

4º Congresso Português de Building Information Modelling

vol.2

Miguel Azenha, José Carlos Lino, José Granja,
Bruno Figueiredo, João Poças Martins (editores)

Coleção Atas



UMinho Editora



UMinho Editora
Atas

EDITORES

Miguel Azenha
José Carlos Lino
José Granja
Bruno Figueiredo
João Poças Martins

COORDENAÇÃO EDITORIAL
Manuela Martins

FOTO CAPA
Yurii Andreichyn/Shutterstock

DESIGN
Tiago Rodrigues

PAGINAÇÃO
Carlos Sousa | Bookpaper

EDIÇÃO UMinho Editora

LOCAL DE EDIÇÃO Braga 2022

ISBN digital 978-989-8974-69-3

DOI <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77>

Os conteúdos apresentados (textos e imagens) são da exclusiva responsabilidade dos respetivos autores.
© Autores / Universidade do Minho – Esta obra encontra-se sob a Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0.

UMINHO EDITORA

4º Congresso Português de *Building Information Modelling*

vol. 2



Universidade do Minho

U.PORTO



**TÉCNICO
LISBOA**

ptBIM

Comissão organizadora local

Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
José Carlos Lino – Universidade do Minho (EEUM)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAAD)

Comissão organizadora nacional

Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
António Aguiar Costa – Universidade de Lisboa (IST)

Comissão internacional

Eduardo Toledo Santos – Universidade de São Paulo (Brazil)
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Regina Ruschel – Universidade Estadual de Campinas (Brazil)
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)
Vera Cibele Neves Marques – Universidade Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)
Herculano Miguel – Ordem dos Engenheiros (Angola)

Comissão científica

Presidente da Comissão Científica João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)

Alexandre Marques – Hilti
Alfredo Soeiro – Universidade do Porto (FEUP)
Américo Dimande – Administração Nacional de Estradas (Moçambique)
António Aguiar Costa – BUILT CoLAB/Universidade de Lisboa (IST)
António Cabaço – LNEC
António Menezes Leitão – Universidade de Lisboa (IST)
Bárbara Rangel – Universidade do Porto (FEUP)
Bruno Figueiredo – Universidade do Minho (EAAD)
Bruno Matos – Engexpor
Diogo Ribeiro – ISEP
Eduardo Nardelli – Universidade Presbiteriana Mackenzie (Brazil)
Eduardo Toledo Santos – Universidade de S. Paulo (USP)
Eugénio Rodrigues – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Fábio Dinis – Universidade do Porto (FEUP)
Fernanda Rodrigues – Universidade de Aveiro
Fernando Pinho – Universidade Nova Lisboa

Francisco Teixeira Bastos – Universidade de Lisboa (IST)
Hélder Sousa – Universidade do Minho (EEUM)
Herculano Miguel – Ordem dos Engenheiros (Angola)
Hipólito Sousa – Universidade do Porto (FEUP)
Hugo Rodrigues – Universidade do Aveiro
Inês Flores-Colen – Universidade de Lisboa (IST)
Isabel Valente – Universidade do Minho (EEUM)
João Pedro Couto – Universidade do Minho (EEUM)
João Poças Martins – Universidade do Porto (FEUP)
José António Ribeiro – Mota Engil
José Carlos Lino – Universidade do Minho (EEUM)
José Granja – Universidade do Minho (EEUM)
José Miguel Castro – Universidade do Porto (FEUP)
José Oliveira – DiRoots
José Pedro Sousa – Universidade do Porto (FAUP)
José Pinto-Faria – ISEP
José Santos – Universidade da Madeira
Josyanne Giesta – Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
Luís Pedro Bidarra – Norvia
Luís Ribeirinho – TPF
Luís Sanhudo – BUILT CoLAB
Luís Santos – Leica Geosystems
Luisa Maria Silva Gonçalves – Instituto Politécnico de Leiria
Manuel Tender – ISEP/ISLA
Marcelo Giacaglia – Universidade de S. Paulo (USP)
Maria João Falcão – LNEC
Miguel Azenha – Universidade do Minho (EEUM)
Miguel Ferraz – Universidade do Porto (FEUP)
Miguel Pires – Casais
Norberto Moura – Universidade de S. Paulo (FAUUSP)
Norberto Santos – Universidade do Porto (FAUP)
Nuno Ramos – Universidade do Porto (FEUP)
Patrícia Escórcio – Universidade da Madeira (UMa)
Paula Couto – LNEC
Paulo Costeira – Politécnico de Viseu
Pedro Ferreirinha – HCI
Pedro Mêda – Inst. Construção
Regina Ruschel – Universidade Estadual de Campinas (Brazil)
Ricardo Almeida – Politécnico de Viseu (IPV)
Ricardo Costa – Universidade de Coimbra (FCTUC)
Ricardo Pereira Santos – ISEP
Ricardo Resende – ISCTE-IUL
Rodrigo Falcão Moreira – GROUND MOTION
Rodrigo Lameiras – Universidade de Brasília
Sebastien Roux – LIMSEN
Sergio Scheer – Universidade Federal do Paraná – UFPR (Brazil)
Trayana Tankova – Universidade do Coimbra (FCTUC)
Vera Cibele Neves Marques – Universidade Técnica do Atlântico (Cabo Verde)
Zita Sampaio – Universidade de Lisboa (IST)

Patrocinadores

Platina



Ouro



Prata



Índice	9
Parte VI – Ensino, Investigação e Desenvolvimentos Recentes	15
Construction DAO for improved project management and stakeholders' engagement <i>Mohammad Darabseh, João Poças Martins</i>	17
Tendências para a atuação profissional na construção civil brasileira <i>Fernanda Ferreira</i>	27
Revisão da literatura da integração BIM-IA na construção civil <i>Rodrigo da Silva, Michele Carvalho</i>	39
BUILT COLAB – Laboratório Colaborativo: Os desafios RDI na construção <i>António Aguiar Costa, Luís Sanhudo, Ana Rocha</i>	50
Caminhos para inserção do Building Information Modeling no curso superior de engenharia civil do IFRN <i>Clézio dos Santos Júnior, Josyanne Giesta, Alfredo Costa Neto</i>	62
Optimization tools and BIM: A marriage with a future? <i>Alfredo Soeiro, João Poças Martins, Adeeb Sidani</i>	73
Algoritmos de classificação de texto na automatização dos processos orçamentação <i>Luís J. Sousa, João Poças Martins, João Santos Baptista, Luís Sanhudo, Pedro Mêda</i>	81
Aprendizagem de máquinas aplicada a modelos de informação de construção: BIM2GNN <i>Aydan Aghabayli, Ricardo de Matos Camarinha, Manuel Esteves Luís, José Granja, Bruno Figueiredo</i>	94
Methodology adapted for the implementation of a master plan for the European mission 100 Climate-Neutral cities by 2030. Development of the energy self-sufficiency indicator <i>Javier Bono Cremades, Fernando-Aitor Mendiguchia, Jose Luis Alapont Ramón, Guillen-Guillamón</i>	106
Pós-graduação em coordenação BIM: uma abordagem no ensino para a requalificação e reconversão dos profissionais do AEC <i>Diogo Ribeiro, Jorge Vaz, José Pinto Faria, Ricardo Santos, Rui Gavina</i>	117

Parte VII – Normalização e Organização da Informação	129
Contratação, monitorização e controlo BIM no desenvolvimento de um edifício multidisciplinar <i>Bruno Matos, Miguel Alegria</i>	131
Desenvolvimento de ferramentas de suporte ao processo BIM <i>Luís Pedro Bidarra, Joaquim Velho, Ana Clemente, António Costa</i>	143
Automatização do processo de licenciamento – Metodologia e caso de estudo <i>Nycolas Glerean, Alaa Alhariri, Ana Rocha, Luís Sanhudo, António Aguiar Costa</i>	156
Revisão sistemática sobre a integração de smart contracts e BIM no ambiente construtivo <i>Vítor Esteves, Luís Sanhudo, António Aguiar Costa</i>	168
Análise da plataforma de verificação de regras de salvador, A Metropolis <i>Jessica Aida, Bruna Bitencourt, Érica Checcucci</i>	178
Estrutura conceitual para verificação automatizada de requisitos em projetos aeroportuários no Brasil <i>Ítalo Guedes, Max Andrade, Adriana Rolim, Emmanoel Neri, Mariana Cavalcanti, Rafaela Gabrielle</i>	188
Revisão sistemática de guias BIM internacionais com vista à sua aplicação numa organização <i>Seyedeh Aida Mirniazmandan, José Carlos Lino, Miguel Azenha</i>	199
Análise do uso da metodologia BIM nos órgãos públicos do estado do Ceará/ Brasil <i>Geórgia Jereissati, José Cavalcante, José Oliveira, Francisco Oliveira</i>	210
Transformação do processo de Clash Detection em Clash Avoidance <i>Vasco Castro, Carlos Moreira</i>	221
Automatização parcial da verificação regulamentar de projetos de edificação para efeitos de licenciamento urbanístico: Proposta, implementação e aplicação piloto <i>Miguel Santos, Lucas Vieira, José Granja, Taís Magalhães, Ricardo Mateus, Marco Carvalho, Miguel Azenha</i>	233

Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197 <i>Mohamad El Sibai, José Granja, Renan Rocha Ribeiro, Pedro Meda, Ricardo Resende, João dos Santos, Pedro Lucas Martins, António Aguiar Costa, João Poças Martin, Miguel Azenha</i>	245
Requisitos normativos da ISO 19650 para o CDE – Análise de conformidade <i>Déborah Paiva, Erivânia Kayelle Abreu, Luma Oliveira, Marcelo Sporkens, Sérgio Leal Ferreira</i>	257
Projeto SECCLASS – O desenvolvimento de um sistema de classificação da construção com componente de sustentabilidade adaptado ao BIM <i>Angie Mendez, Daniel Cale, Filipa Salvado, Inês Almeida, João Manuel Miranda, José Granja, Luís Fonseca, Manoel Wagner de Mello, Maria João Falcão Silva, Marta Campos, Miguel Azenha, Mohamad El Sibai, Paula Couto, Ricardo Pontes Resende, Rodrigo Tavares Lima, Sara Parece, Tiago Pedro</i>	268
Evolução nos processos de projetar arquitetura e especialidades – Uma transição digital para o BIM <i>Bruno Caires, Francisco Reis, José Carlos Lino</i>	279
A abordagem LEVEL(s) adaptada aos sistemas de classificação da informação da construção <i>Rodrigo Lima, Filipa Salvado, Maria João Falcão Silva, Paula Couto</i>	290
Parte VIII – Realizações e Casos de Estudo	301
Projetar em BIM Caso de estudo do mercado kumasi, Gana <i>Rúben Reis, Paulo Rodrigues</i>	303
Soluções para projetos de engenharia em BIM para aeroportos. Estudo de caso do aeroporto de vitória <i>Guilherme Guignone, Heurie Rocha, João Luiz Calmon, Wladmir Araujo</i>	312
Implantação BIM em processos de projeto: O caso da companhia brasileira de trens urbanos, superintendência do recife <i>Emmanuel Neri, Max Andrade, Ítalo Santos, Rafaela Pereira, Laysa Monteiro, Heron Santos</i>	323
Infraestruturas do aeroporto do Montijo – Projeto base <i>Pedro Serra, António Pereira da Silva, Filomena Serra</i>	335

Interoperabilidade, colaboração e coordenação de projeto de 2 hospitais em Angola <i>Hugo Silva, Luís Ribeirinho, Sofia Henriques</i>	346
O BIM e a compatibilização dos projectos em obras públicas: O caso de estudo de uma escola brasileira <i>Saul Ferreira, José Oliveira, Geórgia Jereissati, José Cavalcante, Francisco Oliveira, Paulo Almeida</i>	358
Maturidade digital da indústria da construção – Exigências, aplicações e novos desafios <i>Bruno Caires, Francisco Reis, José Carlos Lino</i>	370
Persistência de barreiras institucionais para adoção do BIM no setor público Brasileiro <i>Eduardo Nardelli</i>	382
Parte IX – Tecnologias de levantamento	393
Metodologia digital para a realização de levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios existentes com drones – Caso de estudo <i>Diogo Filipe Ramos Parracho, João Poças Martins, Eva Barreira</i>	395
PCMAT-30: Classificação automática de materiais construtivos em nuvens de pontos <i>Luís Sanhudo, Vasco Pinto, João Poças Martins, Nuno M. M. Ramos</i>	407
Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo Scan-to-BIM <i>Luís Sanhudo, João Poças Martins, Nuno M. M. Ramos</i>	419
Dense stereo matching e modelagem HBIM aplicados à obra de lina bo bardi: O mausoléu da família Odebrecht <i>Bruna Costa, Thiago Reis, Jessica Silva, Natalie Groetelaars</i>	430
Criação de nuvens de pontos a partir da fotogrametria: Análise de sensibilidade <i>Ricardo Vicentin, Ricardo Almeida, Daniela Gutstein, Clarice Farian de Lemos, Eva Barreira</i>	441
Levantamento de condições existentes com lidar em dispositivos móveis e análise de pavimentos usando BIM <i>Pedro Luis Soethe Cursino, Fernanda Almeida Machado</i>	448

Comparação de três equipamentos distintos baseados em lidar para levantamento de edifícios existentes <i>Leonardo Mulè, Filipe Finco, José Granja, Andressa Oliveira, Nuno Moreira, Luís Santos, Miguel Azenha</i>	459
Parte X – Visualização avançada de modelos	471
Orientações para a avaliação da usabilidade de interfaces imersivas para o sector da construção <i>Fábio Matoseiro Dinis, Bárbara Rangel, Ana Sofia Guimarães, João Poças Martins</i>	473
Ambiente virtual imersivo e interativo para modelos BIM: Exportação automática e ferramentas de visualização <i>Pedro Ferreira, Luís Sanhudo, José Pintor, António Aguiar Costa</i>	485
Realidade aumentada e realidade virtual em nuvem na construção civil: Uma análise da produção científica entre 2011 e 2021 <i>Maria Paula Dunel, Thaís Alves, Reymard Sávio Sampaio de Melo</i>	496
Vantagens e limitações do uso da realidade virtual em cenário remoto – Uma análise comparativa <i>Thalita Costa, Emilha Lira, Josyanne Giesta, Alfredo Costa Neto</i>	508
Análise do BIM e a realidade aumentada aplicada no projeto hidrossanitário residencial unifamiliar <i>Pedro Osterno, José Oliveira, Geórgia Jereissati, José Cavalcante, Francisco Oliveira</i>	521

Parte VI – Ensino, Investigação e Desenvolvimentos Recentes

Construction DAO for improved project management and stakeholder's engagement

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.1>

Mohammad Darabseh¹, João Poças Martins²

¹ *CONSTRUCT – GEQUALTEC, Faculty of Engineering (FEUP), University of Porto, Portugal [0000-0002-7443-8326]*

² *CONSTRUCT – GEQUALTEC, Faculty of Engineering (FEUP), University of Porto, Portugal [0000-0001-9878-3792]*

Abstract

The Decentralized Autonomous Organization (DAO) is a new form of organisation where the activities and operations are presented on a Blockchain using smart contracts. This article explains the concept of DAO in construction project management by examining the features of DAOs and How they can improve projects workflow. Features like trustless voting and minimising human interaction in project processes include releasing payments, revoking, or granting access to data. DAO concept presents an improved version of traditional organisations with several improvements to increase stakeholders' involvement, reduce delays and track the project performance. The article explores the DAO concept by examining the available DAOs, and it also presents a hypothetical example of possible uses for DAO in construction management.

1. Introduction

The construction industry is often criticised for being fragmented and inefficient [1]. In order to overcome these problems, those involved in the construction industry are implementing new technologies such as BIM, IoT and Blockchain to help bridge the gap between construction and other industries [2]. Blockchain applications in construction is a growing field of research where multiple studies are presented to evaluate its capabilities to improve productivity and collaboration. This article presents the concept of Decentralized Autonomous Organization (DAO) for construction-related applications. DAO is a digital organisation structure that replaces traditional organisations with a Blockchain-based one. This article spans over five sections: (1) limitation of traditional management and governance in construction; this section addresses three aspects of limitation of the traditional construction organisation, including governance structure, opportunism in alliances and corruption. (2) Blockchain and Decentralized Autonomous Organization (DAO), where the concept of the DAO is presented in addition to its underlying technology Blockchain. (3) DAOs in Construction where two hypothetical examples are presented for applying the concept of DAO in construction-related activities. (4) Conclusion where a summary of the article content is provided.

Traditional digitalization allowed management at the secondary level to improve its processes and help it perform nimbly. However, digital enterprise systems such as Enterprise Resource Planning (ERP) systems are largely centralized, which limit their functionalities in inter-organization collaboration. Furthermore, upper management still uses the traditional communication channels, especially on inter-organization related operations. These two factors, combined with a fragmented environment such as the construction industry project environment, limit the digitalization benefits. Integrated Project Delivery (IPD) is one of the proposed solutions to reduce fragmentation. However, one of the most prominent characteristics of the construction industry is competitiveness; combining that with a vast number of stockholders, poor resources integration, lack of trust, poor definition of roles and responsibilities are all barriers to reaching the expected benefits of IPD. This article presents the DAO concept and capabilities to help institutionalize collaborative practices in the construction industry where any two parties on any level can create a DAO and use it as a foundation for their collaboration to benefit from the DAO features.

2. Limitation of Traditional Management and Governance in Construction

Construction endeavours are unique from endeavours taken by other companies. The reason behind that is the non-standardised construction projects nature where each project's goals are different from another [3]. Moreover, construction is a project-based industry which makes it more fragile compared with products-based industries. Traditional Construction management and governance accumulated several

problems and limitations that hampered it from catching up with other industries. These issues are further explored below.

2.1. Rigid Corporate Governance Structure

Construction companies are composed of two controlling bodies: (1) the board; and (2) the managers. The board role is to provide governance for the company by evaluating the management team performance, rewarding them for good results and executing reprimand actions to correct their behaviour. The managers, on the other hand, take control over the day-to-day tasks and take control over the company operations. The two bodies structure was created to ensure that the interests of shareholders are protected against poor management behaviour. A study by Rebeiz and Salameh [4] investigated the relationship between the construction companies and the financial performance of these companies. The study shows the complicated relationship between the boardroom and the managers in aspects: (1) boardroom independence from management; (2) leadership structure; (3) size of the board; (4) board committees; (5) the frequency of the board meetings. There are two leadership structure models; the first one is the joint structure where the CEO position and the board chairman position are occupied by one person [5]causing internal congestion of indecisive and/or unsuccessful projects. This research empirically scrutinizes project portfolio success in a transnational and cross-cultural perspective in the Asia-Pacific (APAC. The second model is the separate structure model where the position of the CEO and board chairman are occupied by two different people. Each of these models has advantages and disadvantages; for example, when the joint model is applied, there is no ambiguity regarding the company priorities as one person leads both controlling bodies. However, one leader for both bodies results in a concentration of power, making it harder to ensure corporate accountability. It also makes it hard to challenge the CEO decisions. On the other hand, the separate model encourages technocracy, where each board member has duties and develops expertise, resulting in stronger board governance. However, the strong-minded board can cause a longer decision-making process because of the prolonged negotiations between management and the boardroom.

2.2. Opportunism in Construction Alliances

Forming alliances and partnering is one of the construction management strategies used widely in the construction industry. Partnering increases the construction companies' capacity to handle large and sophisticated tasks [6]. There are two types of partnerships: (1) cooperative and (2) competitive partnerships. A client partner with a contractor to design and build a house is considered a cooperative partnership because the client and the contractor are not in direct competition. On the other hand, when two contractors form an alliance, they are in a cooperative and competitive partnership because they are in direct competition as they both target the same market. An alliance is defined as a voluntary agreement involving two or more companies to take a project in order to develop it together. This agreement includes

details about the procedures for information, products, technologies and services shared during the period of the alliance. While partnering is encouraged between contractors, it requires trust between partners. Indeed, each partner's vulnerabilities are exposed during the partnership period, such as the limit or quality of resources available. Besides, even though a group of contractors are in an alliance, they are still competitors in other projects, which raises the risk of opportunistic behaviour, leading a partner to exploit the partnership to their benefit [3].

2.3. Corruption in Construction

The construction industry's corruption levels are the highest amongst the activities covered in the global corruption report [7], where the procurement sector had the highest number of incidents. Corruption lowers work efficiency and increases inequality. Several studies investigated corruption in construction. Owusu et al. [8] presented a framework for anti-corruption measures. The framework categorises corruption combating measures into six groups: (1) Regulatory measures, such as the use of ethical codes. (2) promotional measures, for instance, increasing accountability, access to information, and enhanced communication. (3) reactive measures; an example of that is punishment and penalties. (4) compliance measures, for example, contractual and procedural compliance. (5) probing Measures, including rigorous auditing system, contract monitoring, and an efficient reporting system [8].

3. Blockchain and Decentralized Autonomous Organization (DAO)

Decentralised Autonomous Organisations (DAO) or Decentralized Autonomous Corporation (DAC) is an emerging form of management style where advancement in information technologies is leveraged to achieve self-automated governance [9]. The concept itself is an evolution of the Cyber Movement organisation (CMO) [10] concepts combined with the Distributed Artificial Intelligence (DAI) systems. CMO refers to a group of people who formed an Internet-based gathering to discuss or lobby online for a certain topic. DAOs try to reduce the costs of acquiring information, management, supervision within an organisation by creating an effective governance mechanism by leveraging Blockchain technology features such as decentralisation and immutability, ensuring data auditability and integrity. These features allow for creating and transferring digital assets safely and effectively. Blockchain is a digital data handling technology that allows users to store and exchange data in the form of transactions stored in an immutable and auditable ledger called a Blockchain. A DAO can be defined as an organisation that runs on a Blockchain to achieve decentralised governance and management by leveraging Blockchain smart contracts features to accomplish the organisational goals. According to Wang et al. [11], DAO Characteristics are: (1) decentralised and distributed organisation, decentralised refers to the absence of the traditional organisation hierarchy for decision-making purposes. Distributed refers to the use of a nodal network system to exchange and store the DAD smart contracts and DAO members identities. (2) autonomous and automated, which

refers to the ideal DAO situation where the code is the law which means consensus is reached automatically and autonomously based on the smart contracts, which removes bureaucracy for the standardised procedures. Furthermore, the power of decisions is distributed instead of being concentrated in a few individuals' hands. (3) organised and ordered: the DAO operational procedures are written in the smart contracts, including rights and obligations of the DAO members, which ensure applying the reward or penalty, when necessary, which make DAOs constantly transparent and in order.

