com a dimensão temporal, criando assim modelos 4D que incluem cronogramas de construção.[51]

3.2.4.1. FUNCIONALIDADES DO SYNCHRO 4D

O Synchro 4D disponibiliza uma vasta gama de funcionalidades que visam melhorar a eficiência, precisão e colaboração em projetos de construção. As suas principais funcionalidades incluem:

- **Modelação e Planeamento 4D:** O Synchro 4D permite a criação de modelos de construção que integram dados tridimensionais (3D) com cronogramas detalhados (4D), proporcionando uma visão clara das diferentes etapas do projeto ao longo do tempo. Esta funcionalidade é essencial para planejar, simular e otimizar a execução de projetos complexos.
- **Extração de Quantidades (QTO):** O Synchro 4D utiliza modelos baseados em BIM (Building Information Modeling) para realizar extrações de quantidades de forma precisa. Esta funcionalidade ajuda a calcular e estimar custos de forma eficiente, reduzindo erros e aumentando a precisão das previsões orçamentais.
- **Gestão de Custos e Orçamentos:** Inclui ferramentas robustas para monitorizar e controlar os custos do projeto, permitindo visualizar detalhadamente os itens de contrato e gerir alterações orçamentais. As funcionalidades de gestão de custos são essenciais para manter os projetos dentro do orçamento e evitar despesas inesperadas.
- **Interoperabilidade:** O Synchro 4D é compatível com uma ampla gama de ferramentas e plataformas, como o Autodesk Revit, Navisworks, Primavera P6, ProjectWise e Power BI. Esta interoperabilidade garante que os dados do projeto possam ser facilmente importados, exportados e integrados com outras soluções de software utilizadas no setor.
- **Colaboração em Tempo Real:** Através da tecnologia iModel da Bentley, o Synchro 4D facilita a colaboração em tempo real entre todas as partes interessadas do projeto. Esta

funcionalidade permite atualizações contínuas e precisas, promovendo uma comunicação eficaz e decisões informadas.

3.2.4.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTOS

O Synchro 4D é reconhecido pela sua interface intuitiva, desenhada para facilitar a utilização por parte dos profissionais de construção. A Bentley Systems investiu significativamente em tornar o software acessível, com uma curva de aprendizagem relativamente curta para utilizadores que já estão familiarizados com ferramentas de modelagem 3D ou gestão de projetos. A existência de tutoriais detalhados, suporte técnico e documentação abrangente contribuem para uma implementação mais rápida e eficaz.

A interoperabilidade é uma característica chave do Synchro 4D, permitindo que os utilizadores integrem o software com uma variedade de outras ferramentas de modelagem e agendamento. Esta compatibilidade inclui plataformas amplamente utilizadas no setor da construção, como Autodesk Revit, Navisworks, e Primavera P6. A capacidade de importar e exportar dados entre estas diferentes ferramentas assegura que os fluxos de trabalho podem continuar sem interrupções, aumentando a eficiência e reduzindo a possibilidade de erros.

Os custos associados ao Synchro 4D variam consoante as funcionalidades e pacotes escolhidos.[52] A título de exemplo:

- Licença Anual do SYNCHRO 4D Pro: Aproximadamente 4.000 USD (cerca de 3.700 EUR).
- SYNCHRO Control: Aproximadamente 1.500 USD por ano.
- SYNCHRO Field: Incluído no pacote SYNCHRO Control, sem custo adicional específico.

Estes preços podem variar conforme as necessidades específicas de cada projeto ou organização. Estando estes presentes na seguinte figura:

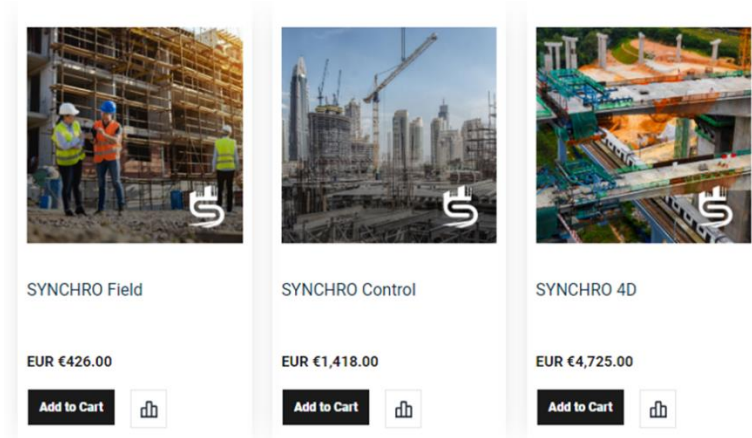


Figura 7- Plano de custo Synchro. [52]

3.2.4.3. VANTAGENS

- Redução de Riscos: A capacidade de visualizar o cronograma do projeto em 4D permite identificar e mitigar riscos antecipadamente, evitando problemas durante a execução das obras.

- Eficiência Operacional: Melhora a eficiência ao permitir um planeamento mais detalhado e preciso, resultando em menos retrabalho e atrasos.
- Colaboração Melhorada: A interoperabilidade com outras ferramentas e a centralização de dados promovem uma comunicação eficaz e uma colaboração mais estreita entre todas as partes envolvidas.

3.2.4.4. DESVANTAGENS

- Custo Elevado: O investimento inicial necessário para adquirir e implementar o Synchro 4D pode ser elevado, especialmente para pequenas empresas ou projetos com orçamentos limitados.
- Curva de Aprendizagem: Apesar da interface intuitiva, o Synchro 4D possui uma curva de aprendizagem que pode exigir formação adicional para os utilizadores novos no software.

3.2.5. COSTX

O CostX, desenvolvido pela RIB Software, é uma solução de software destinada a melhorar a precisão e eficiência na medição, orçamentação e gestão de custos de projetos de construção. A RIB Software, fundada em 1961 na Alemanha, é reconhecida globalmente pelas suas soluções inovadoras no setor da construção. O CostX foi criado para suportar engenheiros civis, empreiteiros e estimadores, oferecendo uma vasta gama de funcionalidades que vão desde medições 2D e 3D/BIM até à gestão detalhada de custos e relatórios personalizados.[53]

3.2.5.1. FUNCIONALIDADES

O CostX oferece uma série de funcionalidades avançadas:

- Medição 2D e 3D/BIM: Permite a medição precisa a partir de desenhos 2D (PDF, CAD) e modelos 3D/BIM, proporcionando uma integração total dos dados.
- Orçamentação e Estimativas: Utiliza planilhas interligadas aos desenhos e uma base de dados de custos para criar orçamentos detalhados e precisos.
- Revisão e Rastreo de Alterações: Ferramentas que comparam planos e documentam alterações, atualizando automaticamente estimativas de custo e carbono.
- Cálculo de Carbono Incorporado: Suporta cálculos de carbono para promover práticas de construção sustentáveis.
- Comparação de Subempreiteiros: Facilita a comparação de cotações para garantir a melhor escolha para trabalhos especializados.
- Relatórios Personalizados: Geração de relatórios detalhados e adaptáveis às necessidades específicas dos projetos.

3.2.5.2. FACILIDADE DE USO, INTEROPERABILIDADE E PLANOS DE CUSTOS

O CostX é amplamente reconhecido pela sua interface intuitiva, o que facilita a adoção mesmo por utilizadores com pouca experiência em software de estimativas. A curva de aprendizagem é

relativamente curta, com a RIB oferecendo suporte contínuo e recursos de formação para maximizar o uso eficiente do software.

O CostX destaca-se pela sua capacidade de integração com outros softwares usados na construção. Suporta importação e exportação de dados em vários formatos, incluindo DWG, DXF, PDF e modelos IFC para BIM. Esta interoperabilidade facilita a colaboração entre diferentes plataformas e departamentos, mantendo a integridade das informações durante todas as fases do projeto.

Os custos do CostX variam conforme as exigências particulares dos utilizadores. O custo inicial de uma licença única é de aproximadamente 4500 dólares (figura 26), com diferentes opções de subscrição disponíveis, como o CostX Takeoff, que é uma versão mais acessível para utilizadores que não necessitam de todas as funcionalidades do software completo. [54]

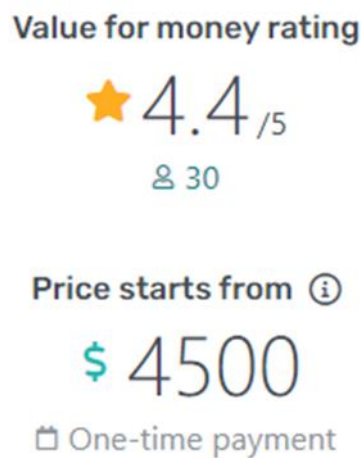


Figura 8- Plano de custo CostX. [54]

3.2.5.3. VANTAGENS:

- **Precisão e Eficiência:** As ferramentas de medição e orçamentação garantem alta precisão e reduzem o tempo necessário para preparar orçamentos.
- **Sustentabilidade:** Funcionalidades de cálculo de carbono promovem práticas sustentáveis na construção.
- **Suporte ao Cliente:** O suporte técnico é frequentemente elogiado pela sua eficiência e disponibilidade.

3.2.5.4. DESVANTAGENS:

- **Complexidade dos Relatórios:** A criação de relatórios personalizados pode ser complexa e exigir tempo e formação adicionais.
- **Preço Elevado:** O custo inicial e de subscrição pode ser proibitivo para pequenas empresas ou utilizadores individuais.
- **Ferramentas de Medição 3D:** Algumas funcionalidades de medição em 3D podem ser menos intuitivas, dificultando a navegação e medição em modelos complexos.

3.2.6. AVALIAÇÃO DOS SOFTWARE

A avaliação dos softwares foi realizada com base em critérios considerados essenciais para a gestão eficiente de projetos de construção. Estes critérios foram selecionados para abranger as principais funcionalidades e capacidades que um software de gestão de construção deve possuir. Os critérios são os seguintes:

- **Integração de Dados BIM:** Avalia a capacidade do software de integrar e gerir modelos de Informação da Construção (BIM - Building Information Modeling), facilitando a coordenação e a colaboração entre as diferentes disciplinas envolvidas no projeto.
- **Estimativa de Custos:** Refere-se à precisão e à capacidade do software de realizar estimativas de custos detalhadas, permitindo uma previsão financeira mais assertiva do projeto.
- **Acompanhamento de Custos:** Esta funcionalidade avalia o monitoramento contínuo dos custos durante a execução do projeto, assegurando que o orçamento seja gerido eficazmente ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.
- **Análise de Variações:** Avalia a capacidade do software de analisar as variações entre o planeamento e a execução real do projeto, identificando desvios e permitindo a implementação de ações corretivas.
- **Programação e Planeamento:** Refere-se às ferramentas disponíveis para o planeamento e agendamento eficiente das tarefas do projeto, contribuindo para a organização e cumprimento dos prazos estabelecidos.
- **Simulação e Otimização:** Esta funcionalidade avalia a capacidade do software de simular diferentes cenários de execução e otimizar o uso de recursos, melhorando a eficiência do projeto.
- **Relatórios e Visualizações:** Refere-se à geração de relatórios detalhados e à capacidade de visualização dos dados do projeto, facilitando a análise e a tomada de decisões informadas.
- **Integração com Sistemas de Gestão:** Avalia a compatibilidade e a capacidade de integração do software com outros sistemas de gestão utilizados pela empresa, promovendo uma gestão mais integrada e eficiente.

A pontuação atribuída a cada software foi realizada de acordo com a presença e a qualidade das funcionalidades avaliadas, seguindo a escala abaixo:

- **0:** O software não possui a funcionalidade avaliada.
- **0.5:** A funcionalidade está presente de forma simplista ou limitada, não sendo suficientemente detalhada para atender plenamente às necessidades do projeto.
- **1:** A funcionalidade está presente de forma detalhada e completa, atendendo de forma satisfatória às exigências do projeto.

A nota final de cada software é a soma das pontuações individuais atribuídas a cada critério, variando de 0 a 8. As notas são interpretadas da seguinte forma:

- **0-2:** O software não apresenta as funcionalidades necessárias para o objetivo da dissertação, sendo inadequado para a gestão de projetos de construção.

- 2-4: O software apresenta algumas funcionalidades, mas de forma limitada e insuficiente para atender plenamente às necessidades do projeto.
- 4-6: O software possui funcionalidades razoáveis, sendo útil em diversos aspetos, mas com algumas limitações importantes que podem impactar a eficiência do projeto.
- 6-8: O software atende a maioria dos critérios de forma satisfatória, sendo adequado para a gestão de projetos de construção, com capacidades que suportam uma gestão eficiente e integrada.

A Tabela 6, apresenta uma avaliação detalhada dos softwares utilizados na gestão de custos em projetos de construção. Esta avaliação abrange critérios essenciais como a integração de dados BIM, estimativa de custos, acompanhamento de custos, análise de variações, programação e planeamento, simulação e otimização, geração de relatórios e visualizações, e integração com sistemas de gestão. A pontuação atribuída a cada software foi realizada de acordo com a presença e qualidade dessas funcionalidades, facilitando a comparação e escolha da ferramenta mais adequada às necessidades específicas do projeto.

Tabela 6- Tabela comparativa

Software	Integração de Dados BIM	Estimativa de Custos	Acompanhamento de Custos	Análise de Variações	Programação e Planeamento	Simulação e Otimização
Bexel Manager	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)
Vico Office	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)
Navisworks Manage	✓ (1.0)	✓ (0.5)	✓ (0.5)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)
Synchro 4D	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓- (0.5)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)
CostX	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (1.0)	✓ (0.5)	✓ (0.5)

Software	Relatórios e Visualizações	Integração com Sistemas de Gestão	Soma
Bexel Manager	✓ (1.0)	✓ (1.0)	8
Vico Office	✓ (1.0)	✓ (1.0)	8
Navisworks Manage	✓ (1.0)	✓ (0.5)	6.5
Synchro 4D	✓ (1.0)	✓ (1.0)	7.5
CostX	✓ (1.0)	✓ (1.0)	7.0

A análise dos softwares Bexel Manager, Vico Office, Navisworks Manage, Synchro 4D e CostX revela uma diversidade significativa em termos de funcionalidades oferecidas na administração de projetos de construção. A escolha do software ideal depende das necessidades específicas do projeto, mas com base nas funcionalidades avaliadas, o Bexel Manager e o Vico Office sobressaem por fornecer um conjunto completo de ferramentas que cobrem todas as áreas críticas para a gestão eficiente de custos e prazos.

- Bexel Manager: Obteve a nota máxima de 8, destacando-se pela excelência em todas as áreas avaliadas. Este software oferece uma integração de dados BIM completa, estimativas de custos detalhadas, acompanhamento eficaz de custos, análise precisa de variações, ferramentas avançadas de programação e planeamento, simulação e otimização eficientes, relatórios e visualizações detalhados, e uma excelente integração com sistemas de gestão.
- Vico Office: Assim como o Bexel Manager, recebeu a nota de 8. Este software é reconhecido pelas funcionalidades abrangentes, incluindo uma forte capacidade de integração de dados BIM, estimativas de custos precisas, e uma gestão de custos eficaz. Além disso, proporciona análises de variações, programação e planeamento detalhados, simulação e otimização robustas, e relatórios e visualizações abrangentes, juntamente com uma integração eficiente com sistemas de gestão.
- Navisworks Manage: Recebeu uma nota de 6.5 devido às limitações nas funcionalidades de estimativa e acompanhamento de custos. Embora ofereça boas capacidades em detecção de conflitos e visualizações, sua integração com sistemas de gestão é menos robusta. As funcionalidades de análise de variações e programação são satisfatórias, mas não tão detalhadas quanto as oferecidas pelos melhores classificados.
- Synchro 4D: Obteve a nota de 7.5. Este software é particularmente forte em programação e planeamento, cumprindo muitas das funções necessárias para a gestão de projetos. Destaca-se em estimativa de custos, simulação e otimização, e relatórios detalhados, mas apresenta limitações no acompanhamento contínuo de custos.
- CostX: Recebeu a nota de 7.0, sendo um candidato forte para a gestão de custos, graças às suas funcionalidades robustas nesta área. No entanto, apresenta limitações em simulação e otimização, refletindo-se na nota atribuída. Destaca-se na extração de quantidades e na

geração de relatórios financeiros, mas carece de algumas funcionalidades avançadas presentes nos melhores classificados.

3.2.7. ESCOLHA DO SOFTWARE

A escolha do software de gestão de projetos de construção é uma decisão crucial que pode influenciar significativamente a eficiência, a precisão e o sucesso de um projeto. Durante a avaliação inicial dos softwares, tanto o Bexel Manager quanto o Vico Office obtiveram a nota máxima na tabela comparativa, o que exigiu uma análise mais detalhada para determinar qual seria a melhor escolha. Para isso, foi necessário recorrer à secção 3.2 que contém parâmetros importantes como "Planos de Custo" e "Facilidade de uso". Além desses, foram considerados outros parâmetros que não foram alvo de avaliação inicial no documento como o "Suporte Técnico e Comunidade de Utilizadores".

Para a escolha do software de gestão de projetos de construção, foram considerados os seguintes critérios:

Usabilidade e Interface do Utilizador

- Bexel Manager: Destaca-se pela interface amigável e intuitiva, facilitando a curva de aprendizagem para novos utilizadores e tornando a navegação mais acessível tanto para profissionais experientes quanto para iniciantes.
- Vico Office: Possui uma interface mais técnica, que pode representar um desafio maior para utilizadores não familiarizados com ferramentas de gestão de construção baseadas em modelo. A complexidade adicional pode resultar num tempo de formação mais longo e numa menor eficiência inicial.

Suporte Técnico e Comunidade de Utilizadores

- Bexel Manager: Reconhecido pelo excelente suporte técnico, incluindo tutoriais abrangentes, webinars e uma comunidade ativa de utilizadores. Esta rede de suporte contínuo é crucial para resolver problemas rapidamente e maximizar a eficiência do software.
- Vico Office: Oferece suporte técnico e recursos de formação, mas alguns utilizadores relataram que a resposta do suporte pode ser mais lenta e que a documentação nem sempre é clara o suficiente para solucionar problemas complexos rapidamente.

Custo-Benefício

- Bexel Manager: Proporciona um excelente custo-benefício com um modelo de licenciamento flexível e uma gama abrangente de funcionalidades, eliminando a necessidade de adquirir múltiplos softwares adicionais para diferentes tarefas dentro do ciclo de vida do projeto.
- Vico Office: Pode ser mais caro a longo prazo devido à necessidade de complementação com outras ferramentas para alcançar a mesma funcionalidade abrangente oferecida pelo Bexel Manager. Além disso, o custo da formação e adaptação inicial ao software pode representar despesas adicionais significativas.

A Tabela 7, resume a comparação entre dois dos principais softwares avaliados, o Bexel Manager e o Vico Office, em termos de usabilidade e interface, suporte técnico e comunidade de utilizadores, e custo-benefício. Esta tabela é elaborada para auxiliar na escolha do software de gestão de projetos de construção mais adequado, considerando não apenas as funcionalidades técnicas, mas também fatores como a facilidade de uso, a qualidade do suporte oferecido e o custo a longo prazo. A análise detalhada

destes critérios justifica a escolha final do Bexel Manager como a melhor opção para atender de forma eficaz às necessidades do projeto e expectativas dos utilizadores.

Tabela 7- Tabela resumo

Critério	Bexel Manager	Vico Office
Usabilidade e Interface	Interface amigável e intuitiva, facilita a curva de aprendizagem, acessível para todos os níveis de utilizadores.	Interface técnica, complexa, maior tempo de formação necessário, menor eficiência inicial.
Suporte Técnico e Comunidade	Excelente suporte técnico, tutoriais abrangentes, webinars, comunidade ativa de utilizadores.	Suporte técnico mais lento, documentação não sempre clara, recursos de formação disponíveis.
Custo-Benefício	Excelente custo-benefício, modelo de licenciamento flexível, funcionalidades abrangentes, elimina necessidade de múltiplos softwares adicionais.	Mais caro a longo prazo, necessidade de outras ferramentas complementares, custos adicionais de formação e adaptação.

A escolha do Bexel Manager em detrimento do Vico Office foi fundamentada nos seguintes pontos:

- **Funcionalidades Abrangentes:** O Bexel Manager oferece uma gama de funcionalidades que cobrem todas as necessidades do projeto, eliminando a necessidade de softwares adicionais. Isto resulta numa solução mais integrada e eficiente.
- **Usabilidade:** A interface intuitiva do Bexel Manager facilita a utilização por profissionais de todos os níveis, reduzindo o tempo necessário para formação e aumentando a eficiência operacional desde o início da implementação.
- **Suporte Técnico e Comunidade:** O suporte técnico do Bexel Manager, aliado a uma comunidade ativa de utilizadores, garante que os problemas possam ser resolvidos rapidamente, minimizando interrupções e maximizando a utilização do software.
- **Custo-Benefício:** A combinação de um modelo de licenciamento flexível e uma gama abrangente de funcionalidades torna o Bexel Manager uma opção mais económica a longo prazo, especialmente considerando os custos adicionais de formação e ferramentas complementares necessários para o Vico Office.

Desta forma, a análise detalhada dos critérios acima justifica a escolha do Bexel Manager como a melhor opção para a gestão de projetos de construção, atendendo de forma mais eficaz às necessidades do projeto e às expectativas dos utilizadores.

Proposta do método

Neste capítulo, apresenta-se uma proposta de método que integra as tecnologias mais avançadas na gestão de projetos de construção, com um foco específico na utilização do Bexel Manager. Este software é uma ferramenta avançada que incorpora módulos 3D, 4D e 5D dentro da metodologia BIM, permitindo um controlo abrangente e eficiente da gestão de informações do projeto através de processos automatizados para verificação de dados, enriquecimento de modelos e deteção de conflitos.

O capítulo está estruturado em várias secções para proporcionar uma visão detalhada e prática sobre o uso do Bexel Manager. Inicia-se com uma explicação das funcionalidades do software e da sua aplicação prática na gestão do planeamento, controlo de custos e orçamento, visualização e análise de resultados, coordenação e colaboração entre disciplinas, além de aspetos de segurança e planeamento do local de construção.

Seguidamente, discute-se a importância dos dados necessários para a gestão de empreitadas usando BIM, com um enfoque na criação de uma representação BIM de cinco dimensões. São detalhadas as ferramentas e técnicas utilizadas, incluindo a modelação tridimensional (BIM 3D), o planeamento da obra e o Mapa de Trabalhos e Quantidades. Esta abordagem prática é essencial para o desenvolvimento de um modelo BIM 5D, que integrará informações detalhadas sobre os elementos modelados, planeamento e custos, facilitando um controlo eficaz do projeto.

Finalmente, o capítulo aborda o método proposto para a gestão financeira e de prazos do projeto, destacando a importância da interoperabilidade entre diferentes ferramentas digitais e a utilização de softwares como o MS Project para a implementação prática do método. A proposta visa otimizar o método original, apresentando uma alternativa que melhora a gestão de grandes quantidades de informação e supera as dificuldades associadas ao controlo digital de empreitadas.

4.1. BEXEL MANAGER

O Bexel Manager é uma ferramenta avançada de coordenação de empreendimentos, que integra módulos 3D, 4D e 5D dentro da metodologia BIM. Este software permite um controle abrangente e eficiente sobre a gestão de informações do projeto, utilizando processos automatizados para verificação de dados, enriquecimento de modelos e deteção de conflitos.

- **Gestão do Planeamento**

O Bexel Manager oferece recursos avançados de 4D BIM, permitindo a programação inteligente e a visualização temporal do progresso da construção. A capacidade de criar simulações em tempo real do cronograma da obra facilita a identificação de conflitos e a otimização da sequência de atividades. A funcionalidade de agendamento inteligente do software permite criar metodologias de construção e grupos de atividades com base nas fases do projeto, o que simplifica a criação de cronogramas detalhados e otimizados.

- **Controle de Custos/Orçamento**

No âmbito do 5D BIM, o Bexel Manager proporciona uma integração total entre a estimativa de custos e o modelo 3D. Este software possibilita a vinculação de custos a elementos modelados e não modelados, fornecendo uma análise financeira abrangente. A capacidade de gerar estimativas de custo detalhadas a partir do modelo BIM auxilia no planeamento financeiro e na prevenção de atrasos. Além disso, o software permite a gestão de múltiplas versões de custos, o que facilita a comparação e otimização de orçamentos.

- **Visualização e Análise de Resultados**

O Bexel Manager inclui ferramentas robustas de visualização e análise, oferecendo relatórios detalhados e gráficos personalizados. A visualização gráfica, incluindo diagramas de Gantt e linhas de balanço, melhora o controle do projeto ao permitir a análise de variações e a identificação de desvios no cronograma. Além disso, a capacidade de gerar relatórios de custos e progresso em tempo real proporciona uma visão clara do estado do projeto, ajudando a equipe de gestão a tomar decisões informadas.

- **Coordenação e Colaboração**

O Bexel Manager facilita a coordenação entre diferentes disciplinas (arquitetura, estruturas, MEP) através da importação e gestão de modelos 3D, bem como da deteção de conflitos. A integração de dados com outras ferramentas de construção permite a troca fluida de informações, melhorando a cooperação entre todas as partes envolvidas no projeto. Além disso, a funcionalidade de controle de quantidades permite uma medição precisa dos materiais necessários, otimizando a compra e gestão de recursos.

- **Segurança e Planeamento do local de construção**

O software também contribui para o planeamento da segurança no local de construção, através da simulação e análise de diferentes cenários de construção. Isso ajuda a prever e mitigar riscos antes que ocorram, garantindo um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

Em resumo, o Bexel Manager é uma solução abrangente para a administração de projetos de construção, integrando 3D, 4D e 5D BIM para melhorar a precisão do planeamento, controle de custos e execução de obras, garantindo uma gestão eficiente e informada em todas as fases do projeto.

4.2. DADOS NECESSÁRIOS PARA O CONTROLO DE EMPREITADAS USANDO BIM

No quinto capítulo, será realizada a implementação prática exclusivamente através do Bexel Manager. Contudo, é essencial identificar e analisar as informações necessárias para garantir um controlo eficaz e preciso. Este processo inclui o acompanhamento de custos e prazos, integrando todas as informações num único software para criar uma representação 5D do modelo. Para a elaboração deste modelo, são necessárias três principais fontes de dados: o modelo tridimensional, o Mapa de Trabalhos e Quantidades (MTQ) e o planeamento da obra. Cada um destes componentes deve cumprir critérios específicos para assegurar a compatibilidade com o Bexel Manager, aproveitando a elevada interoperabilidade do software com outras ferramentas digitais que podem ser desenvolvidas com diferentes aplicações externas.

4.2.1. MODELO BIM

O BIM é uma metodologia avançada que tem transformado a gestão de projetos de construção. Utilizando modelos digitais tridimensionais, o BIM integra e coordena todas as informações relevantes do projeto, desde a elaboração até à conservação. Isto permite uma visão holística e detalhada do empreendimento, melhorando significativamente a eficiência, precisão e colaboração entre todos os envolvidos no processo.

Uma das principais funcionalidades do BIM é a capacidade de identificar e gerir cada elemento do modelo de forma precisa. O reconhecimento dos componentes modelados envolve a atribuição de códigos e atributos únicos a cada componente. Estes códigos são cruciais para organizar e rastrear os elementos ao longo das diferentes fases do projeto. Sistemas de classificação como OmniClass, UniClass, MasterFormat e UniFormat são frequentemente utilizados para categorizar os componentes de acordo com as suas características, funções e localizações. Por exemplo, o OmniClass organiza elementos numa estrutura hierárquica que facilita a gestão e a integração de informações no modelo como podemos ver na figura 9.

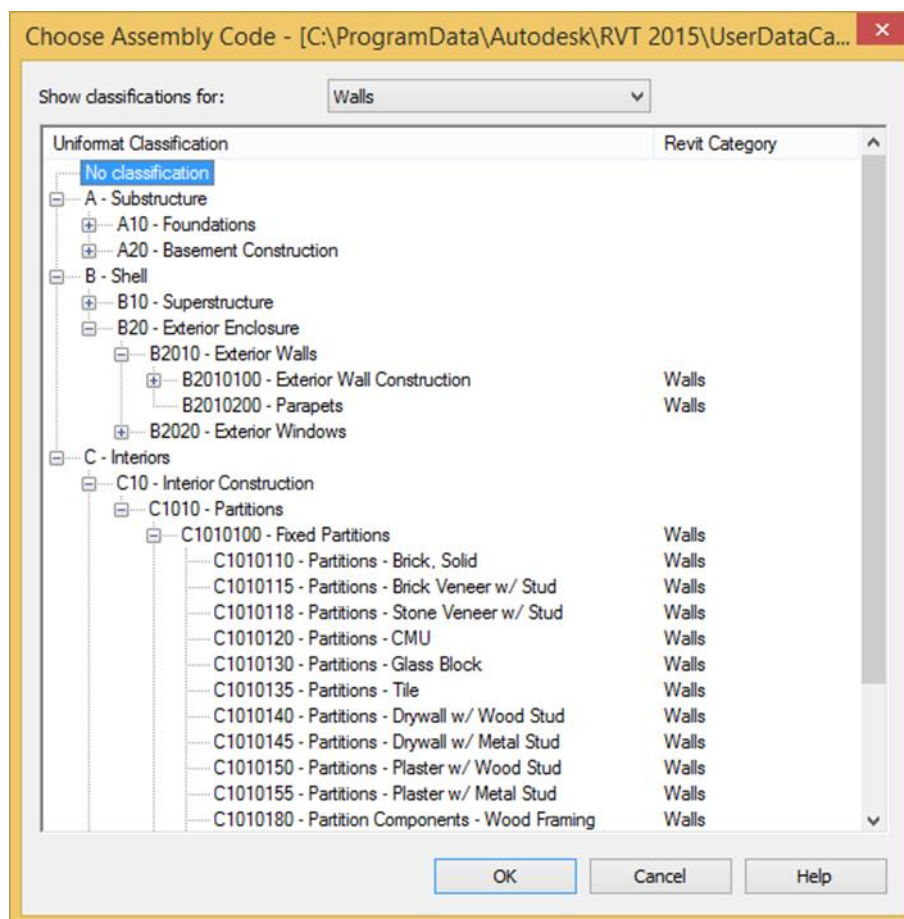


Figura 9- Sistema de classificação UniFormat

Além da identificação, a exportação dos elementos modelados é um processo essencial para garantir a interoperabilidade entre diferentes plataformas e ferramentas de software. As propriedades para exportação incluem informações detalhadas sobre a geometria, materiais, especificações técnicas e dados de desempenho dos componentes. Estas propriedades são exportadas geralmente por meio de

ficheiros IFC, que são amplamente aceites como padrão para a troca de dados em projetos BIM. A precisão na definição e exportação dessas propriedades assegura que todos os dados essenciais para o controlo de custos, planeamento e execução do projeto sejam transmitidos de forma correta e eficiente.

O BIM não só facilita a visualização tridimensional do projeto, mas também integra dimensões adicionais como o tempo (4D) e os custos (5D), permitindo simulações do cronograma de construção e estimativas financeiras precisas. Isto é fundamental para o planeamento detalhado e para a identificação de potenciais conflitos antes da execução das obras. A metodologia BIM, ao incorporar todos estes aspetos, melhora a coordenação entre as disciplinas, minimiza erros e retrabalhos, e otimiza a gestão de recursos e materiais.

4.2.2. PLANEAMENTO DO PROJETO

A gestão da programação do processo de construção e das atividades relacionadas é essencial para assegurar o cumprimento dos prazos da obra. Em termos orçamentais, cada tarefa acarreta diversos custos, incluindo os dos materiais e da mão-de-obra. Embora o Bexel Manager proporcione a criação de todo o planeamento, opta-se pelo uso do MS Project neste trabalho devido à sua facilidade de utilização na elaboração. É importante destacar que o cronograma a utilizar será fornecido pela A400/BuildGest e disponibilizado num ficheiro compatível com o MS Project, facilitando assim a importação dos dados para o software.

4.2.3. MAPA DE TRABALHOS E QUANTIDADES

O MTQ, disponibilizado pelo empreiteiro, assume um papel crucial na gestão financeira de projetos de construção. Este documento enumera todas as atividades necessárias para a execução da obra, detalhando as quantidades de materiais e os respetivos custos unitários, proporcionando assim uma previsão detalhada do orçamento. Os dados presentes no MTQ são essenciais para a gestão financeira e serão integrados no Bexel Manager. Contudo, em vez de ser simplesmente importado para o software, o MTQ será utilizado como referência para os custos fornecidos pelo empreiteiro.

O orçamento do mapa de trabalhos e quantidades será comparado com os valores gerados pelas ferramentas BIM durante a execução da obra, permitindo a identificação de eventuais discrepâncias em relação ao orçamento inicial. Além disso, o mapa de trabalhos e quantidades serve como a principal fonte de informação para todas as atividades não modeladas, essenciais para o desenvolvimento do projeto, como a instalação de estaleiros, demolições, trabalhos de geotecnia, movimentação de terras e fundações. Todas essas atividades possuem custos associados que devem ser incluídos no modelo BIM para obter uma estimativa precisa do orçamento global da obra.

4.3. MÉTODO

Nesta seção, será apresentada o método proposto para gerir projetos de construção por meio da utilização de ferramentas BIM integradas no Bexel Manager. O objetivo é aprimorar o método originalmente apresentado pelo autor [55], propondo um método diferente que vise otimizar o processo.

O fluxograma ilustrado na figura 10 será detalhadamente explicado nesta seção e aplicado a um caso de estudo específico da A400/Builgest, com o intuito de melhorar a administração de empreendimentos de construção. O objetivo principal é desenvolver um método que possa ser amplamente aplicada,

facilitando a gestão de grandes quantidades de informação e superando as dificuldades associadas ao controlo digital de empreitadas.

O método será estruturado em várias fases, iniciando-se com a elaboração do modelo BIM em 4D/5D e prosseguindo com a supervisão durante a execução da obra. Cada fase será detalhada, mostrando como as informações serão integradas e utilizadas para uma monitorização eficaz em tempo real.

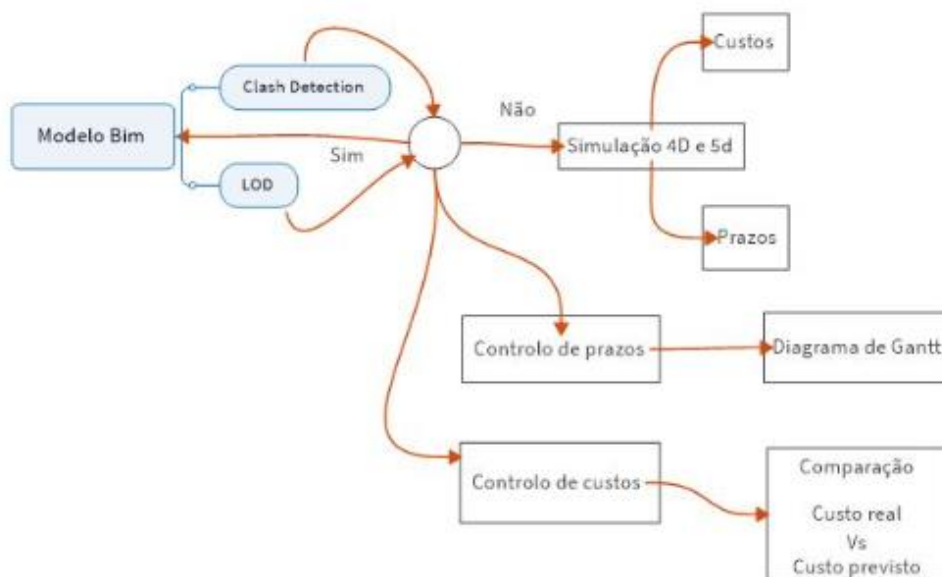


Figura 10- Fluxograma do método proposto. Fonte: Autor

4.3.1. 1ªFASE- EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O BEXEL MANAGER

A exportação do modelo BIM, elaborado no Revit, para o software deve ser realizada por meio de um IFC ou por meio de um add-in, um complemento que adiciona funcionalidades extras ao software principal, permitindo a transferência direta para o formato BX3 da Bexel. Este método, ao utilizar o add-in, reduz etapas e minimiza a probabilidade de erro. Durante este processo, é crucial garantir que todos os "property sets" relevantes sejam exportados, assegurando a transmissão correta das informações financeiras para o Bexel Manager.