Examples of currently fully operational DAOs are limited. Two use cases are provided: (1) The DAO [12] established in 2016 was the first realisation of the DAO concept. It was built as a venture capital DAO on the Ethereum public Blockchain. The DAO collected \$150 million of the Ethereum native cryptocurrency ETH. The DAO was managed through a smart contract. The money was collected as crowdfunding Initial Coin Offering (ICO). People who participated transferred ETH from their wallets to the smart contract, which then sent them the DAO token, which represents their shares in DAO. In addition to that, the received token represent their voting power when voting on funding proposals. The DAO suffered a major security breach where a hacker took advantage of a bug in the smart contract, which resulted in the DAO to defunct. (2) Constitution DAO [13] was established in 2021 when a group of crypto investors formed a DAO to collect enough money to bid on a first edition copy of the United States of America constitution auctioned at Sotheby auction house. The Constitution DAO managed to collect \$47 million worth of Ethereum within a week and ahead of the auction. The Constitution DAO formed a corporation to represent it in the auction because DAOs are currently not considered a legal entity. The constitution DAO was outbid in the auction. Therefore, they did not manage to obtain the auctioned constitution copy. The Constitution DAO investors were allowed to get money back minus the transaction through the project smart contract.

DAOs are still in an early adoption stage; therefore, they face challenges. These challenges include security, legal, and technical challenges. Security challenges refer to the limited understanding of smart contracts writing skills which could cause security problems leading to breaches like the DAO breach. Legal challenges include the traditional institutions' recognition of this type of organisation. Technical issues include privacy, performance, and flexibility.

4. DAOs in Construction

The DAO concept could be applied to construction companies and projects to improve collaboration, owners' involvement, citizen engagement, and resource sharing. DDAOs can be divided into two categories depending on the underlying smart contracts: (1) basic DAOs where the smart contract does not require off-chain information to function properly. (2) advanced DAOs where the smart contracts require an off-chain source of information to function properly. In order to clarify this, two

examples are provided in this section: (1) Stockholder's governance DAO as an example on basic DAOs; (2) Resources pooling DAO as an example on Advanced DAOs.

4.1. Stockholders' governance DAO

Construction project stockholders represent a group of people who share the interest in a project path to ensure their interest is protected from other stockholders' opportunistic behaviour. A governance DAO uses Blockchain technology and smart contracts to archive frictionless relationships between the project stockholders. In addition to that, the governance DAO log is recorded on the Blockchain, which makes its events auditable. An example of governance DAO in construction is a governance DAO for a new airport project. Such a project has many stakeholders with different interests, including airlines working in the city, the city council, the environmental assessment committee, local citizens and candidate contractors. Governance DAO offers fair governance and minimises opportunistic behaviour from stockholders. The stockholders' power in such DAO is represented using two types of Blockchain tokens: (1) fungible tokens, which are a digital representation of voting rights distributed on stockholders according to their voting in the DAO. (2) Non-Fungible Tokens (NFT), which are a digital representation of special voting rights where each NFT has unique attributes representing their unique voting powers. NFTs are Blockchain-based assets designed to be unique by their attributes and can resemble ownership or authenticity letters verified on the Blockchain. An example of unique voting rights from Airport Governance DAO is the environmental assessment committee, where the committee is responsible for choosing locations with respect to the results of the environmental assessments report. Therefore, the power of an investor represented in the fungible tokens in their wallet is negligible in this aspect. However, another aspect, such as the winning airport design, is chosen through fungible tokens Votes proposal. The dual tokens governance structure allows for higher flexibility without compromising any stakeholder authority. Figure 1 shows the business logic of Stockholders' governance DAO.

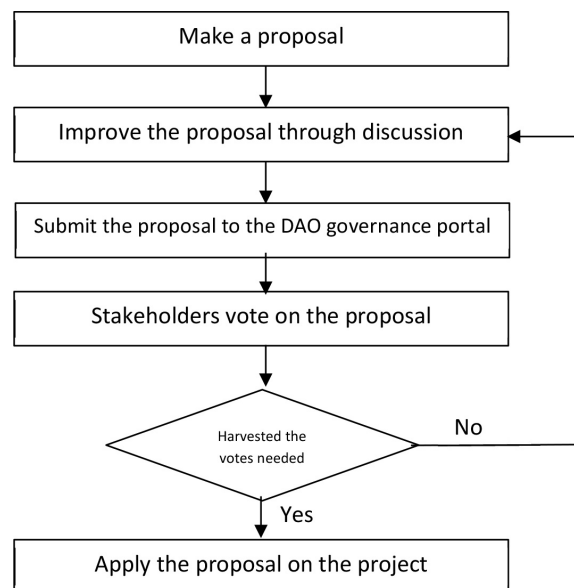


Figure 1
The business logic
of Stockholders'
governance DAO.

4.2. Construction Collaborative DAO

The ultimate goals for DAOs are to save costs and improve governance. Information collecting costs, work coordination fees, and supervising work costs are examples of such costs. DAOs can achieve these savings by automating tasks and procedures. DAOs are characterised as automated and autonomous where the code is responsible for tasks execution without a centralised authority where there is no unbalanced power distribution because the centralised authority is replaced with rules and defined patterns, which results in minimising the management costs, middling costs, and saving time by avoiding bureaucracy.

An example of collaborative construction DAOs is resource pooling DAO. This DAO allows construction companies to share equipment and tools for an exchange of money or a mutual collaborative sharing agreement. Such a DAO can provide a detailed record of each piece of equipment, including its mechanical inspection reports, maintenance schedule, current location, fuel level, work schedule. This information allows contractors to borrow equipment without the need to go through a manual bureaucratic repetitive process. In addition, providing a detailed history of the equipment protects both parties; for example, a contractor can avoid renting with complicated mechanical history or upcoming maintenance. Also, contractors can avoid moving their equipment over long distances if they can find a nearby competitive option. However, this type of DAOs requires an off-chain source of information or what is known as a Blockchain oracle to feed the information needed for the smart contracts to function properly. In the case of this example, each piece of equipment requires a Decentralised Identifier (DID), an instrument used to identify a person or a thing in a Blockchain-related process. The DID of equipment will be connected to the information related to the equipment, such as owner, location, and availability. Also, the external performers, such as mechanics who do the inspection for equipment will have a DID where participants can track their record of work. Contractors or equipment providers participating in this DAO are identified using their digital Blockchain wallet connected to the smart contracts. The equipment is added as a Non-Fungible Token (NFT) to the owner. Figure 2 shows the business logic of the proposed construction collaborative DAO.

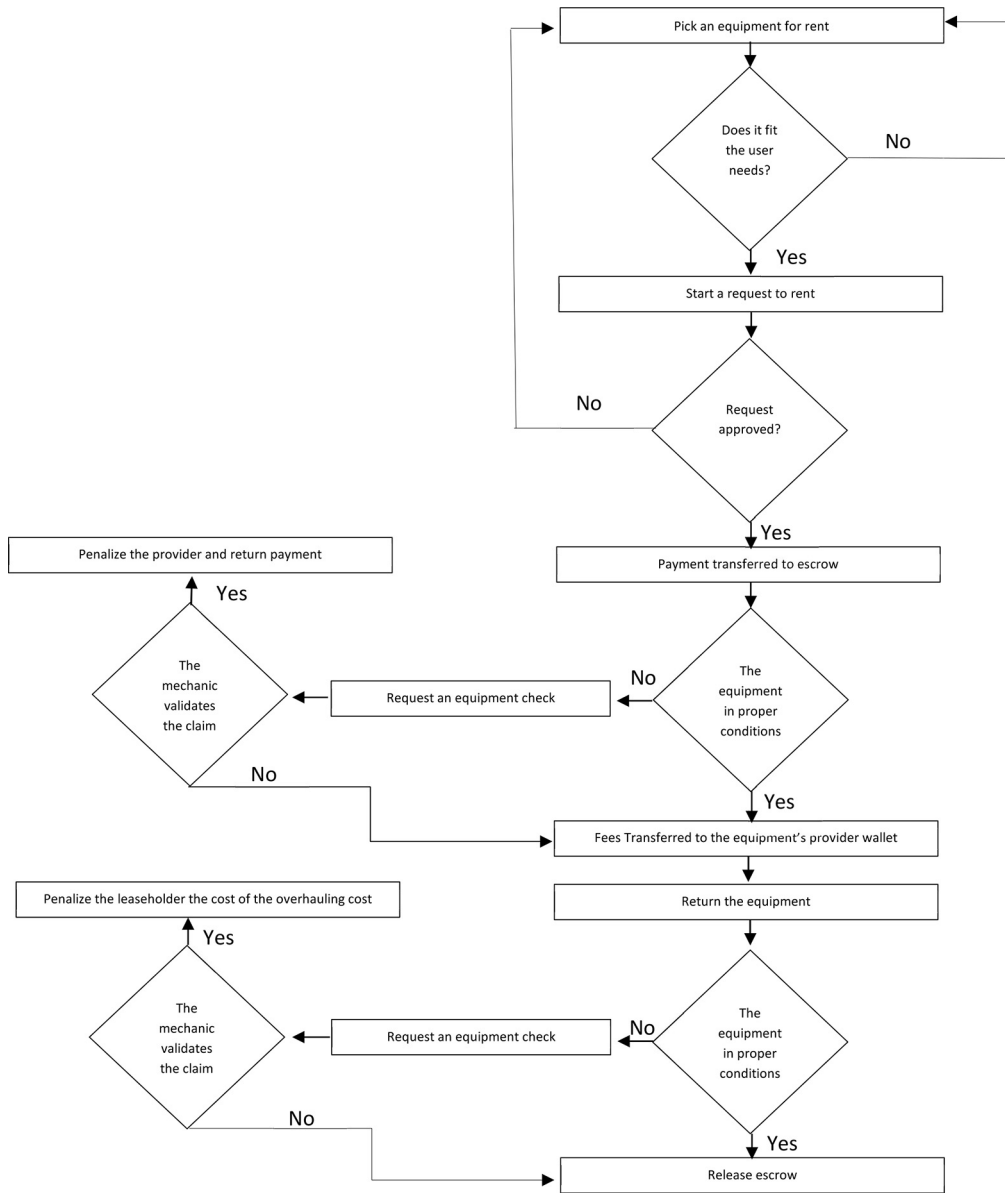


Figure 2
The business logic of the proposed construction collaborative DAO.

5. Conclusion

The construction industry adoption of digitalisation and information technology tools has helped in boosting its performance by encouraging collaboration and improving data utilisation. However, several aspects of the industry remain fragmented and vulnerable. This article discussed three of these aspects: poor governance, opportunism in collaboration and corruption in construction. While these aspects pervasively affect the construction industry, Blockchain-based organisation management seems like a good fit for such problems.

The study introduced the DAO in construction and the possibility of incorporating it in construction practices to improve the construction management and technology synergies.

The DAO concepts can replace the rigid governance model of construction organisations with a dynamic governance model where roles are flexible with a balanced distribution of power. The DAO also can change how organisations share information and collaborate when forming a construction-related alliance. Blockchain, in general, was introduced in several studies as a corruption combating method. The DAO concept represents one of the methods where Blockchain can play a key role in reducing corruption in construction practices by implementing rigorous auditing systems and live contract monitoring.

It is important to understand that the DAO is not meant to totally replace the traditional governance structures but to improve how they collaborate with each other by introducing a powerful digital management platform. DAO governance platforms, when developed properly, provide participants with transparent management experience with highly defined roles and responsibilities which should encourage participants to use it to prove they are doing their share of responsibilities.

The article presents two hypothetical DAOs. The first is the stockholders' governance DAO, which shows an example of an airport project governance protocol using Blockchain technology. The second example illustrates a collaborative construction DAO, an advanced DAO, which refers to the use of Blockchain in addition to other technologies, such as the Internet of Things (IoT).

The concept of DAO in construction is promising. However, further research is required to develop a deeper understanding of smart contracts, a fundamental part of DAOs. DAOs currently lack legal recognition. Nevertheless, they could be implemented as additional governance measures to increase transparency in construction companies and projects.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support from the Portuguese Foundation for Science and Technology (FCT) through the PhD. Grant 2020.05786. BD.

This work was financially supported by Base Funding – UIDB/04708/2020 of the CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – Funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC).

References

- [1] M. N. Mohd Nawi, N. H. Baluch, and A. Y. Bahaudin, "Impact of fragmentation issue in construction industry: An overview", in *MATEC web of conferences*, 2014, vol. 15, p. 01009.
- [2] M. Darabseh and J. P. Martins, "Risks and Opportunities for Reforming Construction with Blockchain: Bibliometric Study", *Civ. Eng. J.*, vol. 6, no. 6, pp. 1204-1217, 2020.

- [3] J. You, Y. Chen, W. Wang, and C. Shi, "Uncertainty, opportunistic behavior, and governance in construction projects: The efficacy of contracts", *Int. J. Proj. Manag.*, vol. 36, no. 5, pp. 795-807, 2018.
- [4] K. S. Rebeiz and Z. Salameh, "Relationship between governance structure and financial performance in construction", *J. Manag. Eng.*, vol. 22, no. 1, pp. 20-26, 2006.
- [5] U. Zaman, R. D. Nadeem, and S. Nawaz, "Cross-country evidence on project portfolio success in the Asia-Pacific region: Role of CEO transformational leadership, portfolio governance and strategic innovation orientation", *Cogent Bus. Manag.*, vol. 7, no. 1, p. 1727681, Jan. 2020, doi: 10.1080/23311975.2020.1727681.
- [6] A. B. Ngowi, "The role of trustworthiness in the formation and governance of construction alliances", *Build. Environ.*, vol. 42, no. 4, pp. 1828-1835, Apr. 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.02.013.
- [7] F. Fukuama, "Global Corruption Report", Transparency International, 2005.
- [8] E. K. Owusu, A. P. Chan, O.-M. DeGraft, E. E. Ameyaw, and O.-K. Robert, "Contemporary review of anti-corruption measures in construction project management", *Proj. Manag. J.*, vol. 50, no. 1, pp. 40-56, 2019.
- [9] S. Hassan and P. De Filippi, "Decentralized Autonomous Organization", *Internet Policy Rev.*, vol. 10, no. 2, pp. 1-10, 2021.
- [10] P. Tsatsou, "Social media and informal organisation of citizen activism: Lessons from the use of Facebook in the sunflower movement", *Soc. Media Soc.*, vol. 4, no. 1, p. 2056305117751384, 2018.
- [11] S. Wang, W. Ding, J. Li, Y. Yuan, L. Ouyang, and F.-Y. Wang, "Decentralized autonomous organizations: concept, model, and applications", *IEEE Trans. Comput. Soc. Syst.*, vol. 6, no. 5, pp. 870–878, 2019.
- [12] "The DAO of accrue", *The Economist*, May 19, 2016. Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: <https://www.economist.com/finance-and-economics/2016/05/19/the-dao-of-accrue>
- [13] M. Sigalos, "The crypto investors who raised \$47 million to buy a copy of the Constitution lost their bid – here's where the money goes now", *CNBC*, Nov. 19, 2021. <https://www.cnbc.com/2021/11/18/constitutiondao-crypto-investors-lose-bid-to-buy-constitution-copy.html> (accessed Jan. 12, 2022).

Tendências para a atuação profissional na construção civil brasileira

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.2>

Fernanda Ferreira¹

¹ *Faculdade de Tecnologia de São Paulo, São Paulo, Brasil, ID ORCID 1*

Resumo

A pesquisa foi destinada a estudar a influência da Tecnologia da Informação (TI) na indústria da Construção Civil Brasileira, desenvolvido através da revisão da literatura e de pesquisa quantitativa a profissionais da área de construção civil de forma remota devido ao evento da pandemia no Brasil. Entre os resultados obtidos, percebe-se uma indústria completamente renovada, porém para alguns respondentes essa ainda não é uma realidade brasileira. Durante a execução dessa pesquisa, também foi possível perceber novas tendências profissionais como a adaptação dos profissionais da construção civil as novas tecnologias como em "hardware", "software", segurança digital, realidade virtual e aumentada, redes neurais, "big data analytics", "data science", internet de todas as coisas, robotização na construção civil, pré-fabricação, "business intelligence" e "Building Information Modelling" (BIM). Tudo isso alinhado aos desafios da sustentabilidade e das certificações ambientais, pois como em qualquer outro segmento industrial temos nossa parcela de responsabilidade de impacto no planeta.

1. Introdução

Este artigo é um resumo de uma pesquisa onde analisou-se a evolução e o desenvolvimento do setor com relação as novas tecnologias da informação (TI), o que instigou sobre quais seriam os impactos positivos quando da implantação no gerenciamento de obras, da iniciação ao encerramento, da concepção da obra ao desenvolvimento do canteiro até a sua entrega.

O gestor de obras entende que gerencia através de outras pessoas [1], e isso significa consolidar um meio de comunicação eficiente. E esse processo de comunicação passa nos dias de hoje por meios tecnológicos de transmissão de informação, entre pessoas, entre máquinas e entre máquinas e pessoas, tudo de forma colaborativa visando o sucesso de realização da obra.

Para gerenciar e escolher as metodologias gerenciais ideais para cada projeto necessita-se conhecer e dominar técnicas e ferramentas consolidadas na área de construção civil [2], lidando com as restrições de recursos, prazos e custos, característico de projetos, levando em conta ainda as exigências de singularidade e empenho [3]. E é o gerenciamento da construção que define de que forma os recursos disponíveis ao gerente podem ser mais bem aplicados, então pensamos na força humana, máquinas e equipamentos, materiais e dinheiro [4].

Os projetos existem e operam em ambientes que podem ter influências. Essas influências podem ter um impacto favorável ou desfavorável sobre o projeto. Duas importantes categorias de influência são os Fatores Ambientais da Empresa (FAEs) e os Ativos de Processos Organizacionais (APOs). Os FAEs se referem às condições fora do controle da equipe do projeto que influenciam, restringem ou direcionam o projeto (cultura, estrutura e governança organizacionais, distribuição geográfica de instalações e recursos, infraestrutura, "software" de tecnologia da informação, disponibilidade de recursos, capacidade dos funcionários, condições de mercado, influências e questões sociais e culturais, restrições legais, banco de dados comerciais, pesquisa acadêmica, padrões governamentais ou setoriais, considerações financeiras e os elementos ambientais físicos). Os APOs são os planos, processos, políticas, procedimentos e bases de conhecimento específicas da organização [2].

Portanto, essa pesquisa pautou em entender como a TI influencia o desenvolvimento de projetos de construção civil, tanto nos FAEs, quanto em APOs, pois acredita-se que existe uma ligação entre as escolhas para gerir a obra e a tecnologia da informação utilizada pela empresa.

2. Fundamentação teórica

É preciso entender que, a tarefa mais importante de uma construtora não será executar obras, mas gerenciar informações, possíveis através da informática e de modernos conceitos de gestão [5]. Essa comunicação se estende além das plataformas "Computer Aided Design" (CAD), utilizando-se de "software" de gestão, como Microsoft

Project, Primavera e similares. Ou seja, além da modelagem 3D, pode-se integrar também o cronograma das atividades e o orçamento, além de outros planos, possibilitando a simulação do projeto antes da execução. Desta forma, é possível visualizar e compatibilizar todos os projetos de uma construção em um único modelo interativo que permite visualizar com precisão qualquer estágio da obra, tornando possível a detecção de interferências e análise de pontos críticos durante execução de forma visual [6].

Entretanto, é também indispensável a necessidade de padronização dos processos. Como o "Building Information Modelling" (BIM) que é baseado em uma única fonte de dados, e é vital que sejam determinados padrões, bibliotecas e normas para serem utilizadas em todo o ciclo de vida do projeto e que desde do início da execução, estejam disponíveis para todos os envolvidos. As vantagens do BIM, como por exemplo, estimativas mais precisas, a parametrização das informações permite que todos os insumos sejam quantificados de maneira automática, reduzindo drasticamente o tempo dispendido com o levantamento quantitativo e proporcionando ao cronograma, ao orçamentista e ao plano de aquisições, entre outros maior precisão e coerência nas estimativas [6].

Através da integração entre esses "softwares" e aplicativos, percebesse as tentativas de integração do BIM com o conceito de "BIG DATA", devido a conexão à internet, transações e conteúdos digitais e também o crescente uso da computação em nuvem que tem gerado quantidades incalculáveis de dados, tornando essencial para novas oportunidades de negócios, principalmente dentro de uma organização, através do "Enterprise Resource Planning" (ERP's), onde precisamos analisar e reagir em tempo real [7]. Um dos caminhos mais eficientes nas empresas de construção civil é através da consolidação de seus sistemas de ERP's em sistemas com bancos de dados, como por exemplo, no sistema REVIT, TRON-ORC, VOLARE e o SIENGE, sendo notado a melhoria da qualidade na inteligência de dados para quem os utiliza, o aumento da confiabilidade nas informações presentes, da facilidade no acesso a resultados obtidos pela organização, e da agilidade no processamento de informações, em uma mesma plataforma, o que oferece ao gestor uma visão ampla de todo o negócio e melhor visibilidade de todo o desempenho da organização. Não existe BIM sem a integração entre as especialidades da construção civil, como por exemplo, arquitetura, estrutura, instalações, cronograma, orçamento, sustentabilidade, manutenção, responsabilidade e segurança ocupacional.