O formato IFC, essencial para a interoperabilidade entre diferentes plataformas BIM, facilita a troca eficiente de dados. As opções de configuração no Revit permitem ao usuário definir as propriedades específicas a serem exportadas, adaptando o modelo às necessidades do projeto. É importante manter o add-in atualizado, pois as versões mais recentes aprimoram a compatibilidade e corrigem eventuais falhas.

Nesta fase inicial, a visualização do modelo 3D no Bexel Manager é fundamental, pois facilita a familiarização com as funcionalidades do software e permite compreender a organização das informações dos elementos, além de verificar os dados previamente inseridos pelos projetistas no Revit. Além disso, a classificação adequada dos elementos é vital para a criação de um modelo 5D, integrando custos e cronogramas ao modelo tridimensional.

4.3.2. 2ªFASE- VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO MODELO

A verificação da qualidade do modelo no Bexel Manager é um processo crucial que envolve a deteção de colisões no modelo e a análise do Nível de Desenvolvimento (LOD). A deteção de colisões consiste na identificação de interseções ou sobreposições indesejadas entre elementos diferentes do modelo, como estruturas, instalações elétricas, hidráulicas ou mecânicas, que podem gerar problemas na fase de construção. Utilizando matrizes pré-definidas para a deteção automatizada de colisões, o software identifica e resolve essas inconsistências entre componentes do modelo, assegurando que todas as partes do projeto estejam em conformidade com os padrões desejados. Esta análise minuciosa é fundamental para garantir a precisão do modelo e prepará-lo para as fases subsequentes, promovendo uma construção eficiente e colaborativa. Além disso, o Bexel Manager integra dados de várias disciplinas, melhorando a comunicação e reduzindo o risco de erros durante a execução do projeto.

4.3.3. 3ªFASE- IDENTIFICAÇÃO DOS ELEMENTOS MODELADOS

Nos projetos de construção digital, é comum utilizar o sistema de classificação OmniClass para organizar e identificar elementos modelados no Revit. Este método é eficaz na categorização de componentes, facilitando sua associação a tarefas específicas e promovendo uma gestão eficiente dos dados no Bexel Manager.

Além disso, um método alternativo foi implementado pela A400/Buildgest, automatizando a identificação dos elementos. Este processo envolve a categorização direta dos componentes no Revit, permitindo sua exportação para o software. Assim, todos os elementos são automaticamente identificados e organizados conforme o modelo de tarefas do empreiteiro. Essa abordagem assegura que o modelo BIM esteja livre de inconsistências, garantindo precisão e preparação para as etapas subsequentes do projeto.

4.3.4. 4ª FASE- EXTRAÇÃO DAS QUANTIDADES DOS ELEMENTOS

A quarta fase envolve a extração de quantidades utilizando o Bexel Manager, começando pela configuração inicial do Quantity Takeoff (QTO). Nesta configuração, selecionam-se os elementos do modelo BIM a serem quantificados, como paredes, pisos e vigas, e definem-se as regras de medição para especificar como cada elemento será quantificado, utilizando parâmetros como área, volume e comprimento. Os critérios de extração podem incluir categorias como tipos de materiais, famílias de elementos e localização (por exemplo, diferentes pisos do edifício).

Após a configuração, o Bexel Manager aplica automaticamente essas regras ao modelo BIM, calculando as quantidades necessárias, o que agiliza o processo e reduz a chance de erros humanos. Os resultados são apresentados na interface do software para revisão e ajustes conforme necessário, garantindo a precisão dos dados.

Contudo, o modelo BIM em questão não possui todos os elementos necessários modelados, como armaduras e cofragens. Para resolver essa limitação, usou-se um método específico para extrair as quantidades desses elementos não modelados. Este método inclui a utilização de fórmulas específicas e a criação de regras de medição personalizadas, permitindo estimar com precisão as quantidades de armaduras e cofragens com base nas tipologias estruturais presentes no modelo.

Por exemplo, no caso das armaduras, utilizam-se taxas específicas de armadura para cada tipo de elemento estrutural (pilares, vigas, lajes, etc.), baseadas em padrões de engenharia. A fórmula para calcular a quantidade de armadura num pilar é expressa como:

- $Q_{armadura} = T_{armadura} \times V_{pilar}$

onde Tarmadura é a taxa de armadura (kg/m³) e Vpilar é o volume do pilar (m³).

Para a cofragem, calcula-se a área necessária com base nas dimensões dos elementos estruturais. A área de cofragem para um pilar é calculada como o perímetro do pilar multiplicado pelo seu comprimento, expressa pela fórmula:

- $Acofragem = Ppilar \times Lpilar$

onde Ppilar é o perímetro do pilar e Lpilar é o comprimento do pilar.

Estas regras permitem uma estimativa precisa das quantidades necessárias, assegurando que, mesmo na ausência de uma modelagem completa, as quantidades extraídas sejam precisas e úteis para o planejamento e orçamento do projeto. Na fase seguinte, detalham-se os procedimentos para implementar esta abordagem no Bixel Manager.

Outro método para determinar a quantidade de aço dos elementos não modelados no Revit consiste na integração do projeto de estruturas com o modelo BIM, utilizando as propriedades geométricas dos pilares extraídas e as especificações fornecidas pelo projeto de estruturas.

Primeiramente, devem-se extrair do modelo BIM no Revit as seguintes propriedades geométricas dos pilares: a área da seção transversal (Aseção), que corresponde à área da base do pilar; o perímetro do pilar (Ppilar), que é o perímetro da seção transversal do pilar; a altura do pilar (hpilar), que é a altura total do pilar; e o volume do pilar (Vpilar), que é o volume total do pilar.

A partir do projeto de estruturas, obtêm-se os seguintes parâmetros necessários para o cálculo da quantidade de aço: o número de barras longitudinais (Nbarras), que é definido pelo engenheiro estrutural com base em cálculos de resistência; a área da seção transversal de uma barra (Abarra), que é a área típica das armaduras de aço especificadas (por exemplo, aço A500NR); e o espaçamento dos estribos (S), que é o intervalo entre os estribos, conforme especificado no projeto estrutural.

O aço longitudinal é composto pelas armaduras de aço dispostas ao longo do comprimento do pilar. A quantidade de aço longitudinal pode ser calculada com base na quantidade de barras e nas dimensões dessas barras. A fórmula para calcular o aço longitudinal é $Q_{aço,long} = Nbarras \times Abarra \times hpilar$ onde Nbarras é o número de barras longitudinais, conforme especificado no projeto de estruturas, Abarra é a área da seção transversal de uma barra de aço e hpilar é a altura do pilar.

Os estribos fornecem resistência transversal e confinamento ao concreto. Eles são dispostos ao redor da seção transversal do pilar em intervalos regulares. A fórmula para calcular o aço transversal é $Q_{aço,trans} = (Ppilar \times hpilar) / S \times Aestribo$ onde Ppilar é o perímetro da seção transversal do pilar, hpilar é a altura do pilar, S é o espaçamento entre os estribos e Aestribo é a área da seção transversal de cada estribo.

A quantidade total de aço necessária para o pilar é a soma das quantidades de aço longitudinal e transversal. A fórmula para a quantidade total de aço é $Q_{aço,total} = Q_{aço,long} + Q_{aço,trans}$

Este método alternativo permite calcular com precisão a quantidade de aço necessária para os pilares, utilizando as propriedades geométricas extraídas do modelo BIM e as especificações do projeto de estruturas. Esta abordagem facilita a obtenção de estimativas precisas e detalhadas, essenciais para o planejamento e execução do projeto.

4.3.5. 5ªFASE- ASSOCIAÇÃO DE CUSTOS AOS ELEMENTOS

A quinta fase envolve a associação de custos aos elementos do modelo BIM, crucial para a supervisão financeira do projeto. Este processo consiste em atribuir valores monetários aos elementos modelados, sendo que os custos unitários atribuídos a cada elemento foram retirados do Gerador de Preços, garantindo que todos os custos relacionados à construção sejam claramente definidos e integrados no Bexel Manager.

O autor [55], mencionado anteriormente, não fez a extração dos elementos das armaduras e cofragens. Este optou por extrair apenas as quantidades que estavam modeladas e sugeriu uma diluição dos custos da cofragem e armaduras no betão, propondo que o cálculo fosse feito por semelhança de proporção. No caso descrito neste estudo, desenvolveu-se um método diferente, aplicando fórmulas específicas para conseguir extrair as quantidades dos elementos, mesmo aqueles não completamente modelados, conforme detalhado na seção anterior.

Após a extração das quantidades, associam-se os custos a cada elemento. Divide-se os custos totais pelo número de elementos presentes no modelo, obtendo-se assim o preço unitário de cada elemento. Por exemplo, no caso dos pilares, o custo total foi dividido pelo número de pilares modelados. Esta metodologia facilita a comparação com o mapa de trabalhos e quantidades, permitindo uma gestão financeira mais eficaz e um planeamento mais preciso do orçamento do projeto. Além disso, esta abordagem assegura uma distribuição mais realista e detalhada dos custos, refletindo melhor a complexidade e as necessidades específicas do projeto.

Para ilustrar, se o custo total para um conjunto de pilares é de €100.000 e existem 170 pilares no modelo, o custo unitário de cada pilar seria calculado como:

$$C_{\text{pilar}} = C_{\text{total}} / N_{\text{pilares}} = 100.000 / 170 \approx 588,24 \text{ euros por pilar}$$

Esta abordagem detalhada e metodológica assegura que os custos sejam distribuídos de forma justa e precisa, permitindo uma análise financeira mais robusta e um planeamento orçamental detalhado.

4.3.6. 6ªFASE- EXPORTAÇÃO DO PLANEAMENTO PARA O SOFTWARE

Na sexta fase do processo de planeamento da obra, é fundamental utilizar ferramentas como o MS Project para exportar dados para o software. Esta fase visa atribuir as tarefas do planeamento aos elementos do projeto no software, integrando todas as informações de forma coesa. A simplicidade do processo advém do fato de os elementos estarem previamente modelados e terem custos associados.

Além disso, considera-se a inclusão de custos de trabalhos não modelados, que são integrados como custos fixos no planeamento. No final desta fase, obtém-se um modelo BIM de cinco dimensões abrangente, onde todos os elementos se associam às respetivas tarefas, permitindo um controlo detalhado da obra.

4.3.7. 7ªFASE- EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO BEXEL MANAGER

Na sétima fase, a extração de informações do Bexel Manager é fundamental para a fiscalização e monitorização precisa da obra. Esta etapa envolve a obtenção de gráficos Gantt, linhas de balanço, gráficos de custos previstos e gráficos de custos acumulados da obra. Através do Bexel Manager, a equipe de fiscalização pode extrair dados detalhados que são essenciais para comparar o planeamento inicial com o progresso real do projeto. Isso permite uma gestão mais eficiente dos cronogramas e custos, minimizando riscos orçamentais e melhorando a comunicação entre todas as partes envolvidas.

5

Aplicação prática do método proposto

Neste capítulo, demonstra-se a aplicação prática do método descrito no capítulo anterior, utilizando-se um estudo de caso real fornecido pela A400/Buildgest. O método é aplicado a um modelo desenvolvido no software Revit, especificamente para o projeto de estruturas de um edifício, integrando-se o Mapa de Trabalhos e Quantidades e o planeamento detalhado da obra.

Primeiramente, exporta-se o modelo estrutural para o Bexel Manager, utilizando-se um add-in específico para facilitar a integração com o software. Em seguida, analisa-se o modelo quanto à qualidade e precisão, através de uma "clash detection" e verificação do Nível de Desenvolvimento (LOD).

Organizam-se e categorizam-se os elementos do projeto criando-se um "Custom Breakdown" no Bexel Manager, permitindo uma análise mais detalhada. Para elementos não modelados, como armaduras e cofragens, realizam-se estimativas de quantidades, garantindo-se a precisão necessária para o planeamento e execução da obra.

Associam-se os custos aos elementos do modelo utilizando-se o "Cost Editor", proporcionando-se um controlo financeiro rigoroso e transparente. Finalmente, importa-se o cronograma da obra, criado no MS Project, para o Bexel Manager, integrando-se o planeamento e a execução do projeto de forma eficaz.

Ao longo do capítulo, ilustram-se o processo com figuras e exemplos práticos, culminando-se numa análise dos resultados e das lições aprendidas durante a aplicação do método.

5.1. APRESENTAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Neste documento, será aplicado o método explicado no capítulo 4 a um caso de estudo real proposto pela A400/Buildgest. Este estudo de caso centra-se num hotel localizado na Rua Castilho, em Lisboa, Portugal, que se encontra finalizado. O método será aplicado utilizando um modelo desenvolvido no software Revit, (figura 11) especificamente para o projeto de estruturas do edifício.

Para além do modelo estrutural, foram fornecidos o Mapa de Trabalhos e Quantidades da obra, bem como o planeamento detalhado da mesma. Primeiramente, as tarefas do planeamento serão associadas aos elementos do modelo, resultando na criação do modelo 4D. Em seguida, através do Mapa de Trabalhos e Quantidades, serão extraídos os custos e associados aos elementos do modelo, criando assim o modelo 5D. Com a conclusão do modelo 4D/5D, será possível efetuar o controlo de custos e prazos do edifício, verificando eventuais atrasos na obra ou desvios do orçamento.

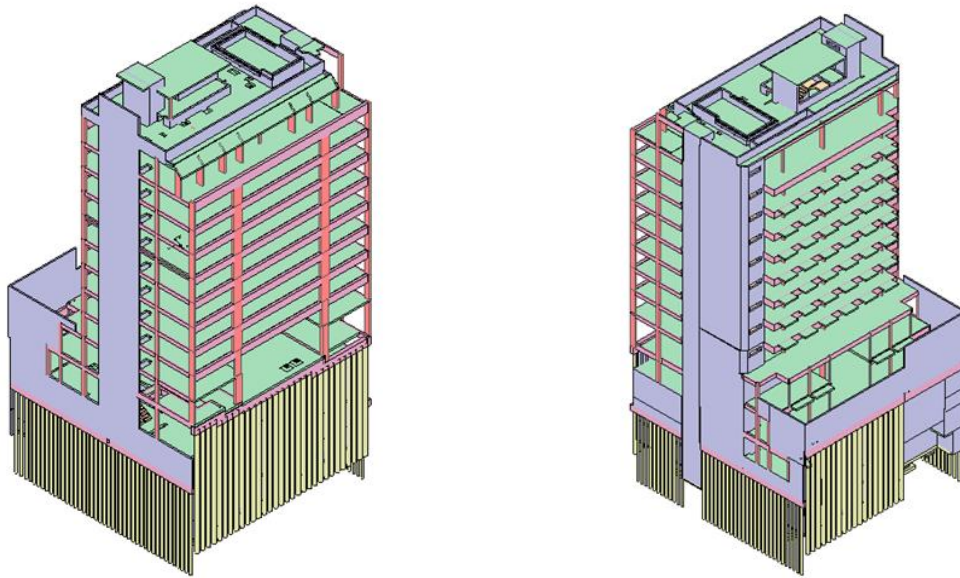


Figura 11- Modelo Revit. (A400/Buildgest)

5.2. APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

5.2.1. EXPORTAÇÃO DO MODELO PARA O SOFTWARE

Para exportar um modelo do Revit para o software, existem dois métodos principais que podem ser utilizados: a exportação em formato IFC e a exportação através de um add-in específico para o Bexel Manager.

A exportação do modelo no formato IFC é um método que já foi mencionado no capítulo dois. O formato IFC é um padrão aberto de dados que facilita a interoperabilidade entre diferentes softwares de BIM. No Revit, para exportar um modelo no formato IFC, deve-se aceder ao menu "Arquivo", seleccionar a opção "Exportar" e, em seguida, escolher a opção "IFC". Este método é amplamente utilizado porque o formato IFC é reconhecido por muitos softwares de BIM, permitindo uma troca de informações eficiente e precisa.

O segundo método envolve a utilização de um add-in específico para o Bexel Manager, desenvolvido pela própria empresa que criou o software. Este add-in permite exportar o modelo no formato BX3, que é otimizado para utilização no Bexel Manager. Após transferir e instalar o add-in, este ficará disponível na aba "Suplementos" do Revit (Figura 12). Para realizar a exportação utilizando este add-in, deve-se aceder à aba "Suplementos" no Revit e seleccionar a opção "Publish to BX3". Na janela de publicação que se abre, pode-se seleccionar os documentos a serem exportados, escolhendo entre todos os documentos, apenas o documento ativo ou documentos específicos (Figura 13).

Este método de exportação através do add-in é especialmente vantajoso para utilizadores do Bexel Manager, pois o formato BX3 é compatível diretamente com o software, permitindo uma integração mais suave e rápida dos modelos exportados. Assim, ao escolher entre os métodos de exportação, deve-se considerar os requisitos do projeto e a compatibilidade dos formatos de arquivo com o software de destino.