O "Big Data Analytics" estipula o impacto no orçamento e no tempo de conclusão da obra ao substituir determinado material ou procedimento. Com o auxílio da tecnologia BIM, pode-se criar toda a infraestrutura, além de fazer projeções e cálculos sobre possíveis mudanças, dados financeiros, cronogramas, documentos técnicos e informações relevantes que também entram na jogada para auxiliar nas tomadas de decisão. Há estimativas que apostam em um crescimento de 85% do setor da construção no mundo inteiro, através das seguintes aplicações práticas da análise de dados no dia a dia dos profissionais do setor, como a facilidade na gestão de projetos;

a orçamentação e o planejamento da obra; a análise de indicadores e o cruzamento de dados [8].

As plataformas BIM também precisam de informações de qualidade, e que estas sejam direcionadas as suas necessidades. Não somente nas peças gráficas de uma obra, seu cronograma, seu orçamento podem ser influenciados pelo gerenciamento, pela análise e pela segurança de seus dados, visto agora como informações relevantes, gerando conhecimento. Nos sistemas que tratam as informações, permitimos o desenvolvimento da inteligência artificial e as máquinas que aprendem cada vez mais.

A 'Internet de todas as Coisas' (IoE – "Internet of everything") tem como base as pessoas, os processos (levando informações para as pessoas), os dados e as coisas (dispositivos físicos conectados a internet que tomam decisões independentes), tudo isso com a popularização da computação em nuvem, com dispositivos de armazenamento e microprocessadores mais pontes e menores. Exemplos de máquinas rotineiras ligadas as pessoas podem ser consideradas os computadores, "notebooks", servidores, impressoras, telefones celulares, terminais, câmeras de segurança, "tablets", leitores de cartões, leitoras de códigos de barras, sensores, entre outros exemplos. Nos dias de hoje, a computação em nuvem colabora nessas conexões. E na indústria da construção civil não é diferente. Por exemplo, uma retroescavadeira automatizada consegue ler o projeto desenvolvido em "softwares" de desenho de construção civil e executar a escavação com grande precisão, muito melhor e muito mais rápido do que com um operador. E é essa integração entre "softwares" e "hardwares" a essência do IoE.

A inserção de etiquetas para Identificação por Rádio Frequência (RFID) em canteiro de obras permite rastrear materiais e equipamentos, ou acompanhar a vazão nas torneiras e monitorar o consumo de água. Existem empresas que já utilizam sensores vestíveis (permitem monitorar a fadiga dos trabalhadores e reduzir a possibilidade de acidentes no canteiro) e o monitoramento da estrutura (sensores sem fio para monitorar a incidência de carga e eventos na estrutura). Outro exemplo, os drones ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), tiveram ótima aderência aos canteiros de obras brasileiros. Ou seja, os drones auxiliam o uso do BIM para desenvolvimento de projetos, além do monitoramento do canteiro de obras para acompanhar o progresso dos trabalhos, o mapeamento e modelagens em 3D para topografias de referenciamento, na avaliação de terrenos, no monitorar de funcionários como a verificação do uso de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) obrigatórios e na inspeção e monitoramento de patologias [9].

"Machine Learning" é outro exemplo, (computação cognitiva, em português) que é uma parte da inteligência artificial que permite às máquinas consigam aprender. Um exemplo interessante é o da Smartvid.io. A empresa desenvolveu uma plataforma que agrega dados visuais do canteiro para analisá-los. Assim, gera "insights" sobre segurança, qualidade, uso de equipamentos e rastreamento de progresso. Dessa maneira, a inovação viabiliza a realização de inspeções digitais sem a presença de um profissional em campo [9].

A Realidade Aumentada (RA) é outra das novidades na Construção Civil que caiu no gosto de construtores e incorporadores brasileiros. A Realidade Aumentada é uma espécie de extensão da realidade virtual. Essa inovação permite aos usuários caminhar por ambientes 3D. Assim, é possível visualizar e coletar informações em tempo real. Ela permite, na elaboração de um projeto, visualizá-lo no ambiente para verificar aspectos como dimensão e compatibilidade. Além disso, a RA é um recurso valioso ao mostrar projetos arquitetônicos para clientes. Há inúmeros aplicativos e "softwares" baseados em realidade aumentada desenvolvidos para a Construção Civil, como por exemplo: **MeasureKit, Arki, SmartReality e Augment** [9].

Lens é uma combinação de Big Data e BIM e é uma tecnologia bem recente. É uma plataforma 3D que permite modelagens e simulações baseadas em histórico de dados. Permite que alterações sejam feitas com maior consciência sobre as possíveis consequências e sem grandes sustos. O objetivo do sistema é ser uma ferramenta mais eficiente para o planejamento das construções, tornando mais eficaz o gerenciamento global e as tomadas de decisão. É basicamente a utilização de um grande banco de dados com informações sobre o projeto combinado com o BIM, e a partir dessa combinação fazer simulações. É uma tecnologia que pode ser muito útil, por permitir manipulação em tempo real, fazendo com que os impactos de qualquer possível alteração sejam previstos e avaliados. É uma aplicação de "Data Science" na Engenharia Civil bastante complexa, mas muito interessante [10].

Existem robôs com tecnologias que permitem exercer diversas funções, com alta flexibilidade, precisão e destreza. Como por exemplo, o Robô SAM 100, que é uma tecnologia 500% mais rápida que os humanos. Ele possibilita que seja capaz de colocar cerca de 3.000 tijolos por dia [11]. Se são os robôs que estão construindo os prédios, uma gama de novas possibilidades se abre. Paredes retas existem parcialmente para a conveniência de construtores e arquitetos – mas para um robô, uma parede curva não é nenhum bicho de sete cabeças. Assim, na casa DFAB, uma casa-modelo usada para testes nos subúrbios de Zurique, na Suíça, a parede principal segue uma curva elegante e irregular. Ela é construída em torno de uma estrutura de aço, soldada por robôs, que os humanos dificilmente construiriam [12]. O Instituto de Ciência e Tecnologia Industrial Avançada (ICTIA) do Japão desenvolveu um robô humanoide chamado de HRP-5P, capaz de instalar sozinho placas de gesso, também conhecidas como "drywalls" [13].

As impressoras 3D podem construir objetos sólidos com qualquer formato, inclusive casas inteiras. A ideia deles é utilizar o processo que chamam de "modelagem de contorno" unido à extrusão de concreto para levantar edificações em questão de horas. Ao invés de plástico, a modelagem de contorno usará concreto [14].

Outra novidade é o uso de equipamentos inteligentes em canteiros de obras, como por exemplo, o robô que faz demolições em estruturas de concreto. O equipamento utiliza jatos de água de alta pressão para pulverizar e separar o material do elemento estrutural. Batizada de ERO, a máquina permite que o aço armado fique completamente limpo e possa ser reutilizado, separando o cimento do agregado, através

de um processo de decantação faseada, destinando seus resíduos a peças pré-fabricadas. Além do ERO, temos um equipamento que ajuda a minimizar o erro humano em obras. O dispositivo utiliza a tecnologia laser EDM para escanear paredes, fiscalizar nivelamentos e investigar se o projeto é seguido à risca. Chamada de “robô construtor”, que permite também verificar as instalações elétricas e hidráulicas das edificações. Em formato de carrinho guiado por controle remoto [14].

Para um planeta em transformação, precisamos de uma nova construção civil integrativa, onde toda essa inovação não tem sentido se a concepção da obra não **contemplar processos, sistemas e materiais construtivos sustentáveis**, como por exemplo: o “retrofit” em edificações abandonadas e sem uso; telhados verdes; agricultura urbana; à economia circular; à arquitetura biofílica (voltada ao bem-estar emocional e saúde física); as certificações ambientais (LEED, Selo Procel, ACQUA, Casa azul e a Empresa B); aos projetos de concepção de cidades inteligentes e sustentáveis; à descarbonização da construção civil; à eficiência energética; ao uso racional de recursos naturais; à gestão sustentável da água; destinação dos resíduos e a todas as ações que estão ligadas ao “Triple Bottom Line” (TBL): o econômico, o social e o ambiental.

Finalmente, outra **nova exigência aos profissionais da construção civil é o saber trabalhar e se comunicar de lugares remotos**, exigindo competências digitais em função da recente pandemia. Projetos, orçamentos, cronogramas, planos diversos e reuniões podem ser realizados remotamente, o que se tornará em breve, uma exigência para os jovens profissionais entrantes no mercado de trabalho, portanto, uma maior concorrência.

A mudança tecnológica que se avizinha, vem para mudar a sociedade, a economia e os empregos. Os estudantes atuais estão nessa roda viva de mudanças radicais e é preciso a visão de uma educação renovada que atenda a demanda de mercado. O aprendizado no futuro será dinâmico e interativo. Identificar o potencial do aluno e intensificar sua experiência de aprendizado com realidade virtual e simulação desempenharão um papel muito maior [15].

Ninguém é capaz de prever todas as inovações digitais que os próximos anos trarão. E os elementos do mundo digital – “software”, “hardware”, redes e dados – estão invadindo o mundo empresarial de uma forma muito rápida e profunda. Independentemente do setor ou localização geográfica, as empresas serão muito mais digitais no futuro. Portanto, é inevitável o momento para começar a buscar a maestria digital. E as empresas “Mestres Digitais” desenvolvem habilidades digitais ao repensarem e aprimorarem seus processos, a criação de vínculos com os seus clientes e seus modelos de negócios, além de desenvolverem sólidos recursos em liderança para imaginar e impulsionar a transformação [16].

3. Questionário estruturado a profissionais da área de construção civil

O questionário divulgado foi respondido por 21 profissionais. As 3 primeiras perguntas apresentam o perfil dos entrevistados. A primeira pergunta é sobre qual tipo de empresa do setor da construção civil o entrevistado trabalha, conforme o gráfico 1.



Gráfico 1
Tipo de empresa do setor da construção civil que você trabalha.

A maioria dos respondentes são empresas prestadoras de serviços e consultoria da indústria da construção civil, construtoras e empresas de projetos de construção civil. A segunda pergunta mostra a função que o entrevistado exerce na empresa em que trabalha, conforme o gráfico 2, onde 33,3% são engenheiros, 23,8% são coordenadores de obras e 9,5% são arquitetos, totalizando a maioria.

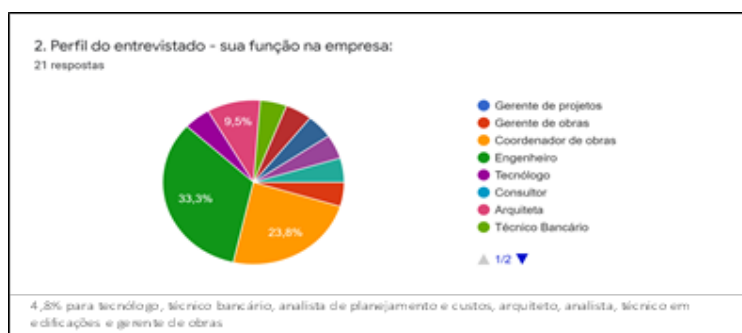


Gráfico 2
Função que o entrevistado exerce na empresa em que trabalha.

Por fim, sobre o perfil do entrevistado, perguntou há quanto tempo o entrevistado trabalha no setor, conforme o gráfico 3. Percebe-se que, a maioria dos respondentes tem de 0 a 5 anos de experiência, ou seja, 61,9%.

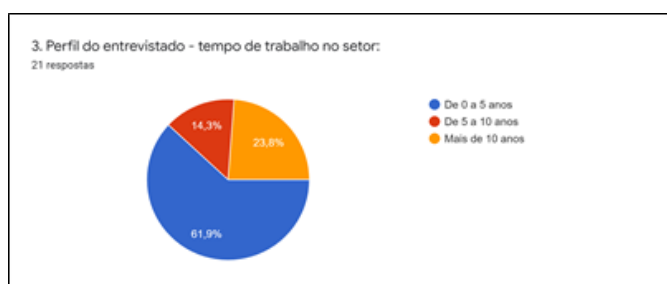


Gráfico 3
Tempo de trabalho no setor de construção civil.

Sobre a pesquisa em questão foram feitas 9 perguntas aos entrevistados. A maioria dos entrevistados utiliza planilha eletrônica, editor de texto e "software" específico para o cronograma de obra, "software" para o desenvolvimento do projeto (peças gráficas), "software" específico para o orçamento da obra e admitem usar tecnologia da informação para comunicação, por exemplo, intranet, videoconferência etc (tabela 1).

Tabela 1

Infraestrutura de "software" que a empresa possui.

A 4ª pergunta feita aos entrevistados foi sobre a infraestrutura de software que a empresa possui.

() Software para o desenvolvimento do projeto (peças gráficas)	57,10	%
() Editor de texto	61,90	%
() Fluxogramas	28,60	%
() Planilha eletrônica	66,70	%
() Orçamento da obra	52,40	%
() Cronograma da obra	61,90	%
() Gerenciamento de aquisições	23,80	%
() SAP – gestão integrada	19,00	%
() Comunicação, por exemplo, intranet, videoconferência, etc	52,40	%
() Gestão de execução da obra, logística, recursos humanos, materiais, etc	33,30	%
() Gerenciamento dos riscos	14,30	%
() BIM	14,30	%

Sobre infraestrutura de "hardware" que a empresa possui, os entrevistados dizem usar "notebooks", computadores, dispositivos móveis, os celulares (gráfico 4). E a tecnologia robótica na obra, admitem usar equipamentos de segurança, máquinas de infraestrutura e drones (tabela 2).

Gráfico 4

Infraestrutura de hardware que a empresa possui.

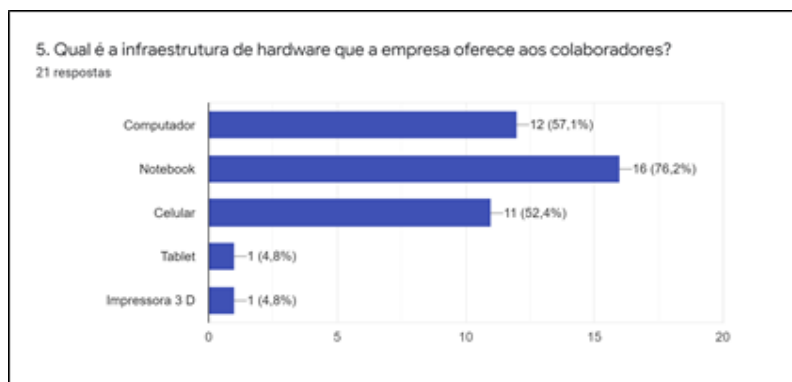


Tabela 2

Tecnologia robótica na obra (drone, robôs, máquinas e equipamentos).

A 6ª pergunta é se a empresa utiliza alguma tecnologia robótica na obra (drone, robôs, máquinas e equipamentos).

() Drones	23,80%
() Robôs	0,00%
() Máquinas de infra-estrutura	28,60%
() Equipamentos de segurança, por exemplo, catraca inteligente	42,90%
() Impressora 3D	4,80%
() Outras...	

Infelizmente, mais da metade não atualizada periodicamente seus bancos de dados (gráfico 5). A maioria não utilizam a “Internet de Todas as Coisas” no canteiro de obras (gráfico 6), como também a maioria não incorpora “Internet de Todas as Coisas” na concepção do projeto de construção de modo a incorporar a futura edificação (gráfico 7). Entretanto, sobre se a impressão de edifícios com uma impressora 3D ser ou não uma realidade no Brasil, a maioria acredita que imprimir edificações com uma impressora 3D será uma realidade no futuro no Brasil (gráfico 8). Finalmente, sobre a utilização de realidade virtual e da realidade aumentada na fase da concepção do projeto de construção civil, a maioria diz que não utilizam essas tecnologias (gráfico 9).

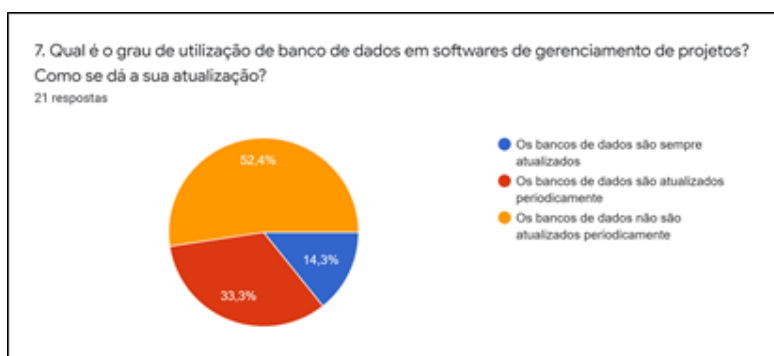


Gráfico 5
Grau de atualização de banco de dados em softwares de gerenciamento de projetos.



Gráfico 6
Aplicação da “Internet de Todas as Coisas” no canteiro de obras das empresas.



Gráfico 7
A empresa já incorpora “Internet de Todas as Coisas” na concepção do projeto de construção de modo a incorporar a futura edificação.

Gráfico 8

Imprimir edifícios com uma impressora 3D no Brasil.

**Gráfico 9**

Sobre a utilização da realidade virtual e da realidade aumentada na fase da concepção do projeto de construção civil.



4. Conclusões

A tarefa mais importante de uma construtora é gerenciar informações, como a utilização do BIM, que necessariamente deve ser baseado em uma única fonte de banco de dados integrado a outros sistemas de informação, respeitando determinados padrões, bibliotecas e normas para serem utilizadas em todo o ciclo de vida do projeto. Assim será permitido que, todos os insumos sejam quantificados de maneira automática, reduzindo drasticamente o tempo dispendido com o levantamento quantitativo e proporcionando ao cronograma, ao orçamento e ao plano de aquisições, maior precisão e coerência. Não existe BIM sem a integração entre as especialidades da construção civil, como por exemplo, arquitetura, estrutura, instalações, cronograma, orçamento, aquisições, contratos, sustentabilidade, manutenção, responsabilidade e segurança ocupacional.

As plataformas BIM serão influenciadas pelo desenvolvimento e aprimoramento das máquinas que aprendem, da inteligência artificial, da Realidade Aumentada (RA), da impressão 3D de edifícios e pela aplicação do Lens que é uma combinação de "Big Data" e BIM. Tornando o BIM mais eficiente para o planejamento das construções, mais eficaz no gerenciamento global e as tomadas de decisão.

Portanto, é inevitável o momento para começar a buscar a maestria digital. E as empresas "Mestres Digitais" são as que desenvolvem habilidades digitais ao repensarem

e aprimorarem seus processos, na criação de vínculos com os seus clientes com seus modelos de negócios, além de desenvolverem sólidos recursos em liderança para imaginar e impulsionar a transformação.

Infelizmente, as empresas brasileiras ainda estão em um estágio pré maturidade digital, mas para alguns entrevistados, algumas ferramentas e técnicas tem encontrado boas aplicações do TI na construção civil.

Referências

- [1] A. Mersino, *Inteligência Emocional para Gerenciamento de Projetos*. Trad. Roger Maioli dos Santos, São Paulo, SP: M.Books do Brasil Editora Ltda, 2009.
- [2] PMBOK, “Project Management Body of Knowledge”, 6ª. ed. Project Management Institute (PMI), Pennsylvania, USA, 2017.
- [3] M. M. Carvalho and R. Rabechini Jr., *Construindo Competências para Gerenciar Projetos*. São Paulo, SP: Atlas, 2006.
- [4] D. W. Halpin and R. W. Woodhead, *Administração da Construção Civil*. 2ª. ed. Trad. Orlando Celso Longo e Vicente Custódio M. de Souza. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2004.
- [5] R. Almeida, “Trama de consciência”, *Revista Construção São Paulo*, nº2652, pp.14-21, São Paulo, SP, Brasil, 1998.
- [6] F. M. P. F. R. Ferreira and N. Rofner, “BIM – Uma nova forma de projetar”, in *Anais do ICEUBI 2011 – International Conference on Engineering – Innovation & Development*. Universidade da Beira Interior, Covilhã, Portugal, 2011.
- [7] C. Taurion, *BIG DATA*. Rio de Janeiro, RJ: Brasport, 2015.
- [8] MOBUSS, “Big Data Analytics: como a indústria da construção pode se beneficiar da análise de dados”, *MOBUSS CONSTRUÇÃO*, 2018. Disponível: <<https://www.mobussconstrucao.com.br/blog/big-data-analytics/>>. Acesso em: 19 nov. 2019.
- [9] INBEC – Instituto Brasileiro de Educação Continuada, “Tecnologia – Quais são as aplicações do Big Data na construção civil?” *Site Halonoriedade*, 2019. Disponível: <<https://halonoriedade.com.br/tecnologia-quais-sao-as-aplicacoes-do-big-data-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [10] REVISTA CONSTRUA NEGÓCIOS, “A aplicação de Data Science na construção civil”, *Site Revistaconstrua*, 2018. Disponível em: <<https://www.revistaconstrua.com.br/noticias/arquitetura/a-aplicacao-de-data-science-na-construcao-civil/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [11] ATFLAW, “Construção Civil e tecnologia: como os robôs podem se tornar os principais agentes em obras”, *Site Atflaw*, 2018. Disponível: <<https://www.atflaw.com.br/construcao-civil-e-tecnologia-como-os-robos-podem-se-tornar-os-principais-agentes-em-obras/>>.

atflaw.com.br/blog/construcao-civil-e-tecnologia-como-os-robos-podem-se-tornar-os-principais-agentes-em-obras>. Acesso em: 18 nov. 2019.

- [12] CONSTRULIGA – A Construção Conectada. “Casa feita por robôs: como a tecnologia pode mudar a construção civil”. *ConstruLiga*. 2019, Disponível em: <<https://blogdaliga.com.br/casa-feita-por-robos-como-a-tecnologia-muda-a-construcao-civil/>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [13] C. C. da Silva, “Construção do futuro: conheça o robô humanoide que instala drywalls sozinho”, *Tecmundo*, 2018. Disponível: <<https://www.tecmundo.com.br/ciencia/134799-construcao-futuro-conheca- robo-humanoide-instala-drywalls-sozinho.htm>>. Acesso em: 18 nov. 2018.
- [14] G. Gonçalves, G. Nascimento, G. Souza and Hani. “Robótica em nosso meio de engenharia civil”, *Site Informaticauit*, 2016. Disponível: <<http://informaticauit.blogspot.com/2016/02/robotica-em-nosso-meio-eng-civil-1a.html>>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- [15] J. Pugliano, *A Chegada dos Robôs – um guia de sobrevivência para os seres humanos se beneficiarem na era da automação*. São Paulo, SP: Madras Editora, 2017.
- [16] G. Westerman, D. Bonnet and A. McAfee, *Liderando na Era Digital – como utilizar tecnologia para transformar seus negócios*. São Paulo, SP: M. Books do Brasil Editora Ltda, 2016.

Revisão da literatura da integração BIM-IA na construção civil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.3>

Rodrigo da Silva¹, Michele Carvalho¹

¹ *Universidade de Brasília, Brasília, ID ORCID 1*

Resumo

O Building Information Modelling (BIM) se tornou nos últimos anos um conjunto de processos com destaque no campo da construção civil, com diversas aplicações em todo o ciclo de vida das construções. Paralelamente, a inteligência artificial (IA) vem sendo aplicada em diversos campos do conhecimento, como a medicina, finanças e a engenharia. Nesse contexto, com o aumento de dados provenientes de construções e um maior número de modelos computacionais BIM sendo gerados a nível mundial, algumas pesquisas começaram a ser desenvolvidas integrando o BIM e a IA para a solução de diversos problemas da engenharia e da arquitetura. Nesse contexto, essa pesquisa fez um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), identificando como essas tecnologias vêm sendo aplicadas e quais soluções elas vêm apresentando para a construção civil. De forma geral, foi possível verificar um aumento da quantidade de pesquisas com a temática BIM-IA, sendo o principal uso no campo de sustentabilidade das construções e otimizações de projetos em geral, muitas vezes relacionados aos aspectos de redução de custos. Quanto aos algoritmos de IA mais utilizados, destacam-se as redes neurais artificiais e os algoritmos genéticos.

1. Introdução

O Building Information Modelling (BIM) pode ser entendido como uma simulação inteligente da arquitetura e engenharia, de forma que um modelo tridimensional de uma construção é produzido digitalmente com diversas informações do empreendimento, podendo ser utilizado durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, do desenvolvimento do projeto até sua eventual demolição [1]. O BIM surgiu como um novo paradigma na construção civil, com utilidade para todos os stakeholders de um projeto.

O BIM vem sendo aplicado em diversas fases de um empreendimento, como o planejamento da construção, controle de custos, análises energéticas, gestão das instalações [2], segurança do trabalho [3] e lean construction [4]. Muitas dessas aplicações do BIM vem sendo comumente associadas às chamadas dimensões do BIM, sendo que as dimensões 3D (modelagem paramétrica), 4D (planejamento da construção), 5D (orçamento), 6D (análise energética) e 7D (gestão das instalações) já estão consolidadas nas pesquisas científicas e no vocabulário comumente utilizado para projetos BIM [5]. Apesar dessas dimensões representarem as maiores aplicações do BIM, tem-se que o mesmo também vem sendo adotado para o controle de patologias em edificações [6] e com o uso de nuvem de pontos para modelagem digital [7], entre diversos outros usos.

A Inteligência Artificial (IA), por sua vez, pode ser definida como uma simulação computacional da capacidade humana de raciocinar e resolver problemas [8]. Existem diversas técnicas de IA atualmente, com aplicações na medicina, finanças, negócios e também na construção civil. Existem diversos algoritmos de IA, cada um com sua aplicabilidade, entre elas classificações, regressões e otimizações. Alguns dos algoritmos mais comuns utilizados atualmente são as redes neurais artificiais, as SVM, as Florestas Aleatórias e os algoritmos genéticos.

A ideia de se utilizar o BIM e a IA em conjunto já fora proposta por [1], principalmente com o aumento do uso do BIM, de forma que haveria uma grande quantidade de modelos computacionais com informações, que poderiam então ser utilizadas por algoritmos de machine learning e deep learning [1].

Nesse contexto, é possível notar que vem crescendo a quantidade de pesquisas que utilizam o BIM juntamente com a IA. Nesse contexto, nota-se que essas pesquisas estão sendo aplicadas em diversos campos da construção civil, e diversas técnicas de IA vem sendo utilizadas com o BIM, seja inserindo dados provenientes do algoritmo nos modelos, seja extraindo os dados do modelo para análises computacionais.

Do exposto, pode-se perceber que o BIM já está sendo constantemente aplicado com a IA para a solução de diversos problemas da engenharia. Entretanto, ainda não há um mapeamento de quais são os problemas da construção civil em que essas técnicas são mais aplicadas e quais os algoritmos de IA são mais aplicáveis em um contexto de Modelagem de Informação da Construção. Nesse contexto, uma análise

dos artigos produzidos nessa temática dos últimos anos se mostra de fundamental importância para se compreender o Estado-da-arte da aplicabilidade do BIM-IA.

2. Objetivos

O objetivo desse artigo é realizar um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), identificando os artigos científicos que foram produzidos desde 2015 em que o BIM e a IA foram utilizados conjuntamente para criar novas soluções no campo da arquitetura, engenharia e construção civil. Quando da realização desse MSL, pretende-se avaliar se a quantidade de artigos que trabalham essa temática vem aumentando ou decrescendo no período, de forma que se possa entender se, de fato, essas metodologias e técnicas vem sendo mais exploradas com o passar do tempo ou se somente podem ser aplicadas em contextos e pesquisas específicas.

Esse artigo também visa classificar os artigos por tipo de técnica de IA utilizada e por campo da construção civil. Dessa forma, pretende-se verificar quais técnicas de inteligência artificial são mais utilizadas em quais campos da engenharia civil e se há predominância de alguma técnica de IA utilizada com o BIM em algum campo específico. Além disso, pretende-se identificar quais são as lacunas do conhecimento, seja algum algoritmo de IA ainda pouco utilizado com o BIM ou algum campo da construção civil que ainda não está se beneficiando plenamente da integração entre essas tecnologias.

3. Metodologia

A base Scopus será utilizada para se encontrar os artigos científicos relevantes para essa pesquisa, uma vez que essa base permite que as pesquisas sejam filtradas por ano de publicação e temática.

As buscas serão efetuadas utilizando-se o termo “Building Information Model*” em conjunto com os termos referentes a cada algoritmo de inteligência artificial. O uso da expressão “Building Information Model*”, se deve ao fato de assim a pesquisa retornar resultados em que foi utilizado tanto o termo “Building Information Model” como “Building Information Modelling”. No desenvolvimento desse artigo, foram mapeados os principais algoritmos:

- Redes Neurais Artificiais (Artificial Neural Networks)
- Redes Neurais Convolucionais (Convolutional Neural Networks)
- Supporting Vector Machines (SVM)
- Bayesian Networks
- Florestas Aleatórias (Random Forest)
- Lógica Fuzzy (Fuzzy Logic)
- Algoritmos Genéticos (Genetic Algorithms)
- Aprendizagem por Reforço (Reinforcement Learning)
- Método de Monte Carlo (Monte Carlo Method)
- Natural Language Processing (NLP)

Dessa forma, serão feitas diversas buscas na base de dados, cada uma com um conjunto de palavras diferentes. Quando se desejar buscar artigos que utilizaram o BIM com redes neurais, por exemplo, será inserida a seguinte expressão no buscador: “Building Information Model*” AND “Neural Networks”.

Tabela 1

Termos de busca na base de dados.

Termo de busca na plataforma Scopus	
	Artificial Neural Networks
	Convolucional Neural Networks
	Supporting Vector Machines
	Bayesian Networks
	Random Forest
	Fuzzy Logic
	Genetic Algorithms
	Reinforcement Learning
	Monte Carlo Method
	Natural Language Processing
“Building Information Model*”	AND

Após essa busca inicial pelos textos científicos, será feita uma leitura flutuante pelo resumo de cada um dos artigos, de forma que se possa retirar desta pesquisa os artigos em que apenas se citou os termos buscados na pesquisa e não houve uma efetiva implementação da metodologia BIM com algum algoritmo de inteligência artificial.

Posteriormente, de posse somente dos artigos que foram selecionados, pretende-se separar os mesmos por ano de publicação, de forma que se possa verificar uma tendência nas pesquisas sobre BIM-IA, avaliando-se se o interesse e as pesquisas sobre essa temática estão crescendo ou diminuindo.

Posteriormente, será feita uma classificação dos artigos conforme o algoritmo de IA que fora utilizado junto com o BIM na pesquisa e qual o campo da construção civil em que a solução BIM-IA foi implementada. O objetivo dessa segregação é identificar se há alguma relação entre os algoritmos de IA existentes e os campos da construção civil. Os campos da construção civil serão identificados conforme o mapeamento for sendo realizado, de forma que haja um maior detalhamento das pesquisas que foram realizadas e não haja a necessidade de se classificar uma pesquisa em um conjunto de áreas pré-definidas.

Os artigos encontrados que não puderem ser classificados em nenhuma categoria específica ou que a aplicação naquele campo ocorra muito poucas vezes com relação à quantidade de artigos serão classificados na categoria “Outros”, consistindo em um conjunto de artigos em que o BIM foi aplicado com alguma técnica de IA, mas para a solução de um problema muito específico da construção civil.

Para facilitar a análise desses artigos, será utilizada uma ferramenta do Business Intelligence, o Power BI, o qual, por meio de dashboards interativos e dinâmicos, permite que se filtre todos os gráficos criados por técnicas de IA e campo da construção civil, facilitando a visualização e identificação dos relacionamentos entre os campos e técnicas.

4. Resultados

A pesquisa realizada identificou um total de 97 artigos publicados de janeiro de 2015 até junho de 2021 em que o Building Information Modelling foi utilizado em conjunto com diferentes técnicas de inteligência artificial. Esses artigos foram obtidos a partir de periódicos e congressos científicos. Ao se separar a quantidade de artigos científicos por ano de publicação, obteve-se a Tabela 2, que foi esquematizada em forma de gráfico na Figura 1.

Ano	Quantidade de Artigos
2015	4
2016	7
2017	10
2018	12
2019	26
2020	21
2021	17

Tabela 2
Artigos por ano de publicação.



Figura 1
Artigos por ano de publicação.

Pela análise da tabela e do gráfico, pode-se notar que o número de pesquisas BIM-IA vem aumentando nos últimos anos, com franca expansão a partir do ano de

2019, em que o número de artigos publicados mais que dobrou com relação ao ano anterior. Existem diversos fatores que podem justificar esse aumento do número de pesquisas nessa área, entre as quais um maior uso do BIM e da IA em escala mundial, maior processamento dos computadores utilizados em pesquisas, o que facilita o uso de alguns algoritmos de IA, maior quantidade de projetos BIM para uso de suas informações em algoritmos de aprendizagem de máquina, maior quantidade de dados coletados de construções e a utilização de pesquisas iniciais sobre o tema que fomentam a continuidade de pesquisas posteriores. Esses motivos, além de outros, em conjunto, podem ser o fundamento para o maior interesse de pesquisadores nessa temática e indicam que esse assunto ainda será bastante explorado nos próximos anos. Além disso, tem-se que até junho de 2021, foram publicados 17 artigos sobre a integração BIM-IA, de forma que é possível inferir que, ao final do ano de 2021, a quantidade de artigos publicados será superior a do ano de 2019, o que ratifica o interesse atual no tema e o aumento no número de pesquisas.

Os artigos também foram classificados por técnica de IA empregada e por campo de aplicação na construção civil, identificando-se a quantidade de artigos em tabelas e gráficos. Pesquisas em que foram produzidos resultados em mais de um campo da construção civil ou utilizaram mais de uma técnica de IA foram contadas mais de uma vez, uma vez que não há obrigatoriedade de uma pesquisa ser aplicada somente em um campo ou utilizar somente uma técnica, sendo relevante para esse estudo identificar todas as correlações.

Conforme o estudo foi sendo conduzido, os artigos foram sendo classificados pela área de aplicação do algoritmo de IA na construção civil, de forma dinâmica, ou seja, as áreas foram definidas conforme a leitura dos artigos fosse realizada. A classificação das áreas de aplicação puderam ser definidas pelo tema geral abordado no texto científico, bem como nas palavras-chave presentes em cada um dos artigos. Dessa forma, tem-se que os seguintes campos de aplicação foram mapeados:

- Canteiro de obras
- Classificações
- Custos
- Desenvolvimento de projetos
- Detecção de Interferências
- Evacuação
- Gestão de Instalações
- Infraestrutura
- Otimizações
- Patologias
- Planejamento e controle de obras
- Point Clouds
- Pré-moldados
- Projeto estrutural
- Sustentabilidade

Nesse contexto, é importante destacar que os campos foram definidos de forma ampla. A categoria “custos”, por exemplo, envolve tanto a parte de orçamentação de obras como os custos envolvidos ao longo do ciclo de vida de um projeto. Outro exemplo é o campo de “sustentabilidade”, o qual envolve tanto análises com relação ao consumo energético de uma edificação e como ao conforto térmico em cada ambiente.

A Tabela 3, abaixo, mostra a quantidade de artigos BIM-IA discriminados pelas áreas da construção civil identificadas. Esses dados foram esquematizados no gráfico da Figura 2.

Área	Artigos
Canteiro de Obras	6
Classificações	15
Custos	11
Desenvolvimento de projetos	7
Detecção de Interferências	3
Evacuação	2
Gestão de Instalações	3
Infraestrutura	1
Otimizações	15
Outros	9
Patologias	3
Planejamento e controle de obras	9
Point Clouds	5
Pré-moldados	1
Projeto estrutural	5
Sustentabilidade	19

Tabela 3
Artigos por área de aplicação.

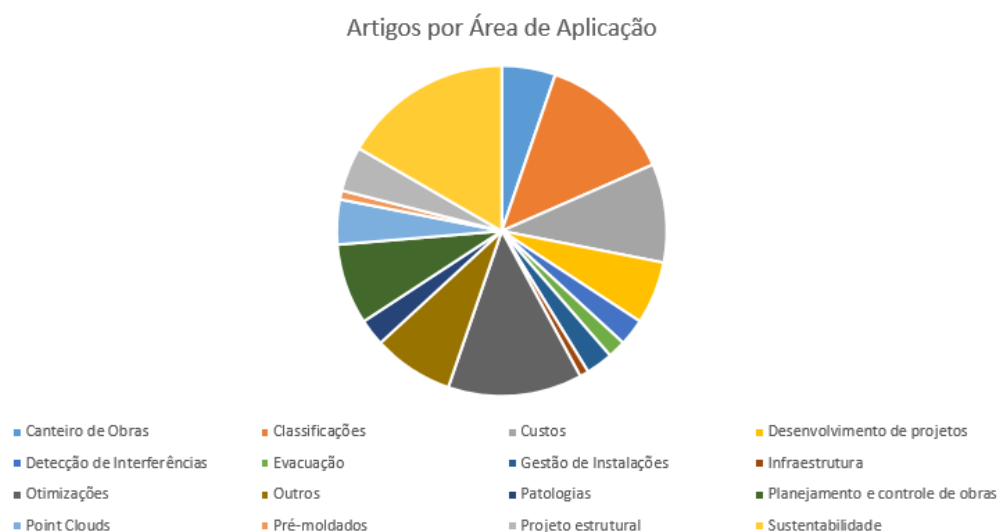


Figura 2
Artigos por área de aplicação.

A Tabela 3 e a Figura 2 mostram de forma clara que o uso do BIM com a Inteligência Artificial tem sido utilizado de forma ampla em quatro problemas da construção civil: sustentabilidade, otimizações, problemas de classificações e custos. O maior destaque é o campo de sustentabilidade das edificações, um tema que foi abordado em um total de 19 pesquisas. O tema de sustentabilidade também é muito relacionado com o campo de custos, pois muitas vezes relaciona-se os custos ao longo do ciclo de vida de uma edificação quando se compara uma construção comum com uma que utiliza materiais ou técnicas sustentáveis, como por exemplo a pesquisa de [9].

De forma geral também é possível se verificar que a integração BIM-IA também é bastante utilizada para otimizações de projetos, ou seja, os pesquisadores se aproveitam das vantagens do ambiente BIM e utilizam algoritmos genéticos ou outras técnicas de IA para melhorar os projetos que estão em desenvolvimento, como por exemplo na área de análise energética, como na pesquisa de [10]. Classificações também foram aplicações comuns de pesquisas BIM-IA, o que pode ser justificado pelo fato de que muitos algoritmos de aprendizado de máquina, como SVM [11] e Florestas Aleatórias [12], podem ser utilizadas com esse intuito.

Entre as pesquisas que utilizaram o BIM-IA para classificação, deve-se notar as que utilizaram algoritmos de IA para classificar elementos de IFC dentro do modelo BIM, como por exemplo as pesquisas de [13] e [14]. Esse tipo de estudo visa promover uma maior interoperabilidade entre softwares, algo essencial no contexto BIM, uma vez que, quando da transferência de um modelo para outro software semelhante, ocorre normalmente classificações erradas de elementos do modelo BIM.

Os artigos também foram classificados quanto à técnica de IA que foi utilizada nas pesquisas, conforme mostrado na Tabela 3 e na Figura 3, sendo as técnicas a serem pesquisadas definidas previamente. Os algoritmos que mais se destacaram foram os algoritmos genéticos, com um total de 37 aplicações em pesquisas, e as redes neurais artificiais (ANN) e convolucionais (CNN), com um total de 25 e 19 pesquisas respectivamente. Se for considerado que as CNN e as ANN são técnicas de aprendizado profundo (deep learning), tem-se que essa técnica foi utilizada em um total de 44 pesquisas, sendo a técnica de IA mais utilizada. Os algoritmos SVM também são utilizados juntamente com o BIM de forma recorrente em pesquisas, mas não são tão utilizados como as redes neurais e os algoritmos genéticos.

Tabela 4
Artigos por técnica de IA.

Técnica de IA	Artigos
Algoritmos Genéticos	37
A*	3
Fuzzy	4
ANN	25
Decision Trees	8
Monte Carlo	1

Reinforcement Learning	3
SVM	12
NLP	1
CNN	19
Bayesian Network	2

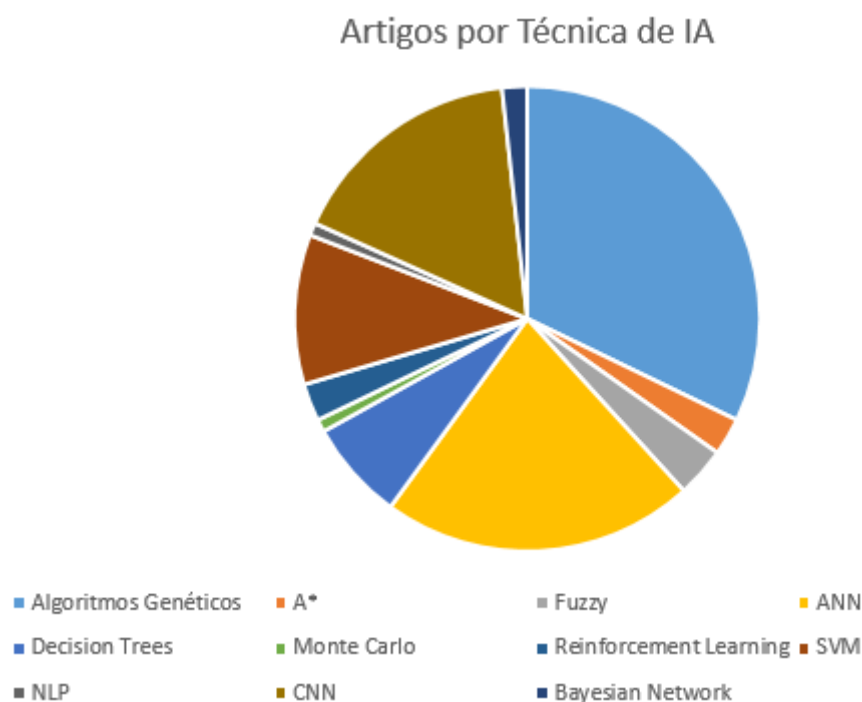


Figura 3
Artigos por técnica de IA.

De forma geral, pode-se concluir que não há nenhuma técnica de IA ou campo de aplicação BIM-IA específico em crescimento quanto ao número de artigos ao longo dos anos, apenas se podendo verificar que há um crescimento geral dessa integração em pesquisas científicas. Também não se pode concluir que, em um ano respectivo, foram conduzidas pesquisas que utilizaram mais uma técnica específica de IA ou uma área específica da engenharia civil foi mais estudada.

5. Conclusões

A partir do Mapeamento Sistemático da Literatura elaborado, foi possível concluir que o BIM e a Inteligência Artificial estão sendo cada vez mais utilizados nos diversos campos da construção civil, sendo um campo de pesquisa em franca expansão. Também foi possível se verificar que as técnicas de IA mais utilizadas juntamente com o BIM são as redes neurais, os algoritmos genéticos e o SVM. Por sua vez, tem-se que os principais campos de aplicação dessas técnicas em conjunto são a sustentabilidade de projetos, o que muitas vezes vem relacionada com estudos sobre os custos dos mesmos, otimizações de projetos e problemas de classificações.