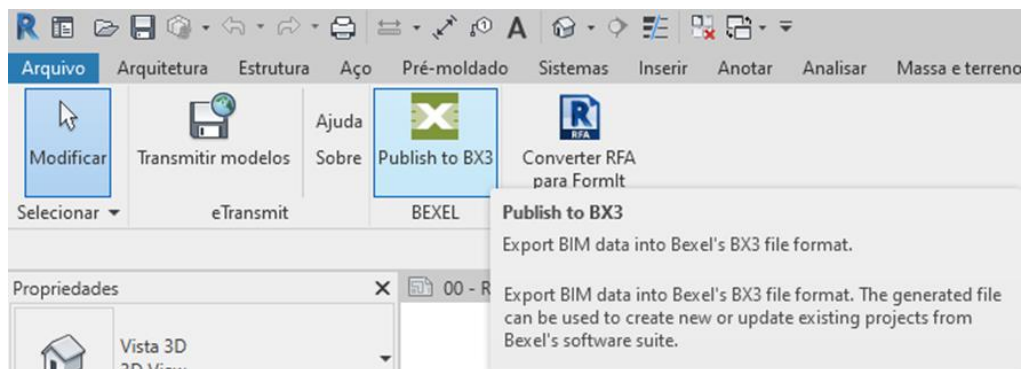


Figura 12- Suplementos do Revit

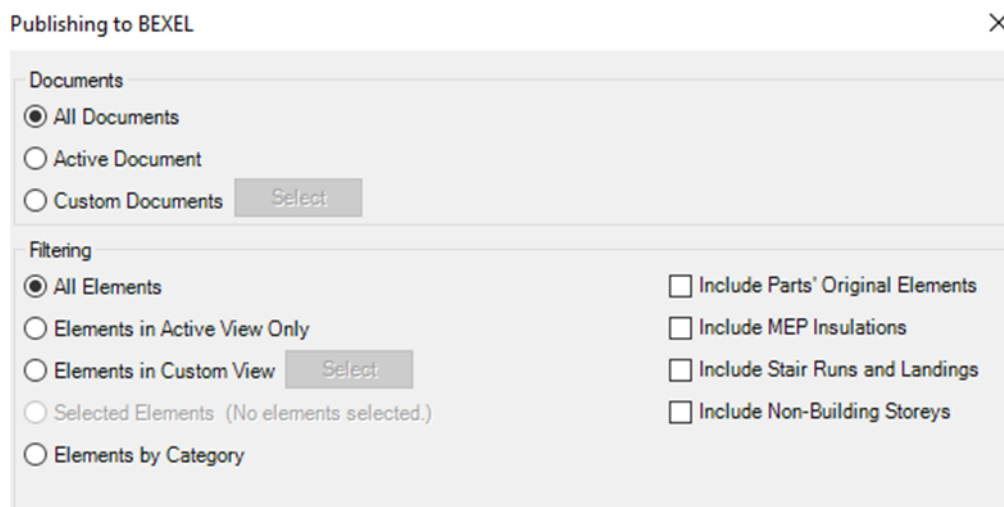


Figura 13- Janela de exportação do add in.

Após a exportação do ficheiro BX3, este foi aberto no Bexel Manager, onde é possível ver, na figura 14, o modelo estrutural do edifício. Nota-se também a organização de todos os elementos, estando estes separados por grupos distintos, como se pode observar no quadrado vermelho presente na figura.

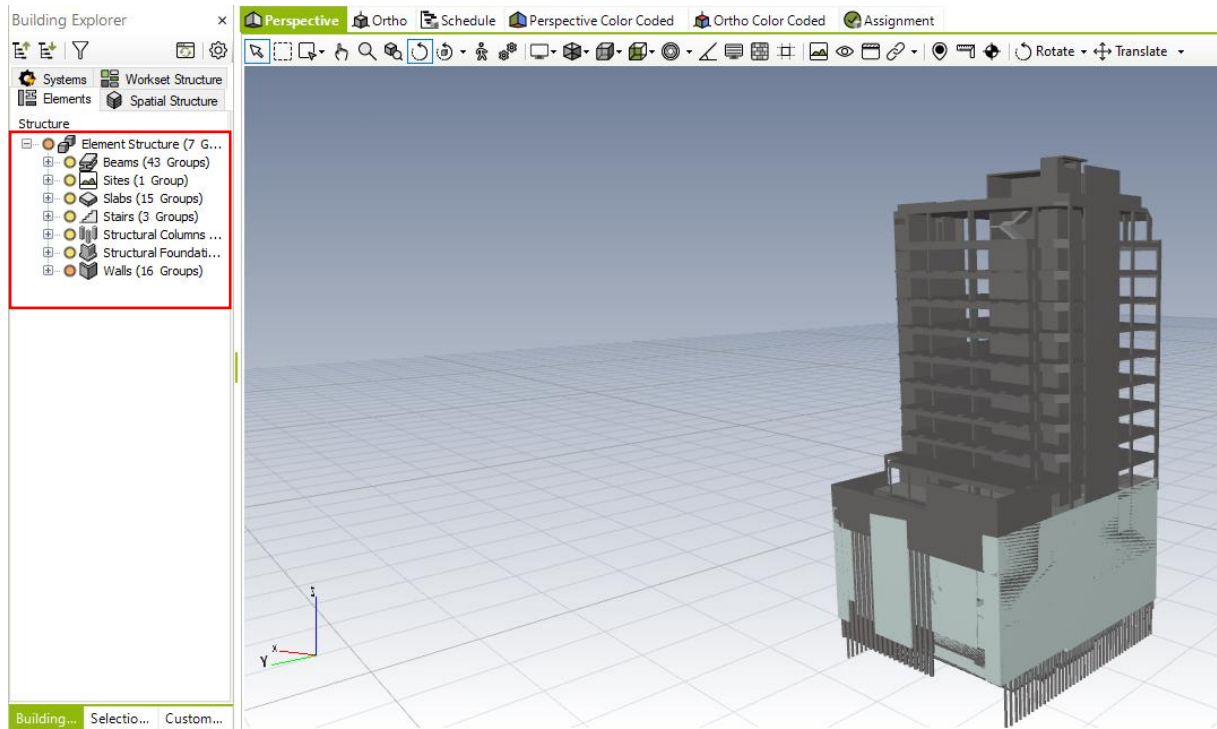


Figura 14- Interface do Bexel Manager

5.2.2. VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO MODELO

A verificação da qualidade do modelo em projetos de construção é uma etapa essencial para garantir a precisão e a confiabilidade das informações, prevenindo erros durante a execução do projeto. O Bexel Manager é uma ferramenta poderosa para realizar essa verificação, proporcionando uma análise detalhada e automatizada das colisões (clash detection) e do Nível de Desenvolvimento (LOD). Conforme explicado no capítulo anterior, o nível de desenvolvimento deste projeto é o LOD 300, que não inclui a modelação das armaduras e cofragens.

Para realizar a "clash detection" no Bexel Manager, segue-se um procedimento específico: primeiro, selecionam-se os grupos de elementos que serão verificados. Em seguida, define-se o tipo de colisão a ser analisada e a tolerância permitida. O software realiza a análise, identificando e listando as colisões encontradas. O utilizador pode então rever cada colisão individualmente ou visualizar um resumo das colisões em forma de matriz, facilitando a identificação e a resolução dos problemas.

Optar pelo Bexel Manager para a deteção de colisões oferece várias vantagens, o Bexel Manager realiza a análise de colisões de forma rápida e eficiente, como demonstrado pelo tempo de execução de 3.046 segundos para identificar 924 colisões (Figura 15). Além disso, o software possui uma interface intuitiva que facilita a configuração e execução da deteção de colisões. O Bexel Manager oferece também ferramentas avançadas para a análise e resolução de colisões, proporcionando uma visão detalhada das áreas problemáticas. Ademais, permite a integração de dados de várias disciplinas, melhorando a coordenação e comunicação entre as equipas envolvidas no projeto.

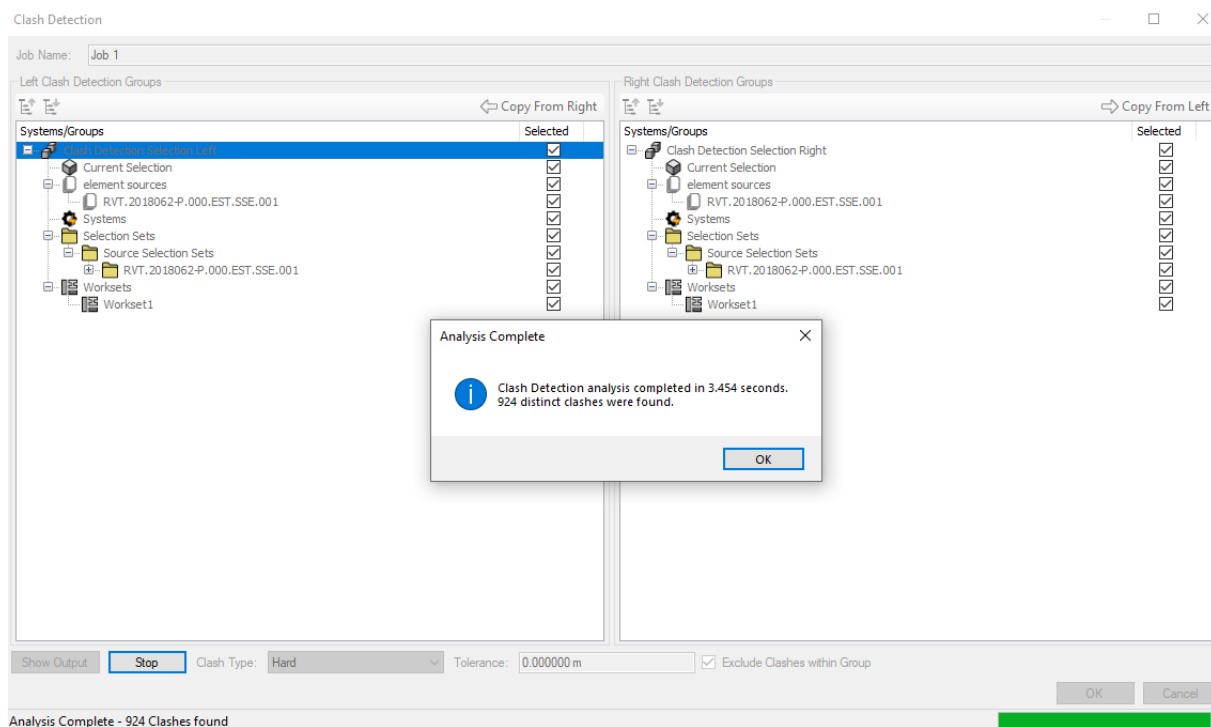


Figura 15- Verificação de colisões no modelo

A análise de deteção de colisões realizada no Bexel Manager resultou na identificação de 924 colisões distintas, conforme ilustrado na figura 15. Esta análise é essencial para identificar e resolver conflitos que podem surgir entre os diferentes elementos do modelo, como vigas e paredes. Na figura 16, é visível uma colisão específica entre uma viga localizada no piso -3 e uma parede no piso -2, onde ambos os elementos estão destacados a vermelho e verde, respetivamente.

Esta colisão ocorre devido ao facto de a parede estar mal colocada, invadindo o espaço destinado à viga. Se esta colisão não for resolvida, pode afetar a extração de quantidades, pois a área onde ocorre a interseção pode ser contabilizada duas vezes, uma para a parede e outra para a viga. Isso pode levar a erros significativos nas estimativas de material e custos, impactando negativamente o orçamento e o cronograma do projeto.

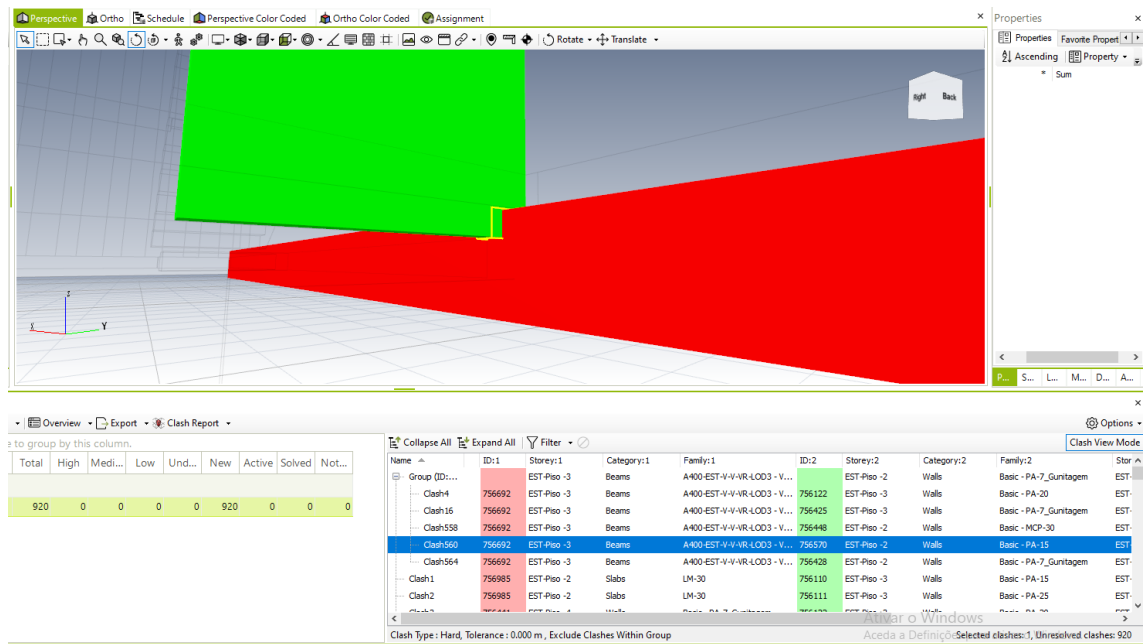


Figura 16- Visualização de colisões parede-viga

Cada linha na tabela representa uma colisão específica, detalhando os elementos envolvidos e suas respectivas categorias. É importante salientar que nem todas as colisões podem ser resolvidas imediatamente. A elevada quantidade de conflitos deve-se, em grande parte, a falhas na fase de projeto, refletindo possíveis inconsistências e falta de coordenação entre as diferentes disciplinas envolvidas. Além disso, limitações temporais e de recursos podem impedir a resolução de todas as colisões antes do início da construção.

Para comunicar esses problemas ao projetista de forma eficaz, recomenda-se uma abordagem clara e colaborativa. Deve-se apresentar um relatório detalhado das colisões, destacando as mais graves e propondo possíveis soluções. A comunicação deve ser aberta e contínua, incentivando o diálogo e a cooperação para resolver os problemas de forma eficiente. Desta forma, garante-se que as correções necessárias sejam implementadas e que o projeto possa prosseguir sem maiores interrupções.

O Bexel Manager facilita a comunicação de problemas de colisões entre elementos por meio de um arquivo BCF que pode ser exportado para o Revit (Figura 17). Isso permite que os projetistas visualizem todas as colisões compartilhadas diretamente no Revit, possibilitando a correção dos erros de modelagem do modelo. Este processo melhora significativamente a coordenação entre diferentes disciplinas, pois o BCF é um formato neutro que armazena informações sobre questões de coordenação, como descrições de problemas, comentários e instantâneos, sem incluir a geometria dos elementos do modelo.

Integrando o BCF Manager ao Bexel Manager, os usuários podem facilmente arrastar e soltar colisões, atribuí-las a membros da equipe e incluir comentários e propriedades adicionais promovendo uma colaboração eficaz, garantindo que todos os membros da equipe possam aceder e resolver problemas diretamente em suas ferramentas BIM.

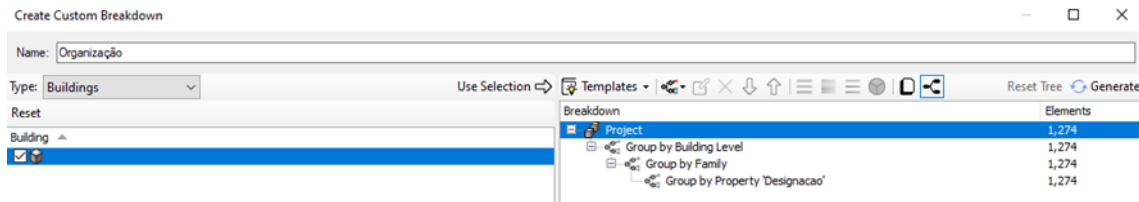


Figura 18- Criação "Custom breakdown"

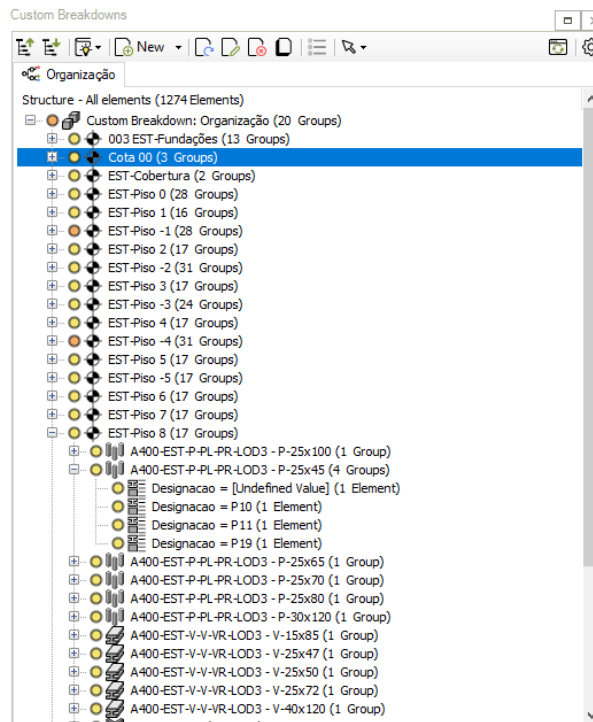


Figura 19- Custom Breakdown do modelo

Após a criação do "Custom Breakdown", a figura 19 mostra como os elementos foram organizados de acordo com a estrutura definida. Na interface do BEXEL Manager, é possível ver os 1.274 elementos do projeto divididos em 20 grupos principais, conforme a hierarquia estabelecida.

A organização começa com a divisão por "Building Level". Por exemplo, "Cota 00" representa um grupo de elementos situados no nível 0, e cada nível subsequente (como Cobertura, Piso 1, Piso 2, etc.) contém seus respectivos elementos. Dentro de cada "Building Level", os elementos são organizados por "Family". Esta categorização é visível nos grupos como "A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x100", que indicam uma família específica de pilares com determinada dimensão e nível de detalhamento (LOD 3).

Ao expandir esses grupos, observa-se a subdivisão pela propriedade "Designação". Esta divisão permite identificar elementos que possuem uma designação específica. No entanto, é notável que há um objeto sem valor atribuído para a "Designacao" ("[Undefined Value]"). Ao clicar neste elemento e isolá-lo, verificou-se que se trata de um pilar localizado no piso 8.

Este nível detalhado de organização facilita a identificação e o controle de elementos individuais, permitindo uma gestão mais eficiente do projeto. A visualização clara de grupos e subgrupos de

elementos com base em diferentes propriedades e categorias é essencial para o acompanhamento e a análise precisa no BEXEL Manager.

5.2.4. EXTRAÇÃO DAS QUANTIDADES DO MODELO

Como referido anteriormente, as armaduras e cofragens não estão modeladas no projeto. Deste modo, é necessário proceder à estimativa desses valores. Este processo inicia-se com a seleção de todos os elementos pilares, conforme ilustrado na Figura 20.

A seleção dos pilares é o primeiro passo para a determinação das quantidades de materiais necessários, uma vez que estes elementos estruturais são fundamentais no cálculo das armaduras e cofragens. A partir da identificação dos pilares no modelo, aplicam-se métodos e fórmulas específicas para estimar as quantidades dos materiais que não estão modelados. Esta abordagem assegura que, apesar da ausência de uma modelação detalhada, as quantidades estimadas sejam precisas e úteis para o planeamento e execução da obra.

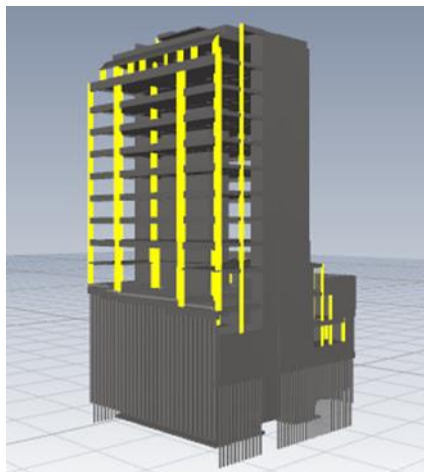


Figura 20- Seleção dos pilares do modelo

Como se pode observar na Figura 21, o próximo passo consiste na criação de uma nova propriedade no Bexel Manager. Esta etapa é essencial para definir parâmetros que serão utilizados na estimativa das quantidades de materiais necessários para os elementos estruturais, neste caso, os pilares.

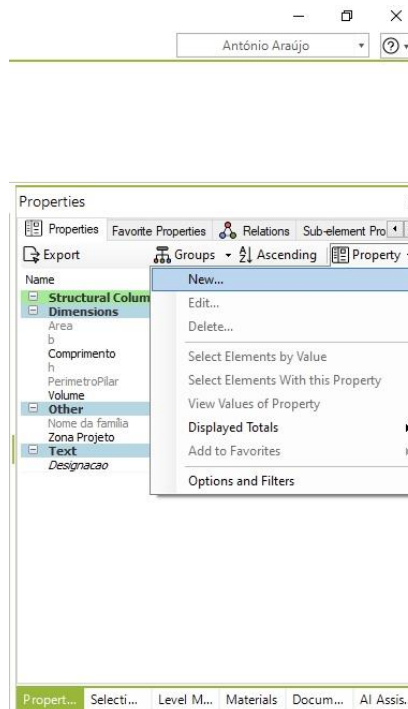


Figura 21- Criação de uma nova propriedade

Na Figura 22, apresenta-se a criação da propriedade denominada "Taxa de aço". Esta propriedade é configurada com um valor associado de 450 kg/m³, que será aplicado a todos os pilares do modelo. Ao definir esta propriedade, todos os elementos pilares passam a ter este valor de taxa de aço associado, permitindo uma estimativa precisa da quantidade de aço necessária para a armadura dos pilares.

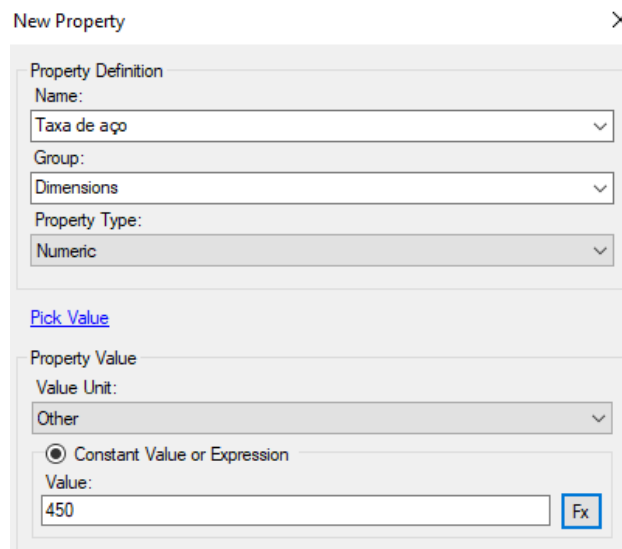


Figura 22- Atribuição da propriedade "Taxa de aço"

A tabela 8 apresentada fornece as taxas de aço em kg/m³ associadas a cada tipo de elemento estrutural. O valor de 450 kg/m³ utilizado para os pilares, como mostrado na criação da propriedade "Taxa de aço" na Figura 40, foi retirado desta tabela. Cada elemento, como lajes maciças, lajes de fundação, muros de suporte, escadas, núcleos, paredes e vigas, possui uma taxa de aço específica conforme indicado.

Estes valores foram estabelecidos de acordo com as especificações fornecidas pelo projetista da A400/Buildguest, garantindo a conformidade com os requisitos técnicos do projeto e a precisão nas estimativas de quantidades de materiais necessários para a construção

Tabela 8- Valores adotados de “Taxa de aço”

	Taxas de aço kg/m3
Laje maciça	180
Laja Fundação	180
Muros de suporte	150
Escadas	150
Nucleos	285
Paredes	240
Pilares	450
Vigas	220

A Figura 23 apresenta o Editor de Expressões, onde é necessário criar uma nova propriedade denominada "Quantidade de aço", cuja unidade de medida é o quilograma (kg). Conforme ilustrado na imagem, esta propriedade é definida pela expressão "Volume * Taxa de aço". Este cálculo visa determinar a quantidade total de aço em função do volume do elemento e da taxa de aço especificada.

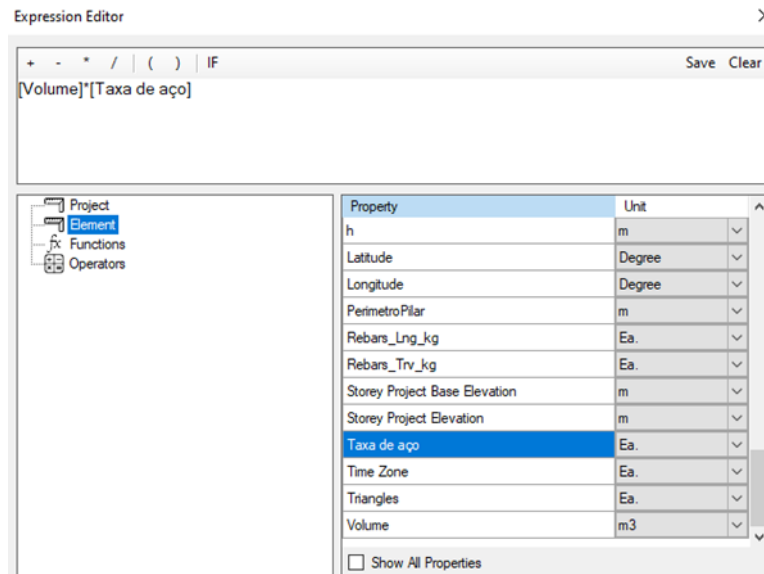


Figura 23-Editor de expressões

Na Figura 24, apresenta-se um processo semelhante ao da Figura 23, com a alteração da expressão de cálculo. Nesta figura, cria-se a propriedade denominada "Cofragem", cuja unidade de medida é expressa em metros quadrados (m²). A quantidade de cofragem é calculada através da expressão "Perímetro do Pilar * Comprimento". É importante destacar que esta expressão é específica para pilares. Para outros elementos estruturais, a expressão de cálculo da cofragem varia conforme as características específicas de cada elemento:

- Para vigas: $(b+2*h) * \text{Comprimento do corte}$
- Para lajes de fundação: $((\text{comprimento}/1\text{m}^2) * 2 + (\text{largura}/1\text{m}^2) * 2) * (\text{espessura}/1\text{m}^2)$
- Para muros de suporte, núcleos e paredes: $(\text{área} * 2)$
- Para escadas: $\text{n}^\circ \text{ de degraus} * \text{Área de cada degrau} + \text{Área lateral dos degraus}$

Figura 24- Atribuição da propriedade Cofragem

Depois de concluído o processo de atribuição das propriedades taxa de aço, quantidade de aço e cofragem, é realizada a extração de quantidades. Esta extração é organizada por categoria, como mostra a Figura 25, sendo a categoria referente aos pilares do modelo.

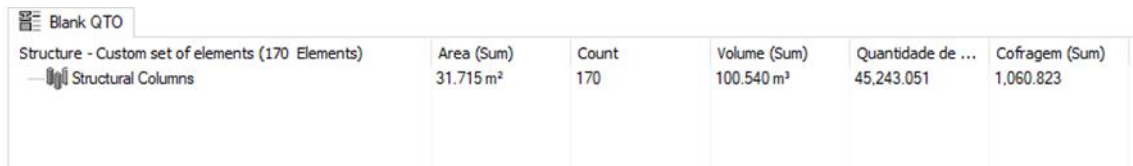
As quantidades necessárias para a extração incluem a área dos pilares, a contagem do número de pilares, o volume, a quantidade de aço em quilogramas por metro cúbico (kg/m^3) e a cofragem. Este processo permite uma análise detalhada e uma gestão eficiente dos recursos necessários para a construção.

Breakdown	Elements
Project	170
Group by Category	170
Structural Columns	170
Quantities	
Area (Sum)	
Count	
Volume (Sum)	
Quantidade de aço kg/m3 (Sum)	
Cofragem (Sum)	

Figura 25- Criação da extração de quantidades dos pilares

A extração de quantidades é apresentada em forma de tabela, conforme ilustrado na Figura 26. Nesta tabela, estão representadas as quantidades que pretendíamos, incluindo a área, a contagem do número de pilares, o volume, a quantidade de aço e a cofragem. Este método permite uma visualização clara e organizada dos dados essenciais.

O mesmo processo de extração é repetido para todos os outros elementos estruturais, assegurando uma análise abrangente e detalhada de cada componente do projeto. Desta forma, é possível garantir a precisão e a eficiência na gestão dos recursos necessários para a construção.



	Area (Sum)	Count	Volume (Sum)	Quantidade de ...	Cofragem (Sum)
Structure - Custom set of elements (170 Elements)					
— Structural Columns	31.715 m²	170	100.540 m³	45,243.051	1,060.823

Figura 26- Medição das quantidades

Este é um método alternativo para determinar a quantidade de aço dos elementos não modelados no Revit, consistindo na integração do projeto de estruturas com o modelo BIM, utilizando as propriedades geométricas dos pilares extraídas e as especificações fornecidas pelo projeto de estruturas. Primeiramente, devem-se extrair do modelo BIM no Revit as seguintes propriedades geométricas dos pilares: área da secção transversal ($A_{\text{seção}}$), perímetro do pilar (P_{pilar}), largura (b) e altura (h) do pilar.

Com base no projeto de estruturas, obtêm-se os seguintes parâmetros necessários para o cálculo da quantidade de aço: número de barras longitudinais (N_{barras}), área da secção transversal de uma barra (A_{barra}), e espaçamento dos estribos (S). Estes valores são definidos pelo engenheiro estrutural e especificados no projeto.

Para o cálculo da quantidade de aço longitudinal ($Q_{\text{aco,long}}$), utiliza-se a fórmula:

$$Q_{\text{aco,long}} = N_{\text{barras}} \times A_{\text{barra}} \times h$$

Considerando os valores estipulados no projeto:

- $N_{\text{barras}} = 8$
- $A_{\text{barra}} = 0,000314 \text{ m}^2$
- $h = 1,000 \text{ m}$

Obtém-se:

$$Q_{\text{aco,long}} = 8 \times 0,000314 \text{ m}^2 \times 1,000 \text{ m} = 0,002512 \text{ m}^3$$

Para o cálculo da quantidade de aço transversal ($Q_{\text{aco,trans}}$):

$$Q_{\text{aco,trans}} = ((P_{\text{pilar}} \times h) / S) \times A_{\text{estribo}}$$

Com os valores estipulados:

- $P_{\text{pilar}} = 2,500 \text{ m}$
- $S = 0,2 \text{ m}$
- $A_{\text{estribo}} = 0,000314 \text{ m}^2$

Obtém-se:

$$Q_{\text{aco,trans}} = ((2,500 \text{ m} \times 1,000 \text{ m}) / 0,2 \text{ m}) \times 0,000314 \text{ m}^2 = 0,003925 \text{ m}^3$$

A quantidade total de aço necessária ($Q_{\text{aco,total}}$) é a soma do aço longitudinal e transversal:

$$Q_{\text{aco,total}} = 0,002512 \text{ m}^3 + 0,003925 \text{ m}^3 = 0,006437 \text{ m}^3$$

Para converter o volume de aço em massa, utiliza-se a densidade do aço, aproximadamente 7850 kg/m^3 :

$$\text{Massa do aço} = Q_{\text{aco,total}} \times \text{Densidade do aço}$$

$$\text{Massa do aço} = 0,006437 \text{ m}^3 \times 7850 \text{ kg/m}^3 \approx 50,55 \text{ kg}$$

Este método, apesar de ser mais preciso, não será utilizado no modelo, uma vez que a grande variedade de dimensões dos pilares presentes (figura 27) requereria cálculos individuais para cada tipo de pilar e outros elementos estruturais, o que consumiria muito tempo. Por esta razão, optou-se pelo primeiro método que, embora menos preciso, é mais eficiente para a quantidade e diversidade de elementos estruturais no projeto.

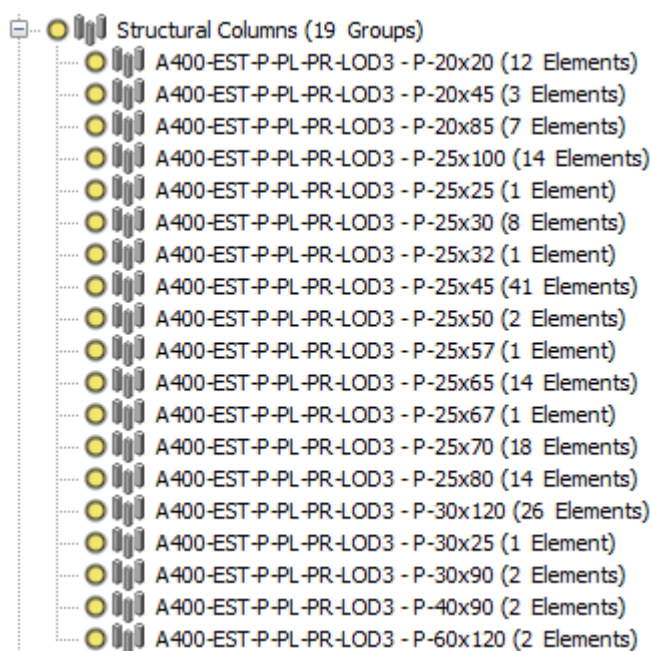


Figura 27- Pilares presentes no modelo

5.2.5. ASSOCIAÇÃO DE CUSTOS AOS ELEMENTOS

A associação de custos aos elementos do modelo é um passo crucial para garantir um bom controle financeiro no projeto. Depois de repetido o processo de extração de quantidades para todos os elementos estruturais, estas informações foram exportadas para uma tabela no Excel, onde foram comparadas com os valores do mapa de trabalhos e quantidades.

Nesta etapa, foram calculados os valores dos custos associados aos elementos por categoria, conforme ilustrado na tabela 9. Os custos de betão, cofragem e armadura foram somados e divididos pela quantidade de elementos presentes no modelo. Por exemplo, no caso dos pilares, o custo total foi dividido por 170.

Este procedimento é essencial, pois facilita a atribuição do preço unitário no próximo passo. Ao associar os custos diretamente aos elementos do modelo, é possível identificar de forma clara e objetiva as áreas onde os recursos estão a ser mais utilizados. Isso permite uma gestão financeira mais eficaz e um planeamento mais preciso do orçamento do projeto.

Tabela 9- Comparação das quantidades e preços do MTQ e do Bexel

			MTQ				Bexel Manager		€/n elementos
			Un.	Qt.	€/Un	Custo total	Qt.	Custo Total	
Lajes Maciças(LM)	Betão	m3		1621,22	121,71	197 318,69 €	1652,63	201 141,60 €	9 203,31 €
	Cofragem	m2		6761,55	24,54	165 928,44 €	6892,55	169 143,18 €	
	Armadura	kg		296753	1,88	557 895,64 €	297473,4	559 249,99 €	
lajes Fundação(LF)	Betão	m3		103,09	121,71	12 547,08 €	103,094	12 547,57 €	1 707,89 €
	Cofragem	m2		25,06	24,54	614,97 €	85,34	2 094,24 €	
	Armadura	kg		18517,01	1,88	34 811,98 €	18556,92	34 887,01 €	
Muros de Suporte(MS)	Betão	m3		49,47	121,1	5 990,82 €	58,7	7 108,57 €	3 427,44 €
	Cofragem	m2		473,03	24,54	11 608,16 €	572,12	14 039,82 €	
	Armadura	kg		7638,63	1,88	14 360,62 €	8805	16 553,40 €	
Nucleos (Nu)	Betão	m3		634,43	121,71	77 216,48 €	621,66	75 662,24 €	8 489,86 €
	Cofragem	m2		4997,7	24,54	122 643,56 €	5139,09	126 113,27 €	
	Armadura	kg		181276,11	1,88	340 799,09 €	177173,1	333 085,43 €	
Escadas(E)	Betão	m3		111,39	121,71	13 557,28 €	109,669	13 347,81 €	1 120,53 €
	Cofragem	m2		811,05	24,54	19 903,17 €	798,52	19 595,68 €	
	Armadura	kg		17444,3	1,88	32 795,28 €	16450,35	30 926,66 €	
Paredes(Pa)	Betão	m3		182,29	121,71	22 186,52 €	200,85	24 445,45 €	1 762,10 €
	Cofragem	m2		1536,76	24,54	37 712,09 €	1773,45	43 520,46 €	
	Armadura	kg		43972,51	1,88	82 668,32 €	48204	90 623,52 €	
Pilares(P)	Betão	m3		101,74	121,71	12 382,78 €	100,54	12 236,72 €	725,28 €
	Cofragem	m2		943,71	24,54	23 158,64 €	1059,68	26 004,55 €	
	Armadura	kg		45353,3	1,88	85 264,20 €	45243	85 056,84 €	
Vigas(V)	Betão	m3		171,93	121,71	20 925,60 €	152,829	18 600,82 €	729,17 €
	Cofragem	m2		1273,85	24,54	31 260,28 €	1568,97	38 502,52 €	
	Armadura	kg		37472,14	1,88	70 447,62 €	33622,38	63 210,07 €	

Após o cálculo dos preços unitários dos elementos estruturais, é necessário associá-los aos respetivos elementos através do menu "Cost Editor". Este processo utiliza a ferramenta "Creation Wizard", que organiza a informação através da extração de quantidades previamente criada. Como mostrado na Figura 27, é possível ver a atribuição dos custos unitários aos elementos pilares utilizando a ferramenta "Cost Editor". Esta ferramenta permite adicionar diferentes tipos de custos, como o custo suplementar de materiais, o custo suplementar de mão de obra, o custo suplementar de equipamentos, outros custos, e o custo de subempreiteiros.