Os algoritmos genéticos são utilizados principalmente para se solucionar problemas de sustentabilidade das construções, otimizações de projetos, planejamento e controle de obras e logística do canteiro. As redes neurais artificiais, por sua vez, são amplamente utilizadas para solucionar problemas de sustentabilidade das construções e problemas de classificações.

Ao mesmo tempo em que foi possível se mapear as principais técnicas de IA utilizadas com o BIM, também foi possível mapear as que ainda são pouco utilizadas com essa metodologia. Monte Carlo, Aprendizagem Bayesiana e aprendizagem por reforço são técnicas que, em conjunto, foram utilizadas somente em 6 pesquisas. Algumas possíveis explicações para essa pequena quantidade de artigos produzidos pode ser que a interoperabilidade de dados no processo BIM pode ainda não estar em um estado ótimo para o uso desses algoritmos. Outra explicação pode ser o fato de que alguns algoritmos, como por exemplo a aprendizagem Bayesiana, são algoritmos de classificação que geralmente são superados por técnicas mais robustas, como as redes neurais e o SVM. Dessa forma, ao se selecionar um algoritmo para se resolver um problema de classificação, essa técnica é normalmente não utilizada, independentemente de se tratar de uma pesquisa aplicada com a metodologia BIM.

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N. J.: Wiley, 2008.
- [2] P. Teicholz, Bim for Facility Managers. IFMA, IFMA Foundation, 2013.
- [3] Kamardeen, I, 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. In: Egbu, C. (Ed) Procs 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010, Leeds, UK, Association of Researchers in Construction Management, 281-289, 2010.
- [4] B. Dave, L. Koskela, A. Kiviniemi, P. Tzortzopoulos. Implementing lean in construction: Lean Construction and BIM. Construction Industry Research and Information Association, United Kingdom, 2013.
- [5] Koutamanis, A. Dimensionality in BIM: Why BIM cannot have more than four dimensions? Automation in Construction, Volume 114, 2020.
- [6] Bernardello, R. A., Borin, P., Panarotto F., Giordano, A., Valluzzi, M. R. Brick and Block Masonry – From Historical to Sustainable Mansory. CRC Press, 2020.
- [7] Thomson, C., Boehm, J. Automatic Geometry Generation from Point Clouds for BIM. Remote Sens, 2015.
- [8] Rich, E., Knight, K. Inteligência Artificial 2ª Edição. McGraw-Hill, 1994.

- [9] Marzouk, M., Azab, S., Metawie, M. BIM-based approach for optimizing life cycle costs of sustainable buildings. *Journal of Cleaner Production*, 2018.
- [10] Ma, G., Liu, Y., Shang, S. A Building Information Model (BIM) and Artificial Neural Network (ANN) Based System for Personal Thermal Comfort Evaluation and Energy Efficient Design of Interior Space. *Sustainability*, 2019.
- [11] Jung, N., Lee, G. Automated classification of building information modeling (BIM) case studies by BIM use based on natural language processing (NLP) and unsupervised learning. *Advanced Engineering Informatics*, 2019.
- [12] Bassier, M., Van Genechten, B., Vergauwen, M. Classification of sensor independent point cloud data of building objects using random forests. *Journal of Building Engineering*, 2019.
- [13] Koo, B., Shin, B. Applying novelty detection to identify model element to IFC class misclassifications on architectural and infrastructure Building Information Models. *Journal of Computational Design and Engineering*, 2018.
- [14] Koo, B., Shin, B., Krijnen, T.F. Employing outlier and novelty detection for checking the integrity of BIM to IFC entity associations. *34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2017.

BUILT CoLAB – Laboratório Colaborativo: Os desafios RDI na construção

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.4>

António Aguiar Costa¹, Luís Sanhudo¹, Ana Rocha¹

¹ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal

Resumo

Nos últimos anos, o setor da Construção tem vivenciado um processo de transição digital com o objetivo de aumentar a sua produtividade e competitividade. Contudo, os resultados deste processo estão ainda aquém do previsto, em grande parte devido às dificuldades de integrar novas tecnologias no funcionamento tradicional das empresas de Construção.

O BUILT CoLAB surge, neste contexto, como um aliado essencial para a incorporação destas ferramentas na indústria, promovendo a transição digital dos edifícios e infraestruturas, bem como a circularidade e sustentabilidade neste setor. O resultado é um ambiente construído mais adaptável, inteligente, resiliente e sustentável. Para cumprir este objetivo, o BUILT CoLAB agrega organizações de investigação e desenvolvimento, instituições académicas, indústria e utilizadores finais num ambiente colaborativo, que promove a transferência de conhecimento e a multiplicação e exploração de resultados.

O presente artigo explana a agenda de Investigação, Desenvolvimento e Inovação deste laboratório colaborativo, focando os seus Grupos de Inovação Intensiva (IIGs) que abrangem áreas prioritárias de elevado potencial como: a integração de processos de Inteligência Artificial; sensorização de edifícios com tecnologia *Digital Twin* e *Internet of Things*; modularização e pré-fabricação de edifícios; automatização e otimização de processos construtivos; licenciamento automático; adoção e difusão de tecnologias de Realidade Virtual e Aumentada; robotização e impressão 3D; entre outros. Estes IIGs pretendem capitalizar desenvolvimentos existentes e alavancar áreas identificadas como tendo elevado potencial, criando produtos e serviços inovadores que possam ser rapidamente introduzidos no mercado.

1. Introdução

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) é vista como uma indústria fragmentada e tradicional, sendo afetada por múltiplos fatores intrínsecos à sua área de atuação como [1]: (1) a elevada personalização dos seus produtos e serviços; (2) a falta de economias de escala; e (3) a diversidade das suas necessidades e exigências. Adicionalmente, atualmente esta indústria enfrenta uma escassez de mão de obra especializada e um crescente aumento dos custos de construção que diminuem o poder negocial das empresas, impactando negativamente a sua qualidade, segurança e produtividade [2]. Por fim, em paralelo a estes fatores, a indústria da AEC encontra-se ainda estritamente vinculada a múltiplas estratégias de sustentabilidade internacionais, nas quais se compromete a ambiciosos objetivos como a diminuição do consumo energético e a redução das emissões de dióxido de carbono do setor [3].

É neste contexto que o laboratório colaborativo BUILT CoLAB é formado, tendo como objetivo desenvolver atividades de investigação, inovação e transferência de conhecimento que originem um aumento da produtividade, competitividade e crescimento sustentável do ecossistema do setor AEC, promovendo a transição digital e climática dos edifícios e infraestruturas, tornando-os adaptáveis, inteligentes, resilientes e sustentáveis.

O presente artigo contextualiza e desenvolve tópicos relacionados com a orgânica de Investigação, Desenvolvimento e Inovação (RDI) do BUILT CoLAB, tendo a atual transformação da indústria como contexto. Além desta secção introdutória, a estrutura do artigo inclui: a Secção 2, que apresenta e examina entidades nacionais e internacionais de carácter semelhante ao BUILT CoLAB; a Secção 3, que apresenta o departamento de RDI, expandindo os tópicos previamente indicados; e, por fim, a Secção 4, onde é realizada uma reflexão focada no primeiro ano de atividade e são apresentados os desenvolvimentos futuros.

2. Laboratórios Colaborativos

Desde o início do novo milénio, com a realização do Conselho Europeu de Lisboa, que as parcerias público-privadas (PPP) na investigação foram consideradas essenciais para a União Europeia alcançar o objetivo de ser uma das economias mais competitivas e dinâmicas a nível mundial [4]. Esta ambição foi reforçada no Conselho Europeu de Barcelona, em 2002, no qual foram estipuladas metas de investimento em investigação e desenvolvimento. Este investimento teve como objetivo responder à incremental fragmentação da investigação europeia e fomentar o investimento público e, predominantemente, privado, no desenvolvimento de inovação e tecnologia – desenvolvimentos esses que impulsionariam o aumento de competitividade e produtividade da indústria.

Desta forma, em 2003, a Comissão Europeia lançou o primeiro tipo de PPP a nível europeu sobre a forma das Plataformas Tecnológicas Europeias (PTE) [5]. Estas tinham como objetivo a promoção da colaboração dos setores públicos e privados na investigação, identificando as atividades e metas relevantes a longo prazo para os seus respetivos setores. Estas atividades levaram frequentemente à criação de novas tipologias de PPPs, tendo as PTEs como origem.

É neste contexto que em 2016, Portugal, tendo como objetivo atingir os Padrões de Desenvolvimento Europeu para 2030 [6] (onde é requerido um investimento em investigação de ~3% do Produto Interno Bruto), estabelece os Laboratórios Colaborativos, através do Programa Interface [7]. Estes Laboratórios constituem PPPs focadas na diversificação e densificação de atividades baseadas em conhecimento para a resolução de desafios complexos, assemelhando-se a casos de sucesso como os *Christian Doppler Laboratories* (Austria), os *Catapult Centers* (Reino Unido), os *Research Centres Programme* (Irlanda) e os *Leading Technology Institutes* (Holanda) [8]. O seu principal objetivo centra-se na definição e implementação de agendas de investigação e inovação, orientadas para a criação de valor económico e social de relevância internacional e impacto nacional. Apresentam um papel igualmente importante na requalificação da população nacional, no emprego qualificado e na atração de investimento, através de uma crescente institucionalização de formas de colaboração entre as instituições de ciência, tecnologia e ensino e o tecido económico e social [9]. Atualmente, são reconhecidos pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e acompanhados pela Agência Nacional de Inovação 35 Laboratórios Colaborativos, dispersos por múltiplas indústrias nacionais, abrangendo áreas estratégicas distintas [9]. Em específico, o BUILT CoLAB integra a área de Materiais, Economia Circular e Sustentabilidade Urbana, tendo sido reconhecido em 2019 e iniciado o seu funcionamento no final de 2020.

O BUILT CoLAB, surge com uma forte ligação à Plataforma Tecnológica Portuguesa de Construção e ao Cluster AEC. Para além destas, o laboratório conta com mais 18 associados, dos quais 10 são empresas do setor e 8 representam entidades do sistema científico e tecnológico. Atualmente, 22 colaboradores constituem a equipa de RDI, que se caracteriza por ser pluridisciplinar nas áreas de engenharia civil, arquitetura, informática e tecnologias da informação e comunicação.

Assente numa abordagem *Technology to Market*, este laboratório colaborativo desenvolve atividades de investigação e inovação em parceria com redes nacionais e internacionais de referência, promovendo a transferência de conhecimentos e a exploração de resultados, tendo em vista o crescimento sustentável do ambiente construído e da produtividade do setor.

3. BUILT CoLAB RDI

3.1. Organização e Gestão

Criado no final de 2020, o BUILT CoLAB RDI tinha uma difícil missão: gerar impacto na indústria no mais curto espaço de tempo. Sabemos que as atividades de investigação, desenvolvimento e inovação são demoradas, por isso o desafio era o de capitalizar desenvolvimentos existentes e focar *quick wins*. Neste sentido, foram identificadas as áreas de desenvolvimento prioritário e as parcerias e colaborações a potenciar, que deram origem aos designados Grupos de Inovação Intensiva (IIGs) (Figura 1). Estes grupos são necessariamente ágeis, com poucos colaboradores, mas com um âmbito e um plano de ação bem definido.



Figura 1
Processo de identificação de áreas de desenvolvimento prioritário e criação da respetiva infraestrutura de apoio.

Assim, surge como requisito obrigatório a identificação clara de um *output* específico, em torno do qual se mobilizam os esforços. Cada IIG conta com uma equipa altamente qualificada, dedicada a gerar resultados inovadores, criando e implementando novos produtos e serviços no mercado. Novos IIGs podem ser estabelecidos caso se identifiquem oportunidades de elevado potencial, com desenvolvimentos existentes a promover colaborações com parceiros dedicados.

À medida que o número de IIGs cresceu, assim como a complexidade dos respetivos desenvolvimentos, o departamento de RDI adaptou-se e criou uma estrutura de ação suportada por núcleos de investigação: *Smart Transport Infrastructures*, *Internet of Things and Smart Technologies*, *BIM Intelligence*, *Green Transition* e *Standardization and Digital Transition* (Figura 2). Desta forma, estes núcleos assumiram a coordenação dos IIGs focados nas suas respetivas áreas, garantindo sempre a sua necessária transversalidade e integração.

Atualmente, o trabalho da equipa RDI encontra-se dividido por 14 IIGs distribuídos por estes cinco núcleos de investigação. Esta divisão é visível na Figura 3, na qual

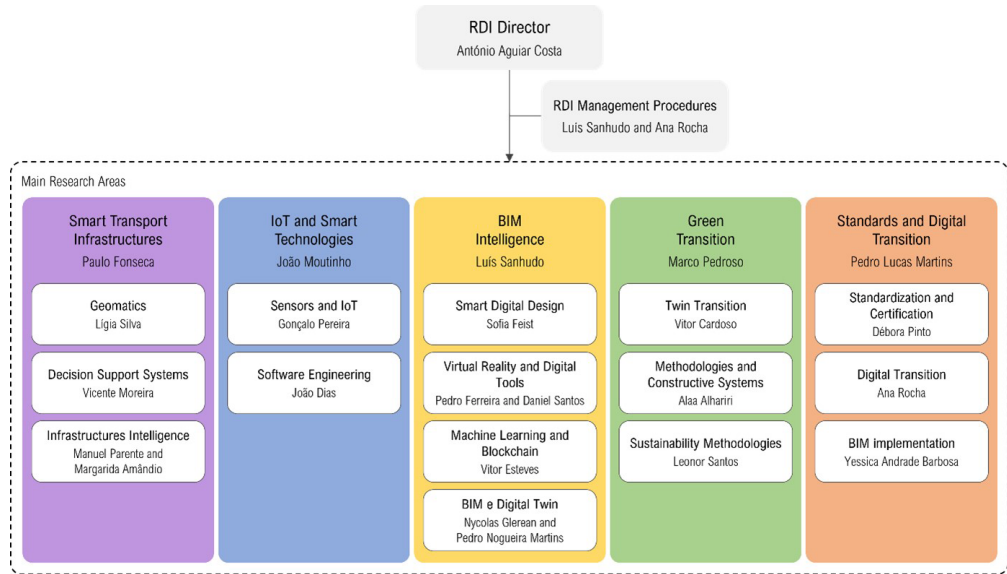


Figura 2
Núcleos de investigação.

3.2. IIGs e Respetivos Desenvolvimentos

Nesta secção são apresentados os IIGs, identificando os seus objetivos e principais linhas de ação (Figura 4), tendo em vista a desmaterialização e otimização de processos no setor AEC. Os IIGs apresentam níveis de maturidade distintos, dado que foram estabelecidos em momentos diferentes e focam temas com diferentes graus de desenvolvimento.

3.2.1. Smart Transport Infrastructures

Automation

Dada a frequência de ocorrência de imprevistos na construção, é imperativo que se proceda constantemente a ajustes no fluxo de trabalho de modo a garantir a utilização ótima de recursos mecânicos e humanos em obra. Para que os ajustes nos fluxos de trabalho, ao longo das várias fases de projeto, sejam baseados em dados e não apenas na experiência dos intervenientes, este grupo de trabalho dedica-se à otimização digital dos recursos em projetos, desde a fase de concurso à fase de execução. O seu trabalho divide-se em três linhas de ação:

- *Automation* – aplicação para monitorização e controlo de atividades de construção em tempo real. Inclui visualizador SIG e módulo para otimização de recursos e produtividade;
- *PAV 4.0* – aplicação para otimização de processos de pavimentação com base em Inteligência Artificial. Adequada a projetos rodoviários. Potencia a interligação com sistemas de IoT e sensores para aquisição e processamento de dados em tempo real;
- *BET 4.0* – aplicação para otimização de processos de betonagem com base em Inteligência Artificial. De forma semelhante ao *PAV 4.0*, potencia a interligação com sistemas de IoT.

IIGs	Smart Transport Infrastructures	IoT and Smart Technologies	BIM Intelligence	Green Transition	Standards and Digital Transition
Positiv					
Simplify					
SMILE					
BIMCloud4All					
BuildingPassport					
HIVE					
Digital Eye					
AUTOMATION					
IoTask					
Building Life					
Circular Dynamics					
CertBIM					
DigiTransition					
DigiTT					

Figura 3
IIGs vs núcleos de investigação.

Smart Transport Infrastructures	IoT and Smart Technologies	BIM Intelligence	Green Transition	Standards and Digital Transition
AUTOMATION Automation PAV 4.0 BET 4.0	IoTask Retrofitting Smart Office Fuel Estimator SmartCommNode	Positiv ModuLIB • ModuLAB • ModuGEN • OPTIMIZE	Building Life EPD Database LCA Optimization BIM LCA plugin	CertBIM BIM Certification BIM Empowerment
DigiTT Drilling Audit		Simplify BIM Checker • BIM Classification		
		SMILE Smart Digital Twin		
		BIMCloud4All Digi4Construction • idBIM - National Object Library		
		Building Passport Blockchain4BIM • Construction Data Templates • BIMBench	Circular Dynamics Circularity GreenSpecs	DigiTransition DigiPME BIMSpecs
HIVE BIM Exporter • VR Cockpit • Construction Simulation				
		Digital Eye Scan2BIM • ConstructionScan • PointLAB		

Figura 4
Linhas de ação por núcleo de investigação e IIG.

DigiTT

Este IIG tem como objetivo o desenvolvimento progressivo de *Digital Twins* para infraestruturas de transporte, centrando os seus desenvolvimentos em duas linhas de ação:

- *Drilling* – desenvolvimento de um *Digital Twin* para operações de perfuração, de modo a aumentar a eficiência de recursos e tomada de decisões nas fases de planeamento e execução. Atualmente está a ser desenvolvido em colaboração com a Mota-Engil;
- *Audit* – desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para otimizar atividades de inspeção de bens rodoviários, integrando Inteligência Artificial e algoritmos de otimização.

3.2.2. IoT and Smart Technologies

IoT

O esforço de digitalização do setor está fortemente condicionado pela dificuldade de conversão dos equipamentos de obra (máquinas), edifícios, estradas ou ferrovia em equipamentos inteligentes, dos quais seja possível extrair dados e conectar à IoT. Assim, este IIG explora sensores, tecnologias de comunicação, autonomia energética, fiabilidade, redundância e plataformas de dados para criar soluções IoT agnósticas, através de quatro linhas de ação:

- *Retrofitting* – instalação de sensores/atuadores em equipamentos e infraestruturas existentes que não foram inicialmente concebidos com capacidades digitais para fornecer dados de controlo e/ou suporte à decisão;
- *Smart Office* – desenvolvimento de uma rede de sensores de baixa potência para construções inteligentes que aumentem a sua eficiência e conforto, gerindo de forma automática ou semiautomática o escritório, de acordo com o seu uso e ocupação;
- *Fuel Estimator* – desenvolvimento de um modelo que permita calcular os consumos de combustível em função do tipo de máquina, caminho, cenário de carga ou condutor, apoiando o planeamento ou tomada de decisão;
- *SmartCommNode* – criação uma arquitetura inovadora, modular e versátil de rede de sensores IoT para fornecer dados de sensores em tempo real.

3.2.3. BIM Intelligence

BIM

De modo a potenciar a transição para uma construção modular sustentável com custos de ciclo de vida otimizados, este IIG visa criar uma plataforma digital que apoie todos os intervenientes a definir melhores soluções e métodos mais eficientes no processo de projeto e construção modular, criando uma rede de colaboração para integrar toda a cadeia de fornecimento. Assim, atualmente, este grupo dedica-se ao desenvolvimento de quatro vertentes distintas:

- *ModuLIB* – biblioteca de módulos BIM integrada no *Autodesk Revit*. Atualmente, encontra-se a ser desenvolvida em colaboração com a Mota-Engil;
- *ModuLAB* – *software* de modularização de projetos e de geração automática e paramétrica de formas modulares. Atualmente está em fase de teste e validação, com a colaboração do Grupo Casais, um *plugin* que analisa níveis de modularização de projetos não modulares, preservando a visão e design original dos arquitetos;
- *ModuGEN* – *software* que permite gerar e otimizar de forma automática projetos de edifícios modulares, apoiando a tomada de decisão durante a fase de conceção;
- *Optimize* – conjunto de serviços para otimização de fluxos de trabalho na fase de conceção. Permite a simplificação de projetos complexos em soluções exequíveis e económicas.

Simplify

Este IIG pretende dar resposta à crescente procura por uma plataforma de licenciamento eletrónico para os municípios, apoiando este processo ao longo do ciclo de vida do projeto de construção. Para tal, estão em desenvolvimentos duas ferramentas digitais que serão testadas e validadas em colaboração com municípios nacionais:

- *BIM Classification* – *software* que permite a inserção de parâmetros pré-definidos num ambiente BIM, bem como a classificação de divisões e/ou zonas de construção em classes pré-definidas (ex. acessos para mobilidade reduzida, caminhos de saída de emergência), de modo a padronizar a forma como os modelos BIM são gerados;
- *BIM Checker* – *software* para verificação automática de regras de construção. Os esforços atuais focam-se na tradução de regulamentos nacionais e municipais em linguagem legível por máquinas, bem como na realização de testes preliminares.

SMILE

Este grupo de trabalho dedica-se à criação e gestão de uma plataforma digital que conecta, em tempo real, o modelo BIM e os sensores IoT instalados no edifício. Esta plataforma apresenta uma interface intuitiva de fácil acesso a partir de qualquer dispositivo. Pretende apoiar e otimizar a operação, exploração e gestão de um edifício ou infraestrutura.

BIMCloud4All

Este IIG foca o desenvolvimento de uma plataforma digital colaborativa para o setor da Construção, no qual se pretende englobar:

- *Digi4Construction* – ecossistema digital que padroniza fluxos de trabalho e colaboração BIM, disponibilizando aplicações, *plugins* e outras ferramentas baseadas em BIM.
- *idBIM* – biblioteca de objetos BIM nacional para o setor. Inclui modelos estruturados e diretrizes para a modelação de objetos BIM.