Embora este processo traga vantagens significativas, como a capacidade de gerar estimativas detalhadas e imediatas do orçamento dos elementos estruturais, ele está suscetível a erros e é um processo moroso. Isso ocorre porque é necessário adicionar o preço a cada elemento de forma individual, o que demanda tempo e atenção aos detalhes para evitar imprecisões.

Apesar das dificuldades, este método oferece uma vantagem importante para as equipas de fiscalização. A atribuição detalhada de custos permite um acompanhamento mais rigoroso e transparente do orçamento, facilitando a identificação de desvios e a implementação de correções em tempo hábil. Além disso, a utilização de uma ferramenta como o "Cost Editor" promove uma gestão mais eficiente dos recursos, contribuindo para o sucesso geral do projeto.

Classification Editor Cost Item Definitions Resources				
New Classification Tese ▼ Rename ✎ Delete ✖ Define Code 🔑 Export 📤 Import 📥 Hide Assigned 🔍 Filter Applicable 🔍				
Collapse All 🔍 Expand All 🔍 Expand To Level 🔍 New ➕ Creation Wizard 🔧 Delete ✖ Edit ✎ Auto Assign 🔗 Assign 🔗 Check Applicable Elements 🔍 Select 🔍 Find It 🔍				
Code	Name	Cost Items Count	Item Type	Unit Cost
Enter text to search				
📁 A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x30	A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x30	2	Classification Item	
⚙️ A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x30.1	Designacao = P15		Cost Item	725,28 €
▶️ ⚙️ A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x30.2	Designacao = P17		Cost Item	725,28 €
📁 A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x45	A400-EST-P-PL-PR-LOD3 - P-25x45	2	Classification Item	

Figura 28- Atribuição de custos aos elementos no Bexel Manager

5.2.6. EXPORTAÇÃO DO PLANEAMENTO PARA O SOFTWARE

Para o planeamento da obra, utilizou-se o MS Project devido à sua ampla utilização e eficiência na criação de cronogramas (Figura 28). Embora o Bexel Manager também ofereça essa funcionalidade, a escolha do MS Project permitiu testar a interoperabilidade entre as duas ferramentas. O cronograma criado foi posteriormente importado para o Bexel Manager, onde as tarefas foram associadas ao modelo BIM através do Schedule Editor, integrando assim o planeamento e a execução da obra de forma eficaz.

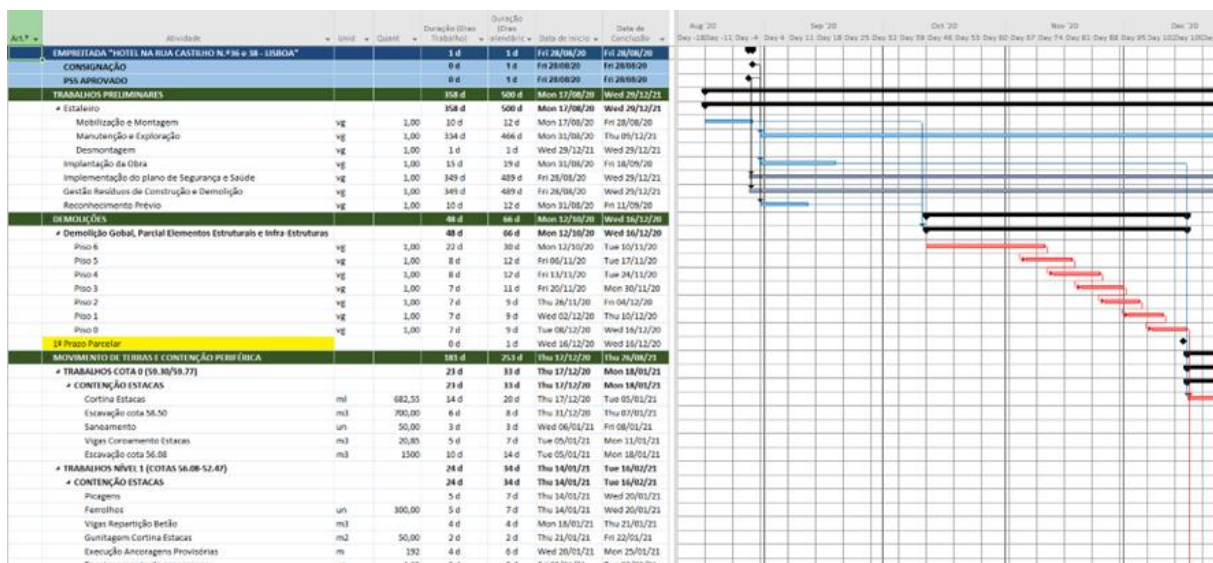


Figura 29- Planeamento da obra no MsProject

Após a importação do planeamento da obra para o software, apenas as informações relativas às tarefas e ao cronograma são disponibilizadas. A responsabilidade de vincular os componentes do modelo às tarefas para a conclusão do modelo BIM 4D/5D fica a cargo do utilizador. O processo foi demonstrado por meio da vinculação dos componentes do Piso 0.

Primeiramente, todos os componentes do Piso 0 foram definidos na Custom Breakdown. Em seguida, utilizou-se a função "New Direct Link" para ligar automaticamente as tarefas aos elementos seleccionados (Figura 29). Este procedimento deve ser repetido para os restantes pisos, garantindo que cada tarefa está corretamente associada aos elementos correspondentes em cada nível do modelo.

Após a realização desta ligação, a coluna de custo total, que inicialmente se encontrava vazia, será completado com o valor estimado para as tarefas associadas ao piso 0, pois os elementos do modelo já tinham valores definidos no Cost Editor.

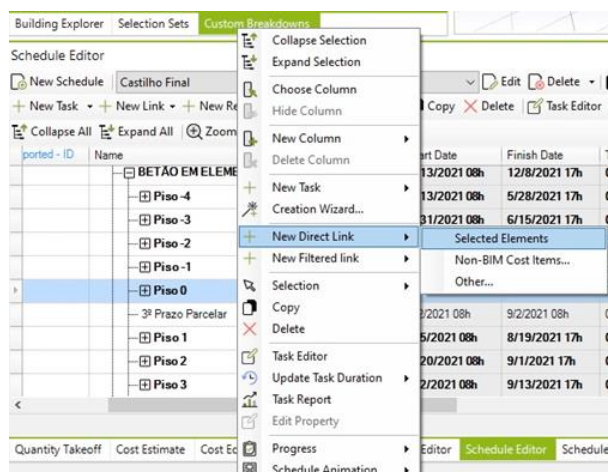


Figura 30- Associação das tarefas aos elementos

A figura 30 mostra a tabela do planeamento completa, onde foram associadas todas as tarefas do planeamento aos elementos modelados. Para tarefas que não possuem elementos específicos no modelo, como "Estaleiro", "Demolições" e "Movimentos de Terra", foram atribuídos valores usando a funcionalidade do BEXEL que permite associar custos a estas atividades. Estes custos foram determinados de acordo com o Manual de Trabalhos Quantitativos (MTQ).

Assim, foi possível atribuir um custo a todas as tarefas descritas no planeamento, permitindo agora observar na coluna "Total Cost" os custos totais previstos para esta obra. Esta abordagem garante que todas as fases do projeto estão devidamente contabilizadas, facilitando a gestão financeira e o controle orçamental por parte da equipa de fiscalização da A400/Buildgest.

Schedule Editor						
New Schedule Castilho tese Edit Delete Duplicate Export Import						
+ New Task + New Link + New Relation Creation Wizard... Copy Delete Task Editor Update Task Duration Task Report						
Collapse All Expand All Zoom In Zoom Out Scale To Fit						
Row Index	Imported - ID	Name	Duration (Days)	Start Date	Finish Date	Total Cost
1	N/A	Untitled : CASTILHOO	358 wd	8/17/2020 08h	12/29/2021 17h	2 840 131,87 €
11	1	EMPREITADA "HOTEL NA R...	1 wd	8/28/2020 08h	8/28/2020 17h	0,00 €
2	4	TRABALHOS PRELIMINARE...	358 wd	8/17/2020 08h	12/29/2021 17h	408 583,31 €
14	13	DEMOLIÇÕES	48 wd	10/12/2020 08h	12/16/2020 17h	283 816,33 €
23	22	1º Prazo Parcelar	0 wd	12/16/2020 08h	12/16/2020 08h	0,00 €
24	23	MOVIMENTO DE TERRAS E...	181 wd	12/17/2020 08h	8/26/2021 17h	570 434,12 €
78	77	ESTRUTURAS E FUNDAÇÕ...	180 wd	4/22/2021 08h	12/29/2021 17h	1 577 298,11 €
79	78	MOVIMENTO DE TERRAS	4 wd	4/22/2021 08h	4/27/2021 17h	5 631,29 €
81	80	FUNDAÇÕES	17 wd	4/27/2021 08h	5/19/2021 17h	57 603,10 €
86	85	BETÃO EM ELEMENTOS...	150 wd	5/13/2021 08h	12/8/2021 17h	1 444 610,25 €

Figura 31- Custos totais previstos

O modelo do caso de estudo está agora finalizado e pronto para ser utilizado pela equipa de fiscalização. Com este modelo, desenvolvido com o Bexel Manager, a equipa de fiscalização tem à sua disposição uma poderosa ferramenta para visualizar, analisar e otimizar diversos aspetos do projeto de construção. Este modelo detalhado permite uma abordagem mais eficaz na gestão do projeto, ajudando a identificar potenciais problemas e a implementar soluções de forma antecipada.

Com o modelo BIM 4D/5D concluído, a equipa de fiscalização pode realizar várias atividades essenciais:

- **Planeamento e Programação (4D BIM):** A integração da dimensão temporal ao modelo BIM permite visualizar a sequência de construção ao longo do cronograma do projeto. Através de gráficos de Gantt e linhas de balanço, é possível simular o progresso da construção, identificar atividades críticas e ajustar a programação para evitar conflitos e atrasos. Isso ajuda a otimizar o cronograma do projeto e a assegurar que todas as etapas sejam concluídas conforme planeado.
- **Gestão de Custos (5D BIM):** A dimensão de custo incorporada no modelo possibilita a extração de gráficos de orçamento detalhados. Estes gráficos mostram a distribuição de custos ao longo do tempo e ajudam a identificar áreas onde podem ocorrer economias ou excessos. A geração de relatórios financeiros auxilia na gestão e previsão de custos durante todo o ciclo de vida do projeto, permitindo uma gestão orçamental rigorosa e transparente. Isso garante que o projeto se mantenha dentro do orçamento previsto e que os recursos financeiros sejam utilizados de forma eficiente.
- **Monitorização de Progresso:** Na próxima fase, a monitorização de progresso será realizada com as funcionalidades de simulação em tempo real do Bexel Manager. Esta monitorização permitirá à equipa de fiscalização acompanhar avanço da construção em comparação com o planeado. A deteção precoce de desvios e a tomada de decisões corretivas rápidas serão facilitadas, assegurando que o projeto se mantenha dentro dos prazos estabelecidos. Isso contribui para uma gestão mais proativa e eficaz do projeto.
- **Visualização e Comunicação:** O Bexel Manager permite criar animações do cronograma de construção, proporcionando uma visualização clara da evolução do projeto. Estas visualizações são extremamente úteis para comunicar o progresso e o planeamento a todas as partes

interessadas, garantindo uma compreensão comum do estado do projeto. Isso facilita a colaboração e a tomada de decisões informadas por todos os envolvidos no projeto.

5.2.7. EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÃO DO BEXEL MANAGER

A extração de informação do Bexel Manager é fundamental para a administração eficaz de projetos de construção com modelos BIM 4D/5D. A integração das dimensões de tempo e custo permite uma análise detalhada do cronograma e orçamento do projeto, oferecendo à equipa de fiscalização uma visão completa e atualizada do progresso da obra.

A Figura 31 apresenta um diagrama de Gantt, uma ferramenta crucial para o planeamento e controlo de projetos. Este diagrama mostra a sequência de atividades e suas durações, permitindo visualizar o cronograma completo. No Bexel Manager, este diagrama é gerado automaticamente a partir do modelo BIM 4D. Para obter esta imagem, a equipa deve importar o cronograma do projeto e associá-lo aos elementos do modelo BIM, facilitando a identificação de atividades críticas e ajustes necessários para evitar atrasos.

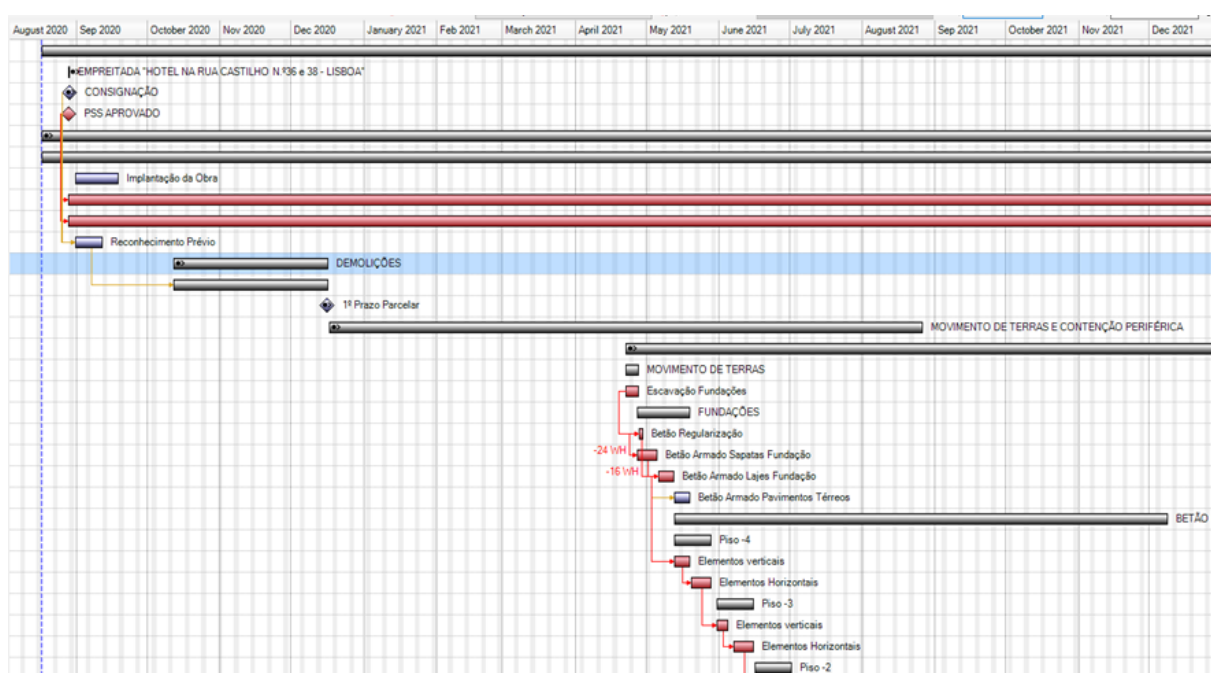


Figura 32- Diagrama de Gantt do caso de estudo

O Anexo A.1 mostra as linhas de balanço, especificamente dos elementos estruturais verticais e horizontais, que permitem analisar a produção de atividades ao longo do tempo e do espaço. No Bexel Manager, estas linhas são criadas a partir da associação de atividades a locais específicos do projeto. Para gerar este gráfico, a equipa define as atividades e os locais no modelo BIM.

O gráfico do Anexo A.1 está bem construído, representando de forma clara e precisa os elementos estruturais verticais e horizontais do projeto. As linhas de balanço foram automatizadas para refletir a progressão de cada atividade de construção em relação ao tempo e ao espaço, proporcionando uma visualização eficiente do andamento das obras.

As linhas verticais no gráfico indicam a construção de elementos estruturais verticais, como pilares enquanto as linhas horizontais representam a construção de elementos horizontais, como vigas e lajes. Esta distinção é crucial para a equipa de fiscalização, pois permite uma análise detalhada e segmentada

de diferentes componentes estruturais, assegurando que cada parte do projeto está sendo executada conforme o planejado.

O alinhamento e a inclinação das linhas permitem identificar possíveis conflitos e ajustar a programação para evitar atrasos. Linhas que se cruzam ou que apresentam inclinações divergentes indicam áreas onde pode haver sobreposição de atividades ou problemas de sincronização, permitindo que a equipa de fiscalização intervenha prontamente para corrigir esses descompassos.

Além disso, a automatização das linhas de balanço no Bexel Manager facilita a atualização contínua do progresso das atividades. À medida que os dados são inseridos no modelo BIM, as linhas de balanço são automaticamente ajustadas, garantindo que a equipa de fiscalização sempre tenha acesso à informação mais atualizada. Isso permite uma monitorização constante e precisa do andamento das obras, ajudando a identificar e resolver problemas antes que eles causem atrasos significativos.