Building Passport

IIG focado na tecnologia *blockchain* e a sua integração na Construção. Foca três linhas de ação:

- *Blockchain4BIM* – base de dados segura e descentralizada para modelos BIM, garantindo uma informação consistente, validada e confiável ao longo do ciclo de vida do edifício;
- *Construction Data Templates* – diretrizes de interoperabilidade e modelos de dados para ajudar a normalizar a geração de *Building Passports* com base em BIM;

- *BIMBench* – ferramenta de certificação de desempenho energético, baseada em modelos de *machine learning*.

HIVE

A Realidade Virtual (RV) e Aumentada (RA) tem vindo a ser progressivamente adotada em todas as indústrias, apresentando também um grande potencial na indústria AEC. Assim, este IIG pretende desenvolver soluções inovadoras de apoio ao design digital colaborativo, construção virtual e gestão aumentada do ambiente construído, através de três linhas de ação:

- *BIM Exporter* – desenvolvimento de ferramentas de exportação automática de modelos BIM para aplicações de RV e RA. Adicionalmente, este IIG é responsável pela gestão e licenças dos *plugins* em desenvolvimento;
- *VR Cockpit* – *software* que potencia, através de um de uma abordagem em ambiente de jogo, o desenvolvimento de modelos BIM, mitigando as íngremes curvas de aprendizagem associadas a ferramentas de modelação BIM, ao mesmo tempo que fornece novos ambientes de colaboração e análise imersivos.
- *Construction Simulation* – *software* para criação de ambientes de construção simulados, nos quais os trabalhadores da construção civil podem ser instruídos sobre procedimentos altamente especializados através de um conjunto de orientações intuitivas.

Digital Eye

IIG centrado no desenvolvimento e implementação de tecnologias de digitalização a *laser* para monitorização e controlo de obras. Tem como objetivo final a redução de erros e melhoria da eficiência dos processos de construção, focando o seu trabalho em três linhas de ação:

- *Scan2BIM* – automatização do processo Scan-to-BIM, através da geração de modelos BIM e caracterização dos seus elementos de forma automatizada, usando modelos baseados em Inteligência Artificial, mais especificamente *deep learning*;
- *ConstructionScan* – desenvolvimento de uma metodologia que permita a verificação automática do progresso de construção, comparando as nuvens de pontos obtidas no local com o modelo BIM concebido;
- *PointLAB* – criação de uma plataforma digital que permita manipular e analisar nuvens de pontos.

3.2.4. Green Transition

Buiding Life

O presente IIG pretende potenciar e melhorar uma ferramenta já desenvolvida para o cálculo do *Life Cycle Assessment* (LCA) de um edifício em ambiente de modelação *Revit*. O IIG centra a sua atividade em três linhas de ação:

- *EPD Database* – recolha e tratamento de dados das Declarações Ambientais de Produto (DAP) para desenvolvimento de algoritmos de otimização que apoiem a escolha de materiais e produtos;
- *BIM LCA plugin* – desenvolvimento da nova versão do *plugin* LCA para ambientes de modelação BIM, com a incorporação da base de dados de DAPs e os algoritmos de otimização desenvolvidos. Este desenvolvimento tem sido realizado em colaboração com o Instituto Superior Técnico;
- *LCA Optimization* – integração do *BIM LCA plugin* em *software* de modelação BIM, para apoio de projetistas no processo de decisão, nomeadamente na escolha de materiais tendo em conta os seus impactos económicos e ambientais.

Circular Dynamics

Este grupo de trabalho surge da necessidade de contribuir para a transição de uma economia linear para uma economia circular no setor da Construção, dividindo o seu trabalho de investigação em duas linhas de ação:

- *Circularity* – contribuição do BUILT CoLAB como parceiro do Fundo Ambiental para a implementação de um Plano de Ação para a Circularidade no setor da Construção (PACSC), com ações a vários níveis, como a caracterização do estado atual da circularidade, organização de workshops e ações de capacitação, ligados à circularidade e à gestão de Resíduos de Construção e Demolição.
- *GreenSpecs* – desenvolvimento de estruturas de suporte a Pequenas e Médias Empresas (PME) para adoção de requisitos futuros associados à implementação do PACSC, bem como à contratação pública ecológica.

3.2.5. Standards and Digital Transition

DigiTransition

Este IIG tem como objetivo acelerar a transição digital das empresas do setor AEC através das seguintes linhas de ação:

- *DigiPME* – apoio à definição e implementação de um Plano de Ação para a Digitalização do Ambiente Construído a nível nacional. Criação de uma plataforma digital que permitirá mapear as necessidades reais do setor

(através do levantamento da maturidade digital das PMEs), definir medidas estratégicas e fornecer um apoio personalizado às PMEs;

- *BIMSpecs* – desenvolvimento de ferramentas e modelos com requisitos e especificações BIM que apoiem os processos de contratação pública e facilitem a comunicação entre as partes envolvidas, contribuindo de forma ativa para a criação de um mandato nacional BIM.

CertBIM

O panorama internacional de normalização procura regulamentar a implementação BIM através de um enfoque transversal nos diferentes segmentos do setor AEC. O fluxo de desenvolvimento de normas europeias relacionadas com BIM, direta ou indiretamente, requer o estreito acompanhamento da documentação normativa que incide tanto sobre boas-práticas como sobre regras fundamentais de aplicação obrigatória. Este IIG centra-se nas seguintes linhas de ação:

- *BIM Certification* – atividades de normalização e certificação em colaboração com diversas entidades a nível nacional;
- *BIM Empowerment* – definição de atividades de aprendizagem e capacitação que contribuam para a adoção nacional do BIM, ajudando as partes interessadas a identificar necessidades de qualificação para satisfazer qualificações mais elevadas e melhorar os questionários de pré-qualificação dos fornecedores.

4. Conclusões e trabalhos futuros

Atualmente, a equipa RDI do BUILT CoLAB centra o seu trabalho nos 14 IIGs apresentados, explorando novas tecnologias e verificando os benefícios da sua incorporação, com o propósito de desenvolver produtos e serviços inovadores que acelerem a resposta do setor aos novos desafios económicos, ambientais e sociais. Os progressos são desenvolvidos para um fim específico, aliado aos interesses e necessidades identificadas pelos parceiros públicos e privados, que pretendem otimizar e desmaterializar os seus processos, alavancando o aumento da produtividade e desempenho geral do setor. Os *outputs* dos grupos de trabalho incluem *plugins* de uso em ferramentas de modelação BIM, *softwares* específicos para planeamento e controlo de trabalhos, planos de ação para a sustentabilidade e normalização, entre outros.

No futuro, pretendemos continuar a identificar e criar parcerias que promovam desenvolvimentos de alto potencial de aplicação na indústria, contribuindo de forma muito ativa na desmitificação, acesso e implementação da digitalização. Um dos principais focos, a curto prazo, será promover várias ações de disseminação e capacitação junto da indústria, essencialmente das PMEs, para que estas adotem as novas tecnologias e as ferramentas digitais disponíveis, alavancando uma transição digital homogénea e transversal.

5. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

- [1] Jan Koeleman, Maria João Ribeirinho, David Rockhill, Erik Sjödin, and Gernot Strube, “Decoding digital transformation in construction”, in *McKinsey Co*, 2019.
- [2] D. Calvetti et al., “BIM WD: A Dimensão dos Trabalhos Integrada nos Modelos de Informação”, in *3º Congr. Port. ‘Building Inf. Model (ptBIM 2020)*, 2020, doi: 10.24840/978-972-752-272-9.
- [3] L. Sanhudo et al., “BIM framework for the specification of information requirements in energy-related projects”, *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 28, no. 10, pp. 3123-3143, 2021, doi: 10.1108/ECAM-07-2020-0488.
- [4] European Parliamentary Research Service, “Public-private partnerships in research”, 2017.
- [5] European Parliamentary Research Service, “At a Glance At a Glance”, 2020.
- [6] European Union. “Projecto Europa 2030:desafios e oportunidades – relatório ao Conselho Europeu do Grupo de Reflexão sobre o futuro da UE 2030”, 2010.
- [7] Programa Interface. Disponível: <https://www.programainterface.pt/pt/iniciativa-laboratorios>
- [8] OECD, “Strategic public/private partnerships”, in *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD Publishing, Paris, 2016.
- [9] Agência Nacional de Inovação, “2021 CoLABs Annual Report Evolution and integration of CoLABs in Portugal and Europe”, 2021.

Caminhos para inserção do *Building Information Modeling* no curso superior de Engenharia Civil do IFRN

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.5>

Clézio dos Santos Júnior¹, Josyanne Giesta², Alfredo Costa Neto³

¹ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, <https://orcid.org/0000-0003-3906-3458>

² Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, <https://orcid.org/0000-0002-0596-3821>

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, <https://orcid.org/0000-0002-3967-6855>

Resumo

O *Building Information Modeling* (BIM) é uma metodologia de trabalho inovadora e está associada à tecnologia e processos. Ao ser aplicada na área de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), o BIM agrega uma série de benefícios. Diante disso, no Brasil, o Governo Federal tem incentivado a adoção gradual do BIM no âmbito da administração pública federal por intermédio da publicação de decretos no Diário Oficial da União (DOU). Por conseguinte, com o fito de atender a demanda sinalizada pelos decretos por profissionais do setor AECO com competências e habilidades em BIM, compete à comunidade acadêmica qualificar os futuros egressos dos cursos de graduação vinculados à categoria supramencionada. Assim, o presente artigo objetiva contribuir com a implementação do BIM na academia ao viabilizar, de forma prática, sua inserção. Como resultados, foi possível perceber que, entre sessenta e quatro (64) disciplinas, cinquenta (50) possuem algum grau de interface com o BIM; ademais, a interface entre a disciplina de Planejamento e Controle de Obras (PCO) e a metodologia foi potencializada. Concluiu-se que a adoção do BIM na academia favorece o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos técnicos e atende a demanda por profissionais qualificados com competências e habilidades em BIM.

1. Introdução

O processo de concepção projetual das obras e serviços associados ao setor de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) foi transformado ao longo do tempo. Em um primeiro momento, o projeto era, majoritariamente, criado e organizado em pranchas por intermédio de ferramentas de desenho bidimensional e manual em pranchas. Em um segundo momento, o desenho começou a receber a contribuição da informática, permitindo que os agentes envolvidos nos projetos utilizassem *softwares* que possibilitam a produção de desenhos bidimensionais. Dessa maneira, tanto o meio quanto o modo de desenvolver o projeto mudaram a partir do uso de ferramentas digitais para CAD – *Computer Aided Design*. Em seguida, uma nova ferramenta foi integrada ao processo supramencionado: a metodologia *Building Information Modeling* (BIM). Tal filosofia de trabalho amplia o benefício do uso de tecnologias contemporâneas no processo de concepção de projetos à proporção que modifica processos, oferece diferentes *softwares* com múltiplas aplicações e é implementado nos ambientes de trabalho por meio de políticas institucionais [1].

O BIM é definido como um protótipo digital capaz de reunir dados vinculados a uma determinada etapa do ciclo de vida da construção, a um sistema de instalações específico ou ao edifício *as built*, isto é, após sua construção finalizada; a adoção dessa metodologia possibilita que o modelo virtual originado por meio de *softwares* de modelagem e baseado nas informações da obra e/ou serviço da área AECO seja uma referência para a tomada de decisões ao longo do ciclo de vida da edificação [2]. Assim, por meio da automatização, bem como mediante a correta introdução e frequente atualização das informações inseridas e extraídas do modelo, agrega-se confiabilidade aos dados presentes no modelo. Ao adotar os recursos da plataforma BIM para o desenvolvimento de atividades relacionadas ao setor AECO, é possível constatar que o trabalho colaborativo é um aspecto fundamental cuja presença foi ampliada à medida que os processos laborais tradicionais e contemporâneos do setor supracitado são comparados. Além disso, ao ser implementado adequadamente, provoca menos retrabalho, reduz o desperdício de tempo e de recursos humanos e materiais, promovendo, dessarte, a sustentabilidade no decorrer da construção e elevando a qualidade dos processos e de seus devidos resultados, assim como gerando economia no que tange à diminuição de gastos evitáveis; todos esses resultados provêm do aumento da eficiência da gestão da obra ao utilizar o BIM [3].

De forma paralela, no Brasil, o Governo Federal tem incentivado a adoção gradual do BIM por meio da publicação de decretos no Diário Oficial da União (DOU). Como exemplo, pode-se mencionar o Decreto 9.983/2019, o qual dispõe sobre a oficialização da instituição da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* no Brasil (Estratégia BIM BR), seus objetivos e agentes responsáveis por criar um ambiente favorável à implementação e difusão da metodologia no país [4]. Ademais, o Decreto 10.306/2020 dispõe acerca das exigências de utilização do BIM de modo direto ou indireto em obras e serviços de engenharia que estejam associados à órgãos ou entidades integradas à administração pública federal; ressalta-se, ainda, que as exigências supracitadas foram divididas em etapas, de modo a criar

condições para uma mudança de paradigma adequada no que tange ao modo de execução dos serviços [5]. No que diz respeito à comunidade acadêmica, é possível observar a existência de desafios tanto para inserir o BIM em componentes curriculares quanto para criar disciplinas voltadas para o BIM em cursos da área AECO vinculadas às instituições de ensino do país. Conforme o trabalho de [6], isso ocorre em decorrência da dificuldade de inserir a metodologia em ementas estruturadas e de barreiras culturais e pedagógicas presentes nas instituições de ensino cujo corpo docente necessita superar para a progressão de tal implementação; outra adversidade a ser destacada consiste no ritmo lento de incorporação do BIM pela comunidade acadêmica em virtude da falta de capacitação para lidar com as tecnologias da nova plataforma e da resistência dos membros da academia em permitir que a inovação agregue valor e benefícios aos seus trabalhos. Outro ponto a ser destacado consiste na necessidade de investimento na infraestrutura tecnológica de laboratórios de informática para que os computadores utilizados possuam um *hardware* adequado e acesso livre para os *softwares* BIM [7].

Entretanto, não obstante os obstáculos supramencionados, pode-se visualizar esforços coletivos e convergentes para a aceleração da difusão do conhecimento sobre BIM no território brasileiro. Essa asserção está fundamentada na ocorrência de eventos como o Encontro Nacional Sobre o Ensino de BIM (ENE BIM), o qual acontece anualmente e reúne profissionais de diversas áreas, isto é, desde professores a consultores, para adquirir e propagar conhecimento acerca de experiências de ensino e aprendizagem, materiais didáticos, treinamentos e/ou cursos de especialização, planejamento de execução da metodologia em cursos ou disciplinas e pesquisas com ênfase no ensino de BIM [8]. Outrossim, o Simpósio Nacional de BIM (SINABIM), o Encontro Acadêmico de BIM (EABIM), o Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação (SBTIC) e o Encontro Nacional da Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC) são eventos que também buscam difundir o uso e os benefícios do BIM. Consequentemente, essa disseminação favorece a construção da percepção de que a temática é relevante para a sociedade ao ponto de ser explorada com frequência e de maneiras diferentes, e para além do futuro do setor AECO, já se torna presente em diversos segmentos dessa área em razão da diversidade de possibilidades de aplicação dessa filosofia [1, 3].

Em sequência ao empenho comunitário pela comunicação e incorporação dessa ferramenta pelo governo, mercado de trabalho e instituições de ensino, observa-se que a percepção pública acerca da necessidade do ensino de BIM tem aumentado em razão das demandas comerciais por profissionais qualificados para trabalhar com essa nova metodologia. Além disso, na mesma pesquisa, é sinalizado que o Brasil, em uma estatística de nível internacional, congrega cerca de 10% (dez por cento) das iniciativas de ensino de BIM [8]. Em outro estudo [9], pode-se constatar a existência de três estratégias de introdução colaborativa do BIM nos currículos dos cursos da área AECO: intracurso, interdisciplinar e na modalidade à distância. No primeiro caso, o BIM é inserido de forma colaborativa entre disciplinas de um único curso; no segundo, a experiência de colaboração é expandida e ocorre entre cursos distintos de

uma mesma instituição de ensino; na terceira, por sua vez, a implementação do BIM ocorre de modo colaborativo entre uma ou mais instituições de ensino.

O trabalho colaborativo é apresentado por [10] como uma competência BIM, assim como as competências de gestão, administração, operação, implementação, suporte, pesquisa e desenvolvimento, modelos algorítmicos, verificação e validação de códigos e funcionais; cada uma possui suas particularidades, no entanto, ambas são exigidas pelo mercado de trabalho. Logo, considerando que é função da comunidade acadêmica formar discentes dos cursos do setor AECO com habilidades e competências BIM para atender a demanda do mercado de trabalho e os objetivos dos decretos supracitados, e da necessidade de superar os obstáculos expostos anteriormente, o presente artigo objetiva contribuir com a disseminação do BIM na academia a partir da apresentação dos resultados associados a identificação de interfaces entre o BIM e as disciplinas do curso superior em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN).

2. Método

O método de trabalho consistiu, *a priori*, na realização de uma revisão sistemática da literatura (RSL) nos anais ENEBIM 2018 a 2021 a fim de que os pesquisadores compreendessem de que maneira o BIM estava sendo implementado nas instituições de ensino. *A posteriori*, aplicou-se o método de Checucci e Amorim [11] com o fito de identificar interfaces entre conteúdos BIM e conteúdos previstos nas ementas das disciplinas do curso superior em Engenharia Civil do IFRN. Finalmente, selecionou-se a disciplina de Planejamento e Controle de Obras para refinar a proposta de integração entre os elementos supramencionados. A síntese dos processos percorridos pode ser observada na figura 1.

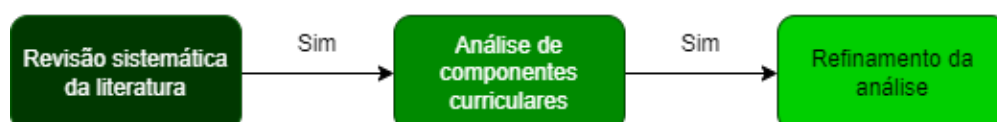


Figura 1
Síntese do método de trabalho executado.

2.1. Revisão sistemática da literatura

Em um primeiro momento, o autor principal dividiu a RSL em três fases distintas e necessárias para que o objetivo da revisão fosse alcançado. As fases percorridas podem ser visualizadas na figura 2.

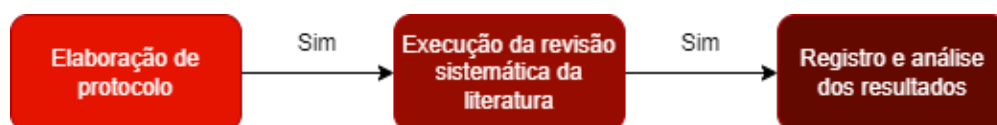


Figura 2
Fases da revisão sistemática da literatura.

No decorrer da primeira etapa, o pesquisador acessou o *site* “ANTAC EVENTOS” de modo a encontrar os anais ENEBIM referentes aos anos de 2018, 2019 e 2021, bem como realizar um estudo primário. Dessa forma, decidiu-se por restringir a fonte de pesquisa primária aos trabalhos publicados nos anais ENEBIM 2018 à 2021 e por não utilizar critérios de inclusão e/ou exclusão de estudos; coletou-se dados relacionados à interface do *site*, às categorias nas quais os trabalhos foram submetidos, à disponibilidade e ao acesso aos estudos. Em sequência, após a definição do objetivo da revisão exposto anteriormente, iniciou-se a criação do protocolo de condução do estudo secundário e determinou-se como grupo “controle” os artigos disponíveis no acervo digital denominado “*ResearchGate*” e do material didático-teórico disponibilizado virtualmente aos membros do Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos (GIP) por meio da plataforma “Google Classroom/Sala de Aula” e do *software* WhatsApp. Depois, determinou-se como grupo “população” os trabalhos que apresentassem relatos exitosos acerca da implementação do BIM na academia. Esperou-se, por sua vez, como resultado da revisão, identificar lacunas deixadas pelos trabalhos, adquirir conhecimento associado à métodos de difusão e adoção do BIM pela comunidade acadêmica e quantificar os resultados.

Assim, em relação à seleção de fontes para o estudo secundário, decidiu-se por manter a restrição, bem como por aceitar a leitura e análise estrita de trabalhos disponibilizados na língua portuguesa ou inglesa. Ademais, nenhum critério de seleção e/ou de qualidade dos estudos foi adotado, tendo em vista que todos os documentos foram lidos. Por fim, determinou-se como estratégia de seleção de dados que nenhuma string, palavras-chave ou sinônimos serão empregados em virtude da mesma justificativa explicitada para os critérios de seleção e/ou de qualidade dos estudos; definiu-se, também, que um breve resumo de cada trabalho seria redigido após sua respectiva leitura. Esse resumo, por outro lado, conterá o título, autores, objetivo e pontos de destaque de cada trabalho, bem como a categoria e a edição do ENEBIM na qual o estudo está inserido. A síntese do processo percorrido pode ser observada na figura 3.

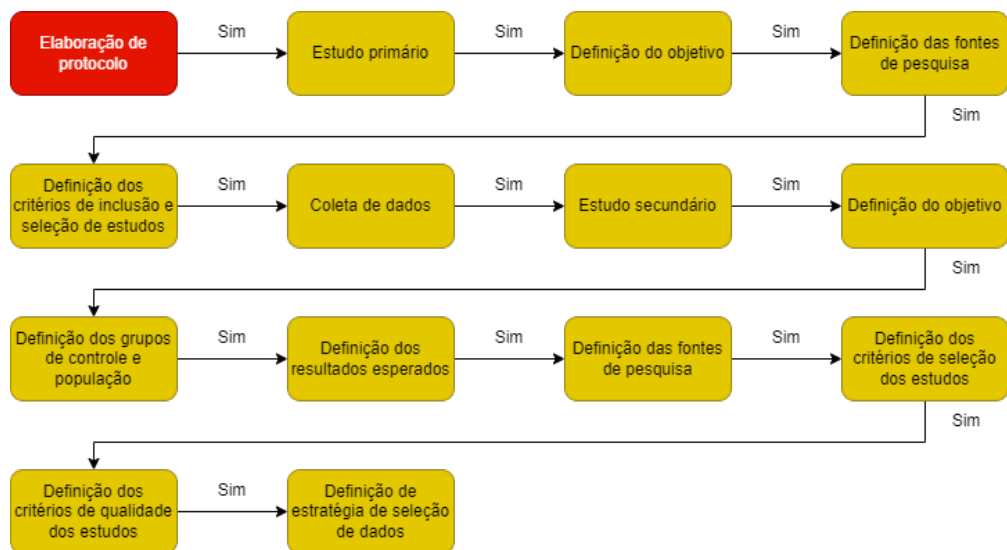


Figura 3
Elaboração de protocolo de RSL.

Após o planeamento, iniciou-se a segunda fase e, por conseguinte, o protocolo foi executado. De forma paralela, durante a terceira fase, registrou-se e analisou-se os resultados encontrados a partir dos dados coletados por meio do *software* “Microsoft Excel” e da plataforma “Google Documentos”.

2.2. Estrutura da matriz curricular do curso superior de Engenharia Civil do IFRN

No que tange à segunda etapa, em primeiro lugar, acessou-se o portal do IFRN a fim de possibilitar o *download* do projeto pedagógico do curso superior de Engenharia Civil na modalidade presencial. Em sequência, buscou-se conhecer o perfil profissional do egresso, a organização curricular do curso, assim como os equipamentos e as instalações disponíveis para as aulas de aplicação dos conteúdos técnicos. A matriz curricular é constituída de disciplinas integradas ao núcleo fundamental, núcleo científico-tecnológico, à unidade curricular de extensão e à prática profissional, passando pelas disciplinas optativas.

2.3. Proposta de integração entre o BIM e a matriz curricular do curso superior de Engenharia Civil do IFRN

Realizou-se, dessa forma, a leitura do artigo [11] e a aplicação do método proposto, o qual foi sintetizado na figura 4 e está presente no trabalho das autoras.

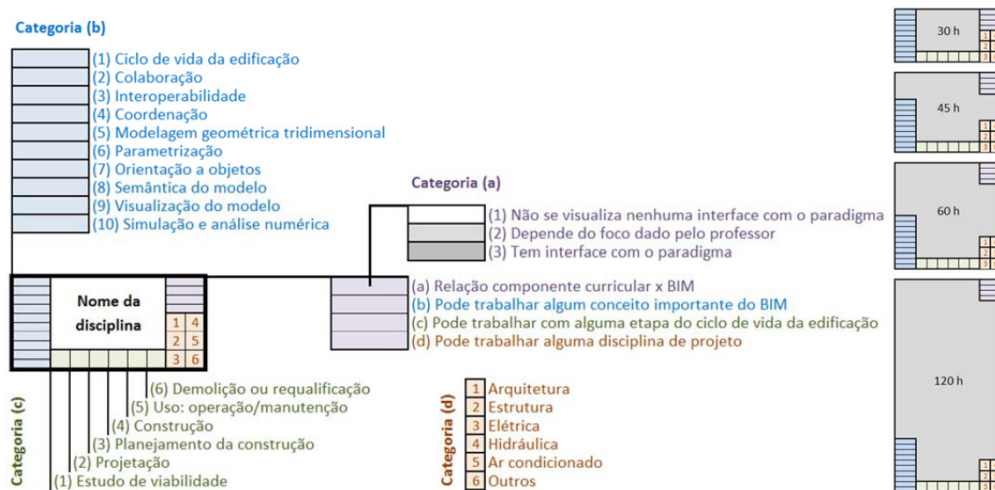


Figura 4
Síntese do método de identificação de interfaces entre conteúdos BIM e um curso de graduação da área AECO proposto por [11].

A execução do método apenas não contemplou a padronização da caixa retangular no que se refere à duração das disciplinas, ou seja, não se adotou a variação de tamanho da caixa a partir da variação da carga horária das disciplinas. Dessa forma, a partir da visualização da ementa dos componentes curriculares, buscou-se encontrar interfaces entre o objeto de análise e o BIM, e mensurar a devida interface a partir de quatro categorias: a) Quanto à relação entre o componente curricular e o paradigma BIM, a qual pode ser nula (1), potencial (2) – a depender da ênfase dada pelo docente

na disciplina – e explícita (3); b) Quanto à possibilidade de trabalhar algum conceito importante do BIM, entre eles: ciclo de vida da edificação (1), colaboração (2), interoperabilidade (3), coordenação (4), modelagem geométrica tridimensional (5), parametrização (6), orientação a objetos (7), semântica do modelo (8), visualização do modelo (9), simulação e análise numérica (10); c) etapas do ciclo de vida da edificação que possam ser trabalhadas: estudo de viabilidade (1), projeção (2), planejamento da construção (3), construção (4), uso – operação/manutenção (5) ou demolição/requalificação (6); d) disciplinas de projeto que podem ter interface: arquitetura (1), estrutura (2), elétrica (3), hidráulica (4), ar condicionado (5), outros (6).

2.4. Refinamento da proposta de integração

Em seguida, verificou-se a potencialidade de implementar a metodologia BIM de maneira mais enfática na disciplina de Planejamento e Controle de Obras (PCO), pois um dos pesquisadores em BIM e co-autor do presente artigo é o docente responsável por lecionar tal componente curricular. Além disso, alunos de intercâmbio provenientes de instituições de ensino nas quais exista parceria com o IFRN no âmbito das relações internacionais possuem a chance de participar das aulas de PCO (caso ocorra a transferência dos referidos discentes), possibilitando, assim, o enriquecimento de futuras pesquisas em BIM nas salas de aula promovidas pelo GIP. Considerou-se também as interfaces identificadas entre a disciplina e os conteúdos BIM.

Dessarte, para refinar a proposta de interfaces entre o BIM e os conteúdos técnicos das disciplinas, bem como para implementar o BIM no ensino, os pesquisadores modelaram um protótipo virtual e tridimensional de caráter acadêmico utilizando o software Autodesk Revit nas versões 2019 e 2021. O modelo BIM integrou processos construtivos com o fito de contribuir positivamente para o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos técnicos do curso. Depois, os pesquisadores discutiram formas de ampliar as vantagens de se utilizar a metodologia BIM no ensino ao incorporar os *softwares* Microsoft Project e Autodesk Navisworks 2021. Logo, enquanto o primeiro permite a criação de um cronograma para estimar a quantidade de tempo necessária para a execução dos serviços inerentes à construção do modelo 3D acadêmico, o segundo possibilita a simulação da obra. Esse *workflow*, por sua vez, permite a implementação do conceito “BIM 4D”, o qual está associado à inserção da variável “tempo” à metodologia BIM. Assim, ao utilizar o *software* Autodesk Navisworks, importou-se o arquivo em formato .RVT, o qual contém as informações do modelo BIM, e o arquivo em formato .MPP cujos dados estão associados ao cronograma criado no Microsoft Project.

3. Resultados e discussões

Na figura 5, é possível visualizar diferentes graus de interface entre os componentes visíveis e os conceitos do BIM, as etapas do ciclo de vida da edificação e as disciplinas de projeto mencionadas anteriormente, enquanto a figura 6 apresenta o

resultado da refinação realizada no que diz respeito à disciplina de Planeamento e Controle de Obras.

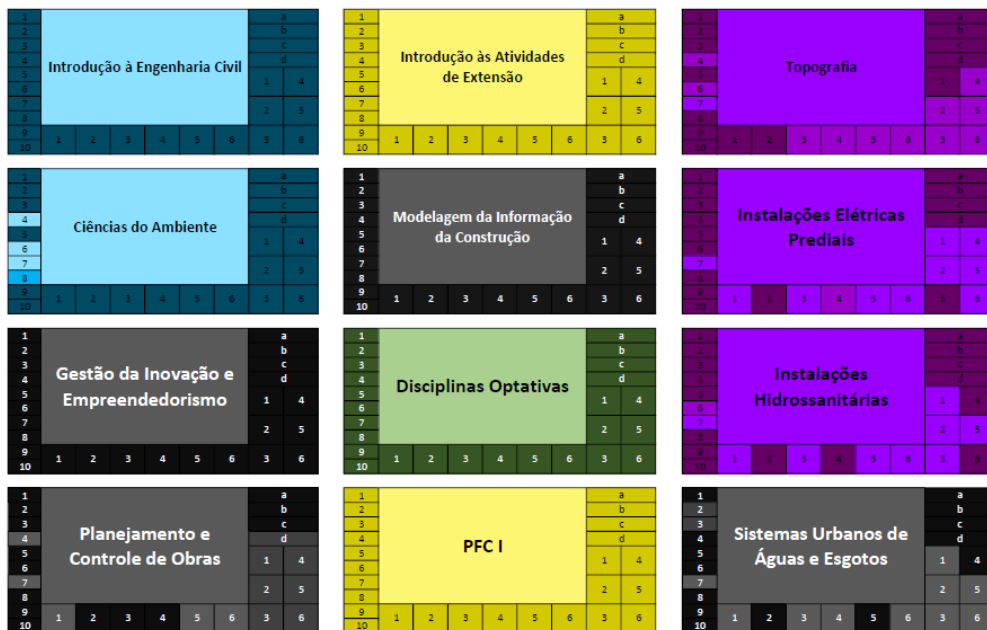


Figura 5
Demonstração da aplicação do método de identificação de interfaces com disciplinas de diferentes períodos.

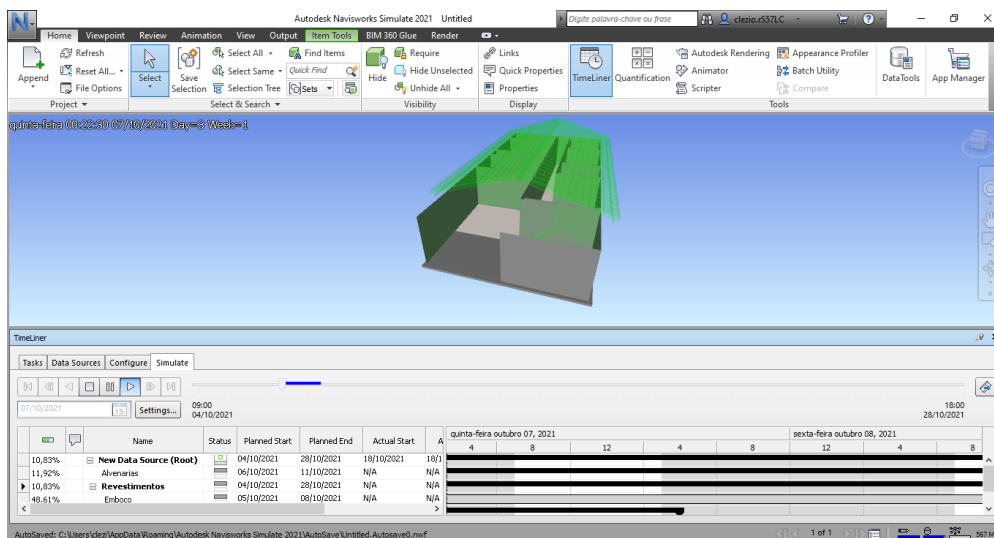


Figura 6
Demonstração do resultado da integração de softwares na disciplina de PCO.

Entre 64 disciplinas, foi possível identificar 50 componentes curriculares passíveis de compatibilidade com conteúdos BIM: Introdução à Engenharia Civil, Leitura e Produção de Textos, Desenho Técnico, Algoritmo e Linguagem de Programação, Introdução às Atividades de Extensão, Desenho Arquitetônico, Desenho Assistido por Computador, Ciência e Tecnologia dos Materiais, Legislação Urbana Aplicada à Construção Civil, Topografia, Metodologia Científica e Tecnológica, Resistência dos Materiais I, Materiais de Construção Civil I, Ciências do Ambiente, Geoprocessamento Aplicado à Engenharia Civil, Isostática, Resistência dos Materiais II, Materiais de Construção Civil II, Infraestrutura Viária, Modelagem da Informação da Construção,

Hiperestática, Saneamento Ambiental, Construção Civil I, Mecânica dos Solos I, Instalações Elétricas Prediais, Estruturas de Concreto Armado I, Engenharia Econômica, Construção Civil II, Mecânica dos Solos II, Pavimentação, Higiene e Segurança do Trabalho, Estruturas de Concreto Armado II, Gestão da Inovação e Empreendedorismo, Controle de Qualidade em Edificações, Administração e Logística na Construção Civil, Estruturas de Fundações, Disciplinas Optativas (I, II e III), Estruturas Metálicas e de Madeira, Instalações Hidrossanitárias, Orçamento, Estruturas de Contêntes, Manutenção Predial e Patologia, Projeto de Final de Curso I e II, Sistemas Urbanos de Águas e Esgotos, Planejamento e Controle de Obras, Estágio Supervisionado e Atividades de Extensão.

Além disso, verificou-se que a inserção do BIM pode ocorrer desde o primeiro período e que, em cada período, há, no mínimo, 3 disciplinas com interfaces existentes. Tais constatações possibilitam a formação e consolidação da colaboração interdisciplinar. Para disciplinas introdutórias ou que não estejam inseridas no núcleo científico-tecnológico do curso, pode-se abordar o conteúdo por meio da apresentação de textos de cunho científico e/ou acadêmico sobre os elementos presentes nas categorias b, c e d (figura 4). Em se tratando de disciplinas de projeto, é possível abordar e utilizar conceitos e ferramentas BIM como a colaboração, interoperabilidade, coordenação e *softwares* de modelagem geométrica tridimensional. Assim, torna-se viável tanto expor modelos virtuais para auxiliar o processo de ensino e aprendizagem, facilitando a análise dos detalhes dos projetos, a identificação de interferências e a extração de quantitativos; como ensinar e/ou estimular os discentes a utilizarem os softwares BIM para adquirirem novas competências. No que tange à carga horária solicitada pelas atividades e práticas vinculadas à Unidade Curricular de Extensão e à Prática Profissional, constatou-se a possibilidade de abordar o BIM em todas as categorias que o método aplicado apresenta. A participação discente na Liga Acadêmica de BIM (LABIM), por exemplo, consiste em uma maneira de se qualificar na metodologia BIM e de cumprir a carga horária requisitada no curso por meio de atividades de extensão, de ensino e de pesquisa. Tal iniciativa promove palestras, cursos e oficinas e favorece a integração dos discentes, por meio do *networking*, com o ambiente e o mercado de trabalho. A criação do modelo 3D acadêmico pôde integrar processos e detalhes construtivos como a divisão da alvenaria com os revestimentos e do piso em camadas (chapisco, emboço, reboco e revestimento; contrapiso, argamassa colante e revestimento, respectivamente), o madeiramento atrelado ao telhamento na cobertura (ripas, caibros e terças), tornando-se, dessa maneira, um recurso didático viável para ensino de conteúdos técnicos por meio da visualização do modelo em diferentes perspectivas. Ademais, a combinação do *software* Navisworks e Microsoft Project possibilita a simulação da construção de uma obra, dividida em diferentes etapas, por intermédio da criação de um cronograma. Tais recursos podem ser introduzidos tanto no que diz respeito ao ensino de conteúdo como para avaliar o conhecimento dos discentes.

4. Conclusão

Portanto, considerando a supracitada demanda por profissionais qualificados, bem como as ações realizadas para contribuir na formação dos alunos dos cursos de graduação vinculados ao setor AECO, é possível afirmar que a implementação do BIM na academia é viável e, embora exija uma mudança de paradigma, promove mudanças essenciais para a atual conjuntura das instituições de ensino. Torna-se perceptível que a adoção do BIM exige planejamento, capacitação e colaboração exponencial, ou seja, para melhor aproveitamento do uso da metodologia BIM, é necessário que o nível de colaboração progrida, tanto no que diz respeito à integração entre as disciplinas quanto à realização de parcerias com outras instituições de ensino com nível de maturidade em BIM semelhante. Tal ação, por sua vez, permite o compartilhamento e a difusão de boas práticas para implementação do BIM em modalidades distintas (presencial ou à distância; ensino, pesquisa ou extensão). Foi possível visualizar a aplicabilidade de conteúdos BIM nas disciplinas sem adição de carga horária e que a modelagem pode ser utilizada para fins didáticos, sob a condição de agregar conteúdos técnicos da referida disciplina. O trabalho limitou-se em refinar apenas as interfaces encontradas entre o BIM e a disciplina de PCO; sugere-se, em trabalhos posteriores, ampliar a refinação das interfaces e expor o resultado da aplicação do modelo na disciplina para a qual foi criado.

5. Agradecimentos

Os autores do presente artigo agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Inovação (PROPI) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN) e à Diretoria de Pesquisa e Inovação (DIPEQ) do Campus Natal Central, pelo apoio recebido.

Referências

- [1] Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. Estruturação do escritório de projeto para a implantação do BIM. 2013. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/c/MTU4NzQ2MTYwMzAw/m/MTkyMzE0NTQzMDE3/details>.
- [2] Catelani, W. S. Coletânea Implementação do BIM para construtoras e incorporadoras. Volume 1 – Fundamentos BIM. Brasília, DF, 2016. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. Disponível em: <https://cbic.org.br/faca-o-download-da-coletanea-bim-no-site-da-cbic/>.
- [3] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. Processo de Projeto BIM: Coletâneas Guias BIM ABDI-MDIC. Brasília, DF, 2017. Vol. 1, 82 p. Disponível em: <https://classroom.google.com/u/0/c/MTU4NzQ2MTYwMzAw/m/MTkyMzE0NTQzMDE3/details>.

- [4] BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto Federal nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Brasília, DF, 2019. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2019/decreto-9983-22-agosto-2019-789002-publicacaooriginal-158937-pe.html>.
- [5] BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Decreto Federal nº 10.306, de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019. Brasília, DF, 2020. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/2020/decreto-10306-2-abril-2020-789938-publicacaooriginal-160263-pe.html>.
- [6] J. P. Giesta, A. Costa Neto, e T. G. Costa, “Pesquisa-ação em BIM fomentando a transformação de um curso técnico em edificações”, *PARC Pesq. em Arquit. e Constr.*, vol. 11, p. e020021, dez. 2020. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8657348>
- [7] J.P.Giesta e S.F.Rocha. Investigação sobre o ensino do BIM na biblioteca digital brasileira: abordagem no período de 2007 a 2019. 4º Encontro Acadêmico de BIM de Minas Gerais – EABIM. Nov. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/347565036_Investigacao_sobre_o_ensino_do_BIM_na_biblioteca_digital_brasileira_abordagem_no_periodo_de_2007_a_2019.
- [8] W. E. F. Lima, L. A. P. Melo, R. S. S. de . Melo, e J. P. Giesta, “Interfaces entre o curso de engenharia civil da UFRN e BIM: uma análise da matriz curricular”, *SBTIC*, vol. 2, nº 00, p. 1–8, ago. 2019. DOI: <https://doi.org/10.46421/sbtic.v2i00.200>
- [9] J. Giesta, A. Padilha, K. Padilha et. al. PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DO BIM NA ACADEMIA. 3º Congresso Português de Building Information Modelling – ptBIM 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/346694914_ptBIM_2020_-3_Congresso_Portugues_de_Building_Information_Modelling_PROPOSTA_DE_IMPLEMENTACAO_DO_BIM_NA_ACADEMIA.
- [10] B. Succar, W. Sher, and A. Williams, “An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application,” *Automation in Construction*, vol. 35, pp. 174-189, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.AUTCON.2013.05.016.
- [11] Érica de S. Checcucci e A. L. de Amorim, “Método para análise de componentes curriculares: identificando interfaces entre um curso de graduação e BIM”, *PARC Pesq. em Arquit. e Constr.*, vol. 5, nº 1, p. 6-17, jun. 2014. DOI: <https://doi.org/10.20396/parc.v5i1.8634540>

Optimization tools and BIM: A marriage with a future?

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.6>

Alfredo Soeiro¹, João Poças Martins², Adeeb Sidani³

¹ *Universidade do Porto, DEC, CONSTRUCT, Porto, 0000-0003-4784-959X*

² *Universidade do Porto, DEC, CONSTRUCT, Porto, 0000-0001-9878-3792*

³ *Universidade do Porto, DEC, CONSTRUCT, Porto, 0000-0002-0570-1207*

Abstract

The use of optimization techniques with Building Information Modelling tools is not widespread. The digital approach of Building Information Management (BIM) has several possibilities in construction that have not yet been explored. This paper aims to describe the possibilities of combining meta-heuristic optimization techniques, proposing possible synergies with benefits for the quality of construction and design. BIM can perform as a database of relevant construction information, and the optimization techniques can automatically analyze the choices from the data available related to possible choices. The combination can lead to optimal design and construction.

Furthermore, this paper will discuss the use of machine learning and cloud computing tools. Moreover, considerations are proposed concerning the respective possible benefits. Finally, a description of three possible scenarios illustrating processes and possible benefits are presented.

1. Introduction

Evaluating the design's efficiency is considered a real challenge for Engineers. Newly developed optimization algorithms embrace effective techniques to optimize the building design. Some of these are meta-heuristic approaches such as artificial bee colony, particle swarm optimization algorithm, moth-flame optimization, ant lion optimizer and whale optimization algorithm [1]. The algorithm's performances are evaluated quantitatively and qualitatively using convergence speed, solution quality and robustness. The design optimization problems involve multiple objectives and mixed variables, with nonlinear constraints showing performance, geometric conditions and material choices. Several mathematical programming algorithms have been developed during the last three decades to solve various engineering and industrial applications problems [2]. Generally, most of these methods always require the knowledge of the gradients of the objective functions and constraints. In most cases, the classical algorithms can find globally optimal solutions while terminating when the function's gradient is very close to zero, and this can happen both in the case of local and global solutions [3].