A Figura 32 apresenta os custos previstos para cada mês ao longo da duração do projeto, fornecendo uma visão detalhada e temporal da distribuição financeira. Esta figura é de extrema importância para a equipa de fiscalização, pois permite um acompanhamento rigoroso e contínuo dos gastos previstos, facilitando a comparação com os custos reais incorridos ao longo da obra.

No gráfico, cada barra vertical representa os custos planejados para um mês específico, abrangendo diversas atividades previstas no cronograma do projeto. A altura de cada barra reflete o montante financeiro alocado, sendo possível identificar claramente os períodos de maior investimento financeiro. Esses períodos geralmente correspondem a fases críticas do projeto, como a execução de fundações, construção de estruturas principais, e etapas significativas de acabamentos e instalações.

Ao analisar esta figura, a equipa de fiscalização pode verificar se os recursos financeiros estão a ser distribuídos de maneira eficiente e conforme o planejado. Além disso, a identificação de picos de investimento pode ajudar na coordenação e preparação logística, garantindo que todos os recursos e mão de obra requeridos estão disponíveis quando os gastos são mais elevados.

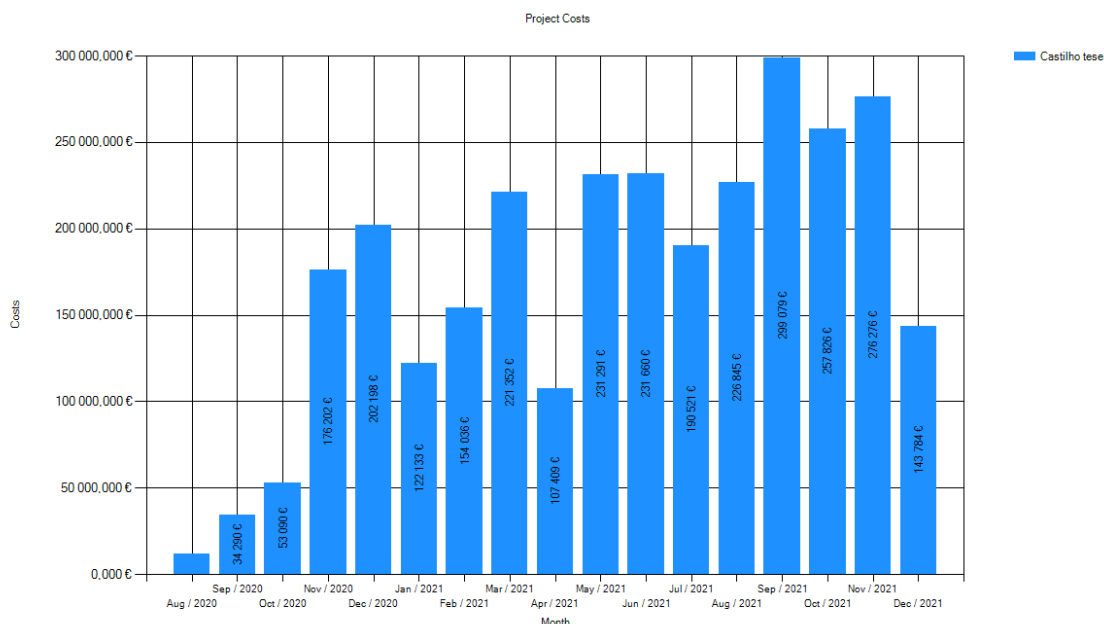


Figura 33- Custos previstos para cada mês de obra

A Figura 33 apresenta os custos acumulativos da obra, oferecendo uma visão abrangente e contínua da evolução financeira do projeto desde o início até a conclusão prevista. Esta figura é essencial para a

equipa de fiscalização, pois permite avaliar o progresso financeiro acumulado em relação ao orçamento total do projeto.

O gráfico de custos acumulativos é representado por uma linha crescente que ilustra o acúmulo de despesas ao longo do tempo. A inclinação da linha fornece informações sobre a taxa de gasto em diferentes períodos do projeto. Um aumento acentuado na inclinação indica um período de alta despesa, enquanto uma inclinação mais suave pode sugerir um ritmo de gasto mais estável ou até mesmo uma desaceleração nos investimentos.

A análise dos custos acumulativos permite à equipa de fiscalização identificar qualquer desvio em relação ao orçamento planeado. Se a linha dos custos acumulativos se afastar significativamente da linha projetada, isso pode indicar problemas de sobrecusto que necessitam de intervenção imediata para evitar impactos financeiros negativos no projeto. Além disso, a análise contínua dos custos acumulativos ajuda a assegurar que os fundos estão a ser utilizados de forma eficaz e que o projeto está a avançar conforme o planeado.

Em resumo, as Figuras 32 e 33 são ferramentas visuais cruciais que fornecem uma análise detalhada dos custos previstos e acumulativos da obra. Através destas figuras, a equipa de fiscalização pode monitorizar e ajustar a gestão financeira do projeto, garantindo que os recursos estão a ser utilizados de forma eficiente e que o projeto se mantém dentro do orçamento estipulado.

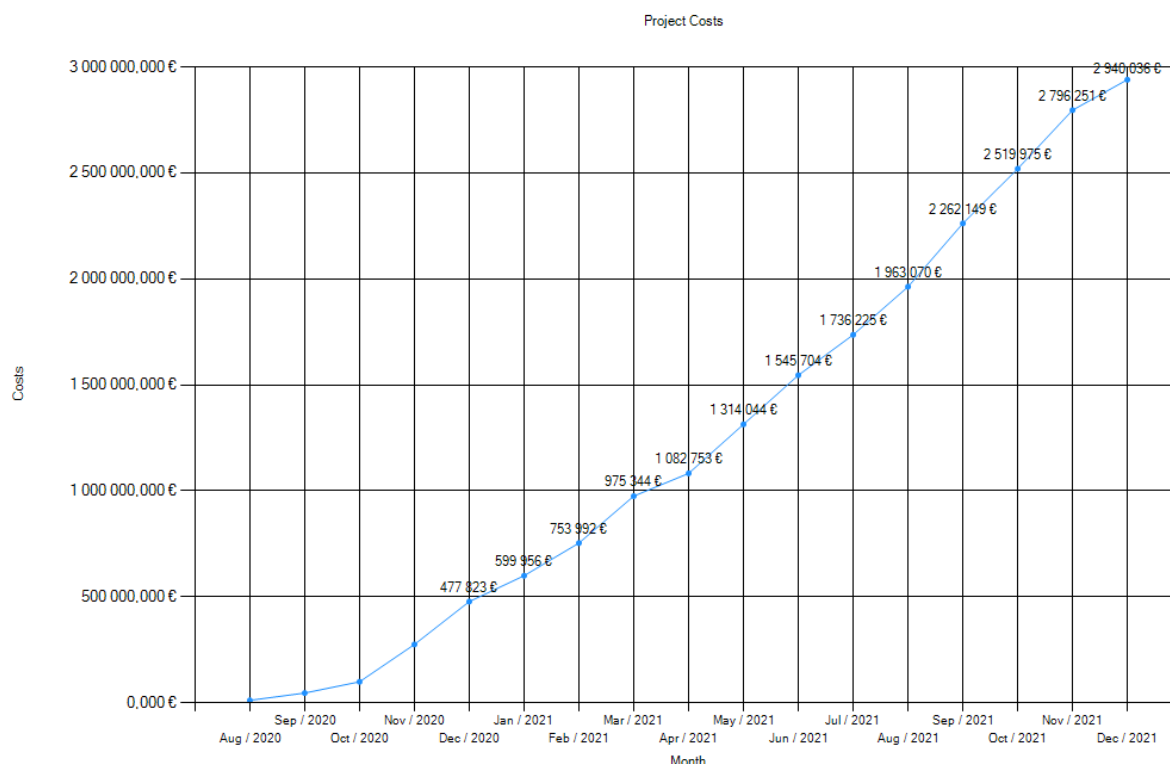


Figura 34- Custos acumulativos da obra

A integração das informações dos autos de medição no Bexel Manager permite um controlo eficiente dos custos e prazos de um projeto de construção. Com esta ferramenta, é possível verificar a existência de atrasos na obra e avaliar como esses atrasos podem influenciar o progresso restante do projeto. O Bexel Manager facilita a extração de gráficos Gantt e de linhas de balanço atualizados, proporcionando uma visualização clara e precisa do cronograma e da sequência das atividades. Estes gráficos são essenciais para a equipa de fiscalização determinar os melhores procedimentos para o controlo dos

prazos. No entanto, devido ao prazo de entrega apertado, não foi possível utilizar os autos de medição neste caso.

Além disso, o Bexel Manager permite a extração de gráficos detalhados, como os ilustrados nas figuras 32 e 33, para o controlo de custos. Esses gráficos possibilitam uma comparação constante entre os custos previstos e os reais, permitindo à equipa de fiscalização identificar se o projeto está acima ou abaixo do orçamento estipulado. Esta análise contínua é fundamental para ajustar o orçamento final da obra e garantir uma gestão financeira precisa.

Desta forma, o Bexel Manager não só melhora a eficiência na gestão de prazos e custos, mas também fornece uma visão abrangente e detalhada do projeto, ajudando a equipa de fiscalização a tomar decisões informadas e a manter o projeto dentro dos parâmetros estabelecidos. A capacidade de gerar gráficos atualizados e detalhados facilita a monitorização do andamento das obras e a identificação de desvios, permitindo intervenções rápidas e eficazes para garantir o sucesso do projeto.

5.3. ANÁLISE DO SUCESSO DA APLICAÇÃO DO CAPÍTULO 4 NA OBRA

A aplicação das sete fases descritas no capítulo 4 na obra, conforme documentado no capítulo 5, revela um processo detalhado e eficaz que garantiu a gestão eficiente dos prazos e custos no projeto de construção. Cada fase contribuiu de forma significativa para o sucesso do projeto, desde a preparação inicial até à análise final dos dados.

Na primeira fase, a exportação do modelo BIM, desenvolvido no Revit, para o Bexel Manager foi executada com precisão. Utilizando um ficheiro IFC e um add-in específico, todos os elementos estruturais e suas propriedades foram transferidos com sucesso para o Bexel Manager. Esta transição inicial foi crucial para garantir que o modelo estivesse disponível para as fases subsequentes, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento do projeto.

A segunda fase envolveu a verificação da qualidade do modelo. Neste estágio, o Bexel Manager foi utilizado para realizar uma análise de "clash detection" e verificar o Nível de Desenvolvimento (LOD) do modelo. Esta verificação permitiu identificar e corrigir conflitos e inconsistências, assegurando que o modelo estivesse em conformidade com os requisitos técnicos e de construção. A precisão desta análise melhorou significativamente a fiabilidade do modelo, reduzindo o risco de problemas durante a execução da obra.

Na terceira fase, a identificação dos elementos modelados foi realizada. O Bexel Manager facilitou a categorização e organização de todos os componentes do projeto, incluindo elementos como armaduras e cofragens que não estavam modelados inicialmente. Esta etapa foi essencial para garantir que todos os elementos necessários fossem contabilizados, proporcionando uma visão completa e detalhada do projeto.

A quarta fase consistiu na extração das quantidades do modelo. Utilizando as funcionalidades avançadas do Bexel Manager, foi possível extrair quantidades precisas de todos os materiais e componentes necessários para a construção. Esta informação detalhada permitiu uma estimativa de custos mais precisa e um planeamento eficiente dos recursos, contribuindo para a otimização do orçamento e a redução de desperdícios. Além disso, a proposta de extração de quantidades dos elementos não modelados, como armaduras e cofragens, foi realizada com sucesso. Este procedimento garantiu que todas as quantidades necessárias fossem contabilizadas, mesmo para elementos que não estavam representados no modelo inicial.

Na quinta fase, os custos foram associados aos elementos do modelo através do "Cost Editor" do Bexel Manager. Esta associação permitiu um controlo financeiro rigoroso, integrando custos diretamente com os componentes do BIM. Esta abordagem facilitou a monitorização contínua dos gastos, assegurando que o projeto se mantivesse dentro dos limites orçamentários estabelecidos e permitindo ajustes financeiros rápidos quando necessário. As quantidades extraídas do modelo foram comparadas ao mapa de trabalhos e quantidades (MTQ) para verificar a precisão das estimativas. Observou-se que as quantidades extraídas do Bexel Manager eram bastante semelhantes às do MTQ. No entanto, as colisões identificadas no modelo influenciaram ligeiramente as quantidades. É provável que, se o modelo não tivesse colisões, as quantidades extraídas poderiam ser exatamente iguais às do MTQ, destacando a importância de um modelo bem coordenado para a precisão das estimativas.

A sexta fase envolveu a exportação do planeamento para o Bexel Manager. Este processo permitiu alinhar o cronograma da construção, criado no MS Project, com o modelo BIM. A integração do cronograma no Bexel Manager possibilitou uma visualização 4D do projeto, combinando as dimensões temporais e espaciais. Esta visualização foi fundamental para otimizar a sequência de atividades, identificar tarefas críticas e prever potenciais atrasos, contribuindo para uma gestão eficiente do tempo.

Finalmente, na sétima fase, foi realizada a extração de informações detalhadas do Bexel Manager. Embora a atualização prática de gráficos Gantt e de linhas de balanço não tenha sido realizada no capítulo 5, a possibilidade desta funcionalidade foi destacada. A capacidade de gerar gráficos atualizados a partir dos autos de medição oferece uma ferramenta poderosa para a equipa de fiscalização. Esta funcionalidade permite uma análise contínua do progresso do projeto e dos custos, facilitando a comparação entre os valores reais e os previstos e assegurando uma gestão financeira precisa.

Em conclusão, a aplicação das sete fases descritas no capítulo 4 demonstrou-se um sucesso na obra do caso de estudo documentado no capítulo 5. Cada fase foi executada com rigor, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo BIM integrado e eficiente. A metodologia adotada não só melhorou a precisão no controlo dos prazos e custos, como também proporcionou uma visão abrangente e detalhada do projeto. A utilização do Bexel Manager revelou-se uma ferramenta indispensável para a equipa de fiscalização, promovendo maior eficiência, transparência e precisão na gestão de empreitadas.

6

Conclusões e trabalho futuro

6.1 CONCLUSÕES GERAIS

A digitalização tem desempenhado um papel fundamental na modernização e otimização dos processos no setor da construção civil. Com a introdução de tecnologias avançadas como o Building Information Modeling (BIM), as empresas de construção têm conseguido alcançar um nível sem precedentes de eficiência e precisão na gestão de projetos. Estas ferramentas digitais proporcionam uma visão detalhada e em tempo real do avanço das obras, permitindo uma melhor coordenação e comunicação entre todos os envolvidos, desde arquitetos e engenheiros até os construtores e clientes.

A utilização de métodos digitais traz inúmeros benefícios, entre os quais se destaca a melhoria da comunicação. As plataformas digitais facilitam o compartilhamento imediato de informações e dados entre os diversos intervenientes nos projetos, o que reduz significativamente os erros e atrasos. Além disso, a capacidade de simular diferentes cenários de construção ajuda a prever e mitigar problemas antes que eles ocorram, aumentando a segurança e a qualidade das obras. Estas simulações permitem uma gestão mais eficiente dos recursos e uma utilização mais sustentável dos materiais, alinhando-se com as crescentes demandas por construções ecológicas e sustentáveis.

Um dos avanços mais notáveis na digitalização da construção é a adoção do BIM. Este modelo integra diversos aspetos de um projeto num único sistema, facilitando a coordenação entre as várias disciplinas envolvidas. A implementação do BIM tem demonstrado ser altamente vantajosa não só pela precisão que traz aos projetos, mas também pela sua capacidade de melhorar a gestão de custos e prazos. Ao incorporar informações tridimensionais com dados de cronogramas e orçamentos, o BIM permite um planeamento e controlo mais eficazes das obras. Estudos de caso têm mostrado que a utilização do BIM resulta em economias significativas de tempo e custos, além de melhorar a qualidade geral dos projetos.

Além do BIM, existem outras ferramentas digitais que se têm mostrado essenciais no controlo financeiro das obras. O software Bexel Manager, usado nesta dissertação, permite a criação de modelos 4D/5D que interligam elementos 3D com informações de custos e tarefas. Este software facilita o acompanhamento detalhado do progresso da obra, fornecendo análises orçamentais precisas e ajudando a manter os projetos dentro dos orçamentos estabelecidos. Ferramentas como estas, que oferecem gráficos e diagramas de fácil compreensão, são fundamentais para uma gestão eficaz dos projetos.

A digitalização também tem promovido práticas mais sustentáveis na construção. A otimização do uso de materiais e recursos facilitada pelas ferramentas digitais contribui para a redução de desperdícios e para a promoção da reutilização de materiais. Isto é particularmente importante num contexto em que as preocupações ambientais estão cada vez mais presentes nas políticas e práticas da indústria da construção.

Ao longo desta dissertação, a análise e a aplicação prática das tecnologias digitais foram discutidas em detalhes, permitindo a fundamentação das conclusões com referência aos capítulos anteriores.

No Capítulo 1, foi estabelecida a problemática central do estudo, onde se destacou a necessidade crescente de integrar tecnologias digitais no setor da construção para melhorar a eficiência e reduzir erros e custos. Este capítulo fundamenta a importância do tema ao apresentar uma visão geral dos desafios enfrentados pela indústria da construção e como a digitalização pode oferecer soluções eficazes.

No Capítulo 2, foi realizada uma análise aprofundada do Building Information Modeling (BIM), uma das principais tecnologias digitais discutidas nesta dissertação. Foram exploradas as várias dimensões do BIM, incluindo a sua capacidade de facilitar a interoperabilidade e a cooperação entre diferentes stakeholders num projeto de construção. Este capítulo demonstrou, através de casos de estudo, como o BIM pode ser utilizado para melhorar a gestão de informações ao longo do ciclo de vida de um projeto, justificando assim a conclusão de que o BIM é uma ferramenta essencial para a digitalização eficaz da construção. Os casos de estudo apresentados mostraram exemplos concretos de como o BIM pode ser implementado para resolver problemas comuns na construção, como a coordenação de diferentes disciplinas e a gestão de alterações no projeto. A integração de dados em tempo real e a capacidade de prever e mitigar riscos antes que eles se materializem são vantagens significativas que foram destacadas neste capítulo.

O Capítulo 3 centrou-se na análise crítica dos diferentes softwares utilizados no controlo de empreitadas, com um enfoque especial no Bexel Manager. Esta análise permitiu reconhecer os pontos fortes e fracos de cada software, culminando na seleção do Bexel Manager como a solução mais adequada para integrar as diversas dimensões do BIM. Este capítulo suporta a conclusão de que a escolha do software certo é crucial para maximizar os benefícios da digitalização, particularmente no que se refere à precisão e à eficiência na gestão de projetos. A capacidade de integrar dados de diferentes fontes e a flexibilidade do software para se adaptar a diferentes tipos de projetos foram fatores determinantes na sua escolha. O capítulo também abordou as considerações práticas de implementação, incluindo a formação necessária para a equipa e as alterações nos processos de trabalho que a adoção de um novo software exige.

Avançando para o Capítulo 4, foi proposto um método de implementação do BIM 5D num caso de estudo real, detalhando os materiais e ferramentas necessários, incluindo a utilização do Bexel Manager. A implementação prática dos conceitos discutidos anteriormente mostrou como a digitalização pode ser aplicada para gerir de forma eficiente os custos e prazos de um projeto de construção, reforçando a conclusão de que o BIM 5D é uma abordagem viável e benéfica para a gestão de projetos. Este capítulo incluiu uma descrição detalhada dos passos envolvidos na criação de um modelo 5D, desde a importação dos dados iniciais até à geração de relatórios financeiros e de progresso. A capacidade de monitorar cada aspeto do projeto em tempo real, fazer ajustes conforme necessário e comunicar esses ajustes de maneira clara e concisa para todos os stakeholders foi um dos principais pontos fortes destacados.

No Capítulo 5, a dissertação focou-se na aplicação prática dos conceitos e metodologias discutidos, detalhando a criação de um modelo 4D/5D e o controlo da obra em tempo real. Este capítulo demonstrou como a digitalização permite uma visão detalhada do progresso das obras, facilitando a coordenação e comunicação entre todos os intervenientes. A análise dos dados coletados durante a implementação prática confirmou que a digitalização, através do uso do BIM, contribui significativamente para a eficiência e a sustentabilidade na gestão de projetos de construção.

Em suma, a dissertação demonstrou de forma conclusiva que a digitalização, especialmente através do uso do BIM, oferece inúmeras vantagens na gestão de projetos. Estas incluem a melhoria da precisão, a redução de erros e atrasos, a eficiência na gestão de custos e prazos, e a promoção de práticas de construção mais sustentáveis. As conclusões apresentadas são suportadas por uma análise detalhada e uma aplicação prática das tecnologias discutidas, confirmando que a integração de ferramentas digitais no setor da construção é um passo essencial para a modernização e otimização dos processos.

6.2 PONTOS CRÍTICOS E DIFICULDADES

A análise das dificuldades e pontos críticos na utilização de tecnologias digitais no controle de empreitadas revela aspectos fundamentais que precisam ser abordados para otimizar a eficácia dessas ferramentas. No decorrer do desenvolvimento do presente trabalho, foi possível ampliar o conhecimento sobre a digitalização e fiscalização de obras, identificando os principais desafios na aplicação de softwares BIM no controle financeiro de projetos. A compreensão dessas dificuldades é essencial para melhorar a integração e a eficiência das tecnologias digitais na indústria da construção.

Uma das dificuldades mais significativas encontradas foi a troca de informações entre o MsProject e o Bexel Manager. O formato nativo do MsProject (.mpp) não permitiu a importação direta do planejamento para o Bexel, sendo necessário converter o arquivo para o formato XML. Este processo adicional complicou a integração dos dados, aumentando o tempo necessário para essa tarefa e introduzindo a possibilidade de erros durante a conversão. A interoperabilidade entre softwares é um desafio comum na construção, onde a diversidade de ferramentas utilizadas frequentemente resulta em problemas de compatibilidade. A ausência de padrões universais para a troca de dados agrava essa questão, dificultando a coordenação entre diferentes sistemas.

Outro ponto crítico foi a associação de custos aos elementos do modelo. Este processo revelou-se bastante demorado e suscetível a erros. A vinculação precisa de custos a cada elemento construtivo é essencial para um controle financeiro detalhado e eficaz, mas a complexidade dessa tarefa pode levar a inconsistências e imprecisões que afetam a fiabilidade dos resultados financeiros do projeto. Estudos indicam que a precisão no orçamento é crucial para o sucesso dos projetos de construção, e qualquer desvio pode resultar em custos adicionais e atrasos. A automação deste processo, através de algoritmos e inteligência artificial, está a emergir como uma solução potencial, mas ainda enfrenta barreiras de implementação prática.

Embora a curva de aprendizagem associada à utilização do Bexel Manager também tenha representado um desafio, este foi menos preocupante devido ao suporte oferecido pelo software. O Bexel Manager disponibiliza diversos guias explicativos e um serviço de suporte eficiente que responde rapidamente às questões dos utilizadores. Esta acessibilidade a recursos de apoio facilitou a superação da maioria das dificuldades iniciais, permitindo que os utilizadores se adaptassem mais rapidamente ao software e utilizassem suas funcionalidades de maneira eficaz. O suporte técnico de alta qualidade é um fator crítico para a adoção bem-sucedida de novas tecnologias, proporcionando uma transição mais suave e reduzindo a resistência à mudança.

6.3. TRABALHOS FUTUROS

O avanço da tecnologia na construção civil tem permitido um controle digital mais preciso das empreitadas, destacando-se a utilização do BIM como uma ferramenta essencial. Apesar dos desafios enfrentados, os benefícios observados incentivam a continuidade das investigações e aperfeiçoamentos nesta área. A adoção de soluções como o Bexel Manager tem mostrado resultados promissores, sugerindo que trabalhos futuros podem se concentrar na otimização e automatização dos processos envolvidos, buscando resolver as dificuldades ainda presentes.

1. Uma proposta interessante seria a aplicação de um programa de dimensionamento de armaduras e cofragens para tentar diminuir o erro de precisão na extração de quantidades do modelo BIM em comparação com os gastos reais de uma obra. Um exemplo de programa que permite realizar

este trabalho é o próprio Autodesk Revit (onde foi modelado o edifício estudado), que possui ferramentas avançadas para a modelação precisa de armaduras e cofragens. Após a modelação detalhada no Revit, as quantidades podem ser extraídas e verificadas no Bexel Manager. Este processo permitiria a identificação de discrepâncias entre as previsões iniciais e os custos reais, reduzindo desvios orçamentais e melhorando a eficiência do projeto.

2. Outra proposta seria o desenvolvimento de ferramentas para facilitar o processo de atribuição de custos no Bexel Manager. Isto poderia incluir a criação de uma base de dados integrada que relacionasse os elementos do modelo BIM com os custos unitários atualizados e específicos de cada componente. Além disso, a utilização de algoritmos de inteligência artificial poderia ser explorada para automatizar a atribuição de custos com base em padrões reconhecidos em projetos anteriores, ajustando os valores conforme necessário e proporcionando estimativas mais precisas e realistas ao longo das várias fases do projeto.
3. Outra proposta seria explorar um método alternativo para a extração de quantidades, conforme detalhado nos capítulos 4 e 5 desta dissertação. Este método envolve a integração do projeto de estruturas com o modelo BIM, visando aumentar a precisão e a eficiência na extração de quantidades para a construção. A aplicação desta abordagem pode proporcionar vantagens significativas, como a melhoria na precisão dos dados extraídos, a redução de erros humanos e uma maior eficiência no planeamento e controle de custos.

REFERÊNCIAS

- [1] Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismith, N., Azhar, S., Efimova, O., & Raahemifar, K. (2017). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1046-1053. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.083>.
- [2] Barbosa, F., Woetzel, L., Mischke, J., Ribeirinho, M., Sridhar, M., Parsons, M., Bertram, N., & Brown, S. (2017). Reinventando o setor de construção por meio de uma revolução na produtividade. *McKinsey Global Institute*. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution/pt-br>.
- [3] BuiltColab. (2024). Quem Somos. <https://builtcolab.pt/built/>.
- [4] Bimmda. (2024). O que é BIM. <https://bimmda.com/pt/o-que-e-o-bim>.
- [5] Eastman, C., Telcholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. J. Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>.
- [6] Arayici, Y., Fernando, T., Munoz, V., & Bassanino, M. (2018). Interoperability specification development for integrated BIM use in performance-based design. *Automation in Construction*, 85, 167-181. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.018>.
- [7] André, L. (2022). O que é IFC - Industry Foundation Classes. *Qualificad*. <https://qualificad.com.br/o-que-e-ifc-industry-foundation-classes/>.
- [8] Ellis, G. (2023). The Evolution of BIM Dimensions: 3D 4D 5D & Beyond. *Autodesk*. <https://www.autodesk.com/blogs/construction/bim-dimensions/>.
- [9] Biblus. (2021). Level BIM: Nível de maturidade de 0 a 3. <https://biblus.accasoftware.com/ptb/level-bim-nivel-de-maturidade-de-0-a-3/>.
- [10] Vanlande, R., Nicolle, C., & Cruz, C. (2008). IFC and building lifecycle management. *Automation in Construction*, 18, 70-78. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.05.001>.
- [11] Pinho, S. (2013). O modelo IFC como agente de interoperabilidade. Aplicação ao domínio das estruturas. Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- [12] BuildingSmart. (2024). Industry Foundation Classes (IFC). <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>.
- [13] Zigurat. (2021). O que é openBIM? - Principais benefícios. <https://www.e-zigurat.com/pt-br/blog/o-que-e-openbim-principais-beneficios/>.

- [14] Sun, J., Paasch, J., Paulsson, J., Tarandi, V., & Harrie, L. (2011, Outubro 11-13). Towards Design and Development of a BIM-based 3D Property Formation Process. 7th International FIG 3D Cadastre Workshop, Nova Iorque, Estados Unidos. <https://doi.org/10.4233/uuid:4aa9343f-b965-4c44-ba0d-9f91142dc078>.
- [15] Gonçalves, F. (2018, Julho 9). BIM: Tudo o que você precisa de saber sobre esta metodologia. *Mais Engenharia*. <https://maisengenharia.altoqi.com.br/bim/tudo-o-que-voce-precisa-saber/#lods>.
- [16] Silva, J. (2013). *Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM: Avaliação de melhores práticas e proposta de regras de modelação para projetos de estruturas*. Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [17] Autodesk. (2024). Levels of Development: Enabling coordination and collaboration. <https://www.autodesk.com/solutions/bim-levels-of-development>.
- [18] Berlo, L., & Krijnen, T. (2014). Using the BIM Collaboration Format in a server-based workflow. *Procedia Environmental Sciences*, 22, 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.031>.
- [19] Faria, J. (2014, Fevereiro). 9-Planeamento de obra - Gestão de obras e segurança. https://web.fe.up.pt/~construc/go/docs_GO/sebenta/por%20capitulos%202013/09-planeamento%20de%20obras-rev10fev14.pdf.
- [20] Santos, R. (2011, Dezembro). Caminho Crítico. <http://www.rafael-santos.net/2011/12/>.
- [21] Monteiro, A., & Martins, P. J. (2011). Linha de balanço - uma nova abordagem ao planeamento e controlo das actividades da construção. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/126636/2/389146.pdf>.
- [22] Calejo, R. (2022). Apontamentos para a unidade curricular de fiscalização de obras - Mestrado em Engenharia Civil - 2º ano-opção construções, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [23] Monteiro, A., & Martins, J. (2013). A survey on modeling guidelines for quantity takeoff oriented BIM-Based design. *Automation in Construction*, 35, 238-253. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.005>.
- [24] Khosakitchalert, C., Yabuki, N., & Fukuda, T. (2019). Improving the accuracy of BIM-based quantity takeoff for compound elements. *Automation in Construction*, 106, 102891. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102891>.
- [25] ProNIC Consórcio. (2015). ProNIC - Funcionalidades. https://www.impic.pt/impic/assets/misc/pdf/documentos_de_iniciativas_estrategicas/pronic.pdf.
- [26] Bentley. (2024). Leverage SYNCHRO 4D to Manage Construction Planning of the Tallest Modular-Built High-Rise in the World. https://7668309.fs1.hubspotusercontent-na1.net/hubfs/7668309/Product%20Lines%20and%20Campaigns/Construction/Content%20Pieces/SYNCHRO_Case%20Study_Tantek_4D_LTR_EN_HR_2021.pdf.
- [27] Bentley. (2024). Laing O'Rourke and SEPA Create a Digital Twin of Rail Redevelopment Removing 85 Level Crossings for Safer Travel. <https://www.bentley.com/wp-content/uploads/cs-sepa-surrey-hills-level-crossing-ltr-en-lr.pdf>.

- [28] Norões, T., & Bastos, B. (2024). Estudo de caso da aplicação do planeamento 4D em uma residência unifamiliar alto padrão. *5º Congresso Português de “Building Information Modelling”*. Braga. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.43>.
- [29] Bentley. (2024). Mortenson Uses 4D Construction Modeling to Build USD 1.4 Billion Sports Destination. <https://it.bentley.com/wp-content/uploads/2022/05/CS-Mortenson-Chase-Center-LTR-EN-LR.pdf>.
- [30] Bexel Consulting. (2019). CSKA Moscow Stadium. <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/179/cska-moscow-stadium>.
- [31] Bexel Consulting. (2019). BIM use in Caribbean resort project. *BIM Community*. <https://www.bimcommunity.com/experiences/load/166/bim-use-in-caribbean-resort-project>.
- [32] Majeed, H., Amer, W., & Adnan, N. (2021). Design Engineering Using 4D BIM Model in Documentation of Construction Projects: A Case Study in Iraq.
- [33] Pereira, R. (2023). *Controlo Da Qualidade em Obra: Digitalização de Processos - Análise de Caso*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [34] Arroyo, J., González, D., & Flor, G. (2020, Julho). Application of BIM 5D Methodology in The Construction Of A Children’s Park. *LACCEI 2020-Virtual Edition*. <https://laccei.org/LACCEI2020-VirtualEdition/meta/FP57.html>.
- [35] Madruga, C., & Ribeiro, S. (2020, Novembro). O BIM aplicado no planeamento em obra de habitação de interesse social: estudo de caso. *3º Congresso Português de “Building Information Modelling”*. Porto. <https://ptbim.org/wp-content/uploads/2021/02/LivroDeAtasDoPTBIM-2020.pdf>.
- [36] Žigo, T., & Gong, L. (2017). Vico Workflow - 5D BIM Case Study from Estimator’s Perspective. *Autodesk University*.
- [37] Kehily, A., Kehily, D., & Underwood, J. (2017). Embedding life cycle costing in 5D BIM. *Journal of Information Technology in Construction*, 22, 145-167. https://www.itcon.org/papers/2017_08-ITcon-Kehily.pdf.
- [38] Afonso, A., & Leal, V. (2024). Automatismos e estimativa orçamental em BIM. *5º Congresso Português de “Building Information Modelling”*. Braga. <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.142.50>.
- [39] Vaz, B., Lino, J., & Couto, J. (2018, Maio). Utilização do BIM na otimização do planeamento e controlo das construções. *2º Congresso Português de “Building Information Modelling”*. Lisboa. <https://ptbim.org/wp-content/uploads/2021/02/LivroDeAtasDoPTBIM-2018.pdf>.
- [40] Silva, C., Lino, J., & Couto, J. (2018, Maio). BIM na gestão da obra: Digitalização 3D como ferramenta integrada para o controlo do planeamento e orçamentação da obra. *2º Congresso Português de “Building Information Modelling”*. Lisboa. <https://ptbim.org/wp-content/uploads/2021/02/LivroDeAtasDoPTBIM-2018.pdf>.
- [41] Miranda, G., Oliveira, D., Almeida, M., & Ribeiro, S. (2022, Maio). Análise do quantitativo extraído via método convencional e tecnologia BIM para os revestimentos. *4º Congresso*

Português de “Building Information Modelling”. Braga.
<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.8>.

- [42] Giesta, J., Lira, E., Costa, T., & Silva, J. (2018, Maio). O uso da tecnologia BIM na quantificação e no planeamento: Estudo de caso de residência RN - Brasil. 2º Congresso Português de “Building Information Modelling”. Lisboa. <https://ptbim.org/wp-content/uploads/2021/02/LivroDeAtasDoPTBIM-2018.pdf>.
- [43] Sampaio, A., Fernandes, V., & Gomes, A. (2023). The use of BIM-based tools to improve collaborative building projects. *Procedia Computer Science*, 219, 2027-2034.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.01.504>.
- [44] Fernandes, P. (2022). *Metodologias BIM no controlo financeiro de empreitadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [45] Bexel Consulting. (2024). BEXEL Manager - Intelligent BIM Software Solution.
<https://www.softwaresuggest.com/bexel-manager>.
- [46] Bexel Consulting. (2024). Plans & Pricing. <https://bixelmanager.com/plans-pricing/>.
- [47] Vico Office. (2024). Project management with 3D, 4D, and 5D. <https://vicooffice.dk/en/>.
- [48] Vico Office. (2024). Vico Office try or buy. <https://vicooffice.dk/en/vico-office-try-or-buy/>.
- [49] Naviswork. (2023). Naviswork Features 2023. Autodesk.
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/features>.
- [50] Naviswork. (2023). Get Prices & Buy Naviswork 2023. Autodesk.
<https://www.autodesk.com/products/navisworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [51] Bentley Systems. (2024). Features-Synchro 4D Pro. https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article&sysparm_article=KB0017688.
- [52] Virtuosity. (2024). Synchro. <https://en.virtuosity.com/catalogsearch/result/?q=+synchro>.
- [53] RIB. (2024). RIB CostX. <https://www.rib-software.com/en/rib-costx>.
- [54] Capterra. (2024). RIB CostX Pricing Alternatives & More.
<https://www.capterra.com/p/75416/CostX/>.
- [55] Dias, F. (2023). *Digitalização da construção-Controlo de empreitadas*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

A.1. Linhas de balanço da obra