BIM is the acronym that started as Building Information Model, then Modelling and currently Management. It represents construction works in several stages and forms. It has many applications in construction and other industrial designs. Digital Twins is a recent approach where a digital representation is created to replicate and simulate the building or construction works. Initially, BIM was a 3-dimensional representation of a construction or a mechanical piece. Currently, other dimensions have been added to the use of these programs. It is used in various aspects such as quantity surveying, design clash conflicts, planning and scheduling, safety, architectural design, structural analysis, comfort (acoustic and thermal) evaluation, among others [4]. These software programs are generally used to visualize operations and verify compliance with regulations, norms, owner objectives, costs, and intended outcomes. Of course, it has been a successful approach to store and manage information in construction, especially buildings information. It has become very relevant for information management in a structured mode to benefit the participation of stakeholders like engineers, technicians, architects, designers, technical directors, regulators, and educators. The main reason is to improve the quality of information managed with BIM tools and facilitate access to the data in an organized manner.

Buildings and constructions are becoming more complex, thus, making it difficult to manage and operate information effectively to make proper decisions. Decision-making and optimization tools have not been commonly used with BIM tools. This text intends to summarise the analysis of three case studies where the use of BIM has been complemented with the interaction with proper optimization tools like the meta-heuristic [5]. The three case studies represent the use of BIM to promote construction safety, BIM to control the costs and performance of a wall, and BIM to verify and illustrate the use of structural design. In these three analyses, some optimization methods and digital tools may be linked to the decision process, and consequences are evaluated for efficiency and effectiveness.

2. Optimization methods

Solving optimization problems in building construction is a challenge to choose efficient algorithms. Usual optimization algorithms are based on the system's responses and the sensitivity analysis in terms of the optimization function and related behavioural constraints. These optimization techniques are based on the effective use of gradients of the numeric expressions that characterize the system. These gradients are calculated numerically or explicitly depending on the definitions of the systems. Problems usually addressed can be planning schedules, choice of materials, design of structures and other systems, the topology of elements or systems, costs or profit improvement, and performance.

The use of gradients and Hessian-based optimization methods has been outpaced recently by other techniques based on neural networks, network theory, sequential quadratic programming, and interior-point methods. In the last decades, algorithms have been produced using meta-heuristic methods. Some of these are particle swarm optimization (PSO) algorithm, ant lion optimizer (ALO), grey wolf optimizer (GWO) and mine blast algorithm (MBA) [1].

These algorithms are generally compared in terms of the solution's quality, speed of convergence, and algorithm robustness when addressing optimization problems that are considered adequate for evaluating the different approaches. Most engineering problems have solutions using established techniques and methods. However, the optimization approach is at a higher level of proficiency while providing better solutions in terms of the optimization criteria than the majority of the acceptable solutions. These considerations also apply to building construction, designs and executions. Options made during the design and the execution influence the optimality of the choices, and the optimization techniques can be used to improve the decision-making process. Some difficulties in finding optimal decisions are related to several economic, scheduling, and technical constraints.

Generally, optimization problems have multiple objective functions and variables of different nature. Functions and constraints are nonlinear, and variables may be discrete or continuous sets. Classical algorithms find local optimal solutions based on gradients instead of the global optimum. Since deterministic approaches are not based on gradient techniques, they have been replaced by metaheuristic methods to find optimal solutions. These non-gradient-based methods may be classified into three categories: swarm-based, physical techniques and evolutionary algorithms. In short, swarm-based techniques are based on the collective behaviour of a given population of solutions. The evolutionary algorithms mimic the Darwin theory, where the latter solution has evolved optimally from the former. The physical techniques are based on simulations of solutions using a Monte Carlo method.

For example, the swarm-based technique is Particle Swarm Optimization (PSO), based on a mathematical representation of animals or social behaviours such as birds or fish. The principle is that it starts with a random choice of entities of that

group. The second step is calculating the robustness indicators (position and velocity) of each particle (animal), the third phase consists in recalculating the global and individual optimal values, and the fourth step improves the related indicators (velocity and position) of particles. The steps are repeated until the criteria of stopping the search is obtained [6].

A well-known type of evolutionary algorithm is the group of Genetic Algorithms, a search algorithm based on the mechanics and procedures of the natural selection process based on Darwin principles. The optimal solution is obtained by the survival of the fittest that suffer evolutions identical to the crossing and creation of genes (solutions). Some optimization techniques have been derived from differential evolution, evolution strategy and biogeography-based optimizer [7].

The third group of meta-heuristic optimization methods is based on physical processes, primarily using Monte Carlo and Simulated Annealing techniques. Recent ones are gravitational search, central force optimization, small world optimization and charged system search. This group has tested and applied methods in several areas of industry. The Simulated Annealing algorithm is based upon heating material until it reaches an annealing temperature. Then it will be cooled down slowly in order to change the material to the desired structure where the optimal solution is sought [8].

The description of these possibilities of meta-heuristic optimization techniques suggests that these approaches can handle the difficulty of representing the optimal criteria in building construction and designs in numerical functions like economic or performance characteristics. Some definitions of criteria for choices, like life-cycle costs or like thermal and acoustic performances, may be hard or impossible to define by an exact or approximate numerical function. It is known that meta-heuristic algorithms require internal control parameters like starting points and penalty functions. Properly handling the inequality and equality constraints may be crucial to obtain optimal solutions but can be handled together with other criteria to obtain the optimal solution.

3. Building Information Management

Information in any construction process is crucial in all the project life cycle. Information generates all procedures and phases of construction such as design, bill of quantities, drawings, technical specifications, bidding, contracts, legal compliance documents, health and safety plan, execution, changes in design, maintenance plans, and built elements. The construction process is composed of operations aimed at handling information. Generally, the supporting documents for the construction have been produced and used in digital formats. The use of digital documents has facilitated document management of information. On the other hand, the possibility of using digital documents and supporting digital platforms using internet portals has increased the manipulation of information related to each construction project [4].

BIM is an example of how to treat information related to construction digitally. It has been recognized mainly for visually representing the intended construction. However, the most significant advantage for efficiency and effectiveness in the process is placing all possibly relevant data in one place. In the last three decades, building information was organized in dimensions, starting from 3D, representing geometric building information. Other information costs, planning, sustainability, sequence of operations, physical characteristics and other properties have been classified as 4D, 5D, among others.

Furthermore, a recent standardized categorization came into practice defining the Level of Information Need of the BIM models [9]. In general, the Level of Information Need describes the granularity of information exchanged in terms of geometrical, alphanumeric, and documentation. The primary purpose is to define the level of information needed to prevent the delivery of too much or unnecessary information. The Level of Information Need describes information requirements that can be human and machine-interpretable. Thus, it can deliver clear benefits to all participants in the various project life cycle since the standard provides a common understanding of the right level of information needed at a specific time. This categorization has been developed because several conflicting terms, concepts, and usages in place, both internationally and across Europe, hinder having a shared understanding and practice in describing the level of information need for a common European market.

Due to this possible use of information aggregator, BIM could mean Building Information Management. If that assumption is pursued further, it is natural that management decisions with the Building related data should be supported by optimization methods when decisions are necessary every time options are available. Design and construction objectives are compatible with typical optimization approaches to obtain better results. BIM, as it exists, can perform as a database about the Building where solutions at every level can be evaluated using criteria typical of any design or construction.

Another digital supports to make the right decisions when using the optimization techniques can be complemented by cloud computing, where data related to materials and designs can be stored, and the use of machine learning while complying with legal and performance requirements. Cloud computing is available in construction and has had many applications in various services like databases, networking, software, and data analytics. Creating initial solutions in the meta-heuristic optimization techniques can be an excellent approach. As a branch of Artificial Intelligence, machine learning is used in construction and, for instance, can help the improvement of safety compliance. It can help assess risk situations based on data analytics and prediction rules. A definition of machine learning is the capacity of defining rules for decision making based on the analysis of existing data. These two applications can combine access to an extensive data bank (Cloud computing) and decision rules when facing options (Machine learning). In recent years, automation and digitalization enabled higher performance and accuracy in the construction and design sectors, hence, reducing costs and modernizing production.

4. Possible synergies between BIM and optimization techniques

After considering the possibilities of the optimization techniques and BIM characteristics, it is possible to envisage synergies that can lead to better design and construction. At least it increases the possibility that this synergy may produce a result better than the one produced using this "marriage". The availability of Application Programming Interfaces (APIs) for popular BIM authoring tools and Visual Programming Languages (VPLs) have opened new possibilities for construction specialists who can develop sophisticated analysis tools in different domains without requiring steep learning curves. Three examples are presented that may illustrate the scenarios for successful cooperation. These examples are just a small sample of the possibilities that the combination of optimization techniques and BIM may benefit the quality of construction.

In terms of accident prevention management and using available information on accidents in construction may lead to an analysis of the most appropriate prevention measures. As mentioned, risk prevention can be identified using cloud computing for similar situations in buildings and the machine learning capacities to identify the possible prevention measures. Indeed, available records can help identify tasks (use of formworks) and scenarios (slab openings). After preventive measures are identified, the optimization techniques can search for more effective and less costly. The optimal set of preventive measures can be adopted to have the right combination of effectiveness and cost. It is important to highlight that it is necessary to find an optimal compromise between the preventive measures and safety since human resources and materials are limited. It is impossible to prevent all accidents, and it is an unsustainable approach. Better prevention management can be obtained with the use of proper digital tools. Information about the chosen preventive measures can be added to the building data and presented to the stakeholders. One of the first studies that provided a framework for safety in BIM was by Zhang et al. (2011, 2013). The study proposed a safety rule-checking system that applies fall protection such as guardrails and covers automatically to a building information model [10].

A second example is the possibility of choosing the suitable materials that are optimal for the combination of thermal and acoustic requirements. Cloud computing can provide information about the physical properties of materials and techniques available for the execution of the wall. Similarly, the data related can be obtained for the several options. The optimization techniques would then use the chosen function that combines the designer, or the construction manager, valuation of the physical characteristics of the options and the importance of respective economic implications. The optimization models can then proceed to search solution(s) that satisfy the constraints and the optimization function or criteria using those criteria and the legal and performance requirements. Similarly, stakeholders can observe the first case options in the three-dimensional representation with dimensions and display changes.

The third case of possible benefits of suggested optimization techniques is related to the supporting structure's geometry or topology. This approach can lead to optimized structural solutions based on a reference configuration or original performance-based geometrical configurations. Options for configuration, dimensions and types of elements can be considered. In terms of configurations, the length between vertical supports (columns) can be variables, related dimensions (width, height) of elements can be variables, and the materials of elements can also change (reinforced concrete or steel). Using an appropriate function that reflects the valuation criteria (cost) of the variables, inserting constraints in terms of codes and stability, the optimization techniques can be employed to find an optimal solution that can satisfy the structure's functionality. The structural properties and information can be inserted into the model. Thus, the related effects in terms of the topology of the structure, geometrical implications, and interactions with other aspects in the virtual model can be observed and analyzed.

These examples illustrate a few possibilities that can be explored by integrating stakeholders' tools and sectors, leading to more efficient and effective procedures for better designs and constructions, leading to a sustainable future for the built environment. For instance, sustainability concepts can be used as optimization criteria or constraints to ensure adequate BIM according to concerns related to the life-cycle analysis of materials and constructions.

5. Conclusions

As BIM authoring tools become more customizable, the possibilities of developing performance-based designs using BIM data and optimization tools have increased significantly. APIs and VPLs that enable users to develop addons without necessarily requiring formal programming skills have changed how BIM tools can be used and are now increasingly common solutions for tasks throughout the construction life-cycle.

Although the technological solutions that enable a fruitful relationship between optimization methods and BIM are well-known, construction specialists are often not aware of the possibilities that arise from this. Indeed, further effort in educating and training construction professionals is required to reap the benefits of combining information-rich building models with data-hungry algorithms.

Evolution of meta-heuristics optimization algorithms linked with the interoperability of BIM tools suggest that more case studies and applications of joint applications will be available in the near future. Use of cloud storage, data mining, applications, artificial intelligence and sustainability requirements will foster the synergy among existing tools and will be available for current designs. The possibility of obtaining quickly, reliable, better designs will lead to a more consistent use of available construction resources.

Acknowledgements

This work was financially supported by: Base Funding - UIDB/04708/2020 of the CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções - funded by national funds through the FCT/MCTES (PIDDAC).

References

- [1] A. R. Yildiz, H. Abderazek, S., "A Comparative Study of Recent Non-traditional Methods for Mechanical Design Optimization", *Archives of Computational Methods in Engineering*, Vol. 27, 1031-1048, 2020. DOI: 10.1007/s11831-019-09343-x.
- [2] M. Y. Cheng, D. Prayogo, "Symbiotic organisms search: a new metaheuristic optimization algorithm", *Computers Structures*, Vol. 139, pp. 98-112, 2014.
- [3] R. Saravanan, *Manufacturing optimization through intelligent techniques*, Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [4] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken: N.J. Wiley, 2008.
- [5] T. Dokeroglua, E. Sevincb, T. Kucukyilmaza, A., "A survey on new generation metaheuristic algorithms", *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 137, 2019. 10.1016/j.cie.2019.106040.
- [6] J. Kennedy, R. C. Eberhart (1995), "Particle swarm optimization", in: *Proceedings of IEEE international conference on neural networks*, pp. 1942-1948, (1985).
- [7] D. Simon, *Evolutionary Optimization Algorithms*, Hoboken N. J., Wiley, 2013.
- [8] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing", *Science*, Vol. 220, pp. 671-680, 1983.
- [9] CEN, "EN 17412-1 Building Information Modelling - Level of Information Needed. Part 1: Concepts and principles", European Committee for Standardization, 2020.
- [10] Melzner, J., Zhang, S., Teizer, J., & Bargstädt, H.-J. "A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models". *Construction Management and Economics*, 31(6), 661-674, 2013. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.780662>

Algoritmos de classificação de texto na automatização dos processos orçamentação

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.7>

**Luís J. Sousa¹, João Poças Martins²,
João Santos Baptista³, Luís Sanhudo⁴, Pedro Mêda⁵**

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0002-0789-9368

² CONSTRUCT/GEQUALTEC, FEUP – DEC, Porto, 0000-0001-9878-3792

³ Associated Laboratory for Energy, Transports and Aeronautics (PROA/LAETA),
Faculty of Engineering, University of Porto, Porto, 0000-0002-8524-5503

⁴ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment,
Porto, 0000-0002-2578-6981

⁵ CONSTRUCT/GEQUALTEC, Instituto da Construção,
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0003-4380-5530

Resumo

As aplicações de gestão da Construção incluem dados relativos à duração de tarefas, orçamentação, qualidade, segurança em obra, entre outros tópicos. No caso específico da orçamentação, as empresas de Construção são obrigadas a avaliar o âmbito de cada tarefa, mapeando as expectativas do cliente (expressas no mapa de quantidade de trabalho) para uma base de dados interna de tarefas, recursos e custos. Esta avaliação é frequentemente realizada por técnicos dentro de restrições de tempo muito austeras, apesar de os resultados obtidos através desta avaliação serem fulcrais para a qualidade e competitividade das propostas emitidas, para além de serem contratualmente vinculativas.

Com o objetivo de melhorar o desempenho desta tarefa, a presente comunicação explora a possibilidade de automatizar esta avaliação manual utilizando algoritmos de classificação de texto. Assim, propõe-se um protocolo para revisão de literatura sobre este tópico utilizando o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*). É realizada uma análise preliminar da literatura recolhida, permitindo a definição de um *framework* para apoiar uma abordagem automatizada à orçamentação.

Embora a automatização total não seja um objetivo verosímil, nem desejado, a curto prazo, especialmente devido à falta de especificações de construção padrão em Portugal, os algoritmos de classificação de texto podem fornecer ferramentas úteis de apoio à decisão. Estes algoritmos requerem grandes volumes de dados, que podem ser obtidos através da sua utilização contínua, pelo que será necessário mais trabalho para desenvolver fluxos de operações abrangentes.

1. Introdução

O processo de concurso é uma fase crucial no projeto de construção para as empresas: a qualidade das propostas pode determinar a obtenção, ou não, de contratos de execução de obra, bem como a perda ou lucro com esse mesmo projeto. Custos adicionais podem originar problemas graves para todos os intervenientes, incluindo eventuais interrupções dos trabalhos por falta de recursos [1, 2]. Uma solução para mitigar este tipo de dificuldades é prever com precisão os custos reais de obra, ou seja, prever o custo real pode promover um melhor planeamento e evitar contratempos posteriores.

Este processo requer a análise cuidada de Mapas de Quantidades e Trabalhos (MQTs), requerendo a consideração simultânea de múltiplas variáveis como duração, custo, qualidade e segurança em obra, entre outros aspetos. Cada projeto é elaborado por técnicos especializados de acordo com diferentes pressupostos como restrições de tempo que tornam estes entregáveis suscetíveis a erros e omissões. Por este motivo, existe interesse no desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão que permitam a mitigação destes problemas, evitando que erros se perpetuem e acumulem ao longo do processo construtivo. O presente trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento de uma ferramenta ou sistema com este mesmo objetivo, focando as empresas nacionais do setor da engenharia civil que pretendam desenvolver processos expeditos de planeamento e de orçamentação de trabalhos de construção. Os métodos propostos não dependem do estabelecimento prévio de formatos padrão para a classificação de trabalhos de construção, embora possam claramente tirar partido de situações em que estes *standards* existam (sejam estes ao nível empresarial ou nacional).

O objetivo do projeto de investigação é transformar os dados acumulados ao longo do tempo, a partir da aglomeração de MQTs, para um formato analítico, analisá-lo e automatizá-lo a partir de uma perspetiva *big data*. O sistema deverá suportar a previsão de custos de construção e prevenir erros através de técnicas de *Machine Learning* (ML), particularmente *Natural Language Processing* (NLP), e análise de dados utilizando informação de projetos passados como referência.

Segundo o relatório anual do Instituto dos Mercados Públicos, do Imobiliário e da Construção (IMPIC), relativo à contratação pública em 2019, a taxa de conclusão registada no caso das obras públicas foi de apenas 25,96%, respeitante a 2855 contratos (contratos celebrados com indicação do preço total efetivo) [3]. Devido a esta falta de informação é difícil determinar eventuais correlações entre o nível de detalhe da informação do concurso e a eficiência da execução, especialmente em relação ao cumprimento de custo e prazo.

Os dados apresentam os principais fatores de custo conceptuais que afetam a estimativa de custos com base na utilização de dados quantitativos históricos [4]. A falta de uma base de dados fidedigna, fiável e pública pode ser um grande obstáculo à

implementação de técnicas NLP em Portugal, pois estes procedimentos necessitam de uma quantidade avultada de dados para sustentar o seu adequado funcionamento.

Em Portugal, a Parque Escolar, (EPE) celebrou um contrato com o consórcio ProNIC que teve, entre outros, o objetivo de disponibilizar uma plataforma que contém uma estrutura de codificação de trabalhos da construção – plataforma ProNIC. Esta teve o intuito de melhorar a gestão e a qualidade dos processos de Construção, desde a fase de projeto até à fase de receção da obra. Através da criação de referências tendo como base as melhores práticas e especificações técnicas dos trabalhos de construção, é possível diminuir a quantidade de erros e omissões na elaboração e análise dos cadernos de encargos. A implementação da plataforma ProNIC em todas as obras públicas em Portugal poderia permitir a normalização dos formatos dos MQTs, de tal forma que simplificaria o desenvolvimento de ferramentas como a que se pretende criar neste projeto de investigação.

Por tudo isto, neste trabalho, procurou-se qual a melhor abordagem para desconstruir estes desafios na indústria da Construção Portuguesa.

Neste artigo expôs-se o protocolo para levar a cabo uma revisão sistemática utilizando o método de PRISMA [5] e propõe-se um *framework* que representa a visão introdutória para o modelo previsto.

2. Metodologia

Este protocolo obedece à lista de verificação PRISMA. Os seguintes subcapítulos ilustrarão a aplicação da metodologia PRISMA à investigação em curso.

2.1. Objetivos

A revisão bibliográfica deve suportar o desenvolvimento, treino e validação de um algoritmo de NLP para a automatização da categorização das tarefas de um orçamento a ser usado na indústria de construção e no contexto português. Para isso, é necessário conhecer quais os principais e mais recentes métodos desenvolvidos na área. Assim este protocolo define a metodologia para responder exclusivamente as seguintes perguntas:

- 1.º Quais são as principais técnicas utilizadas na implementação de ML e NLP na orçamentação de projetos de construção?
- 2.º A que tipo de tarefas do projeto de execução foram aplicadas essas técnicas?
- 3.º De que forma se obtiveram os dados de base dos algoritmos desenvolvidos?
- 4.º Quais os resultados e desempenho obtidos por estes algoritmos?
- 5.º Qual a relação entre a utilização destas técnicas e qualidade das propostas realizadas?

2.2. Critérios de elegibilidade

Para ser considerado elegível, um estudo tem de abordar pelo menos um dos tópicos referidos na lista de questões relevantes apresentadas nos Objetivos. Foram considerados casos de estudo, ensaios controlados, entre outros. Qualquer artigo com dados suficientes para medir a eficácia, identificar as técnicas, métodos de implementação e o significado do resultado. Todas as revisões e atas da conferência serão excluídas. Só foram incluídos artigos de 2018 a 2021 visto que o setor de ML está em grande evolução e com muita produção científica. Apenas artigos que apliquem técnicas de ML e NLP, no contexto da engenharia civil e na fase da orçamentação foram considerados. Finalmente é importante mencionar que apenas artigos escritos na língua inglesa foram incluídos.

2.3. Fontes de informação

As bases de dados eletrónicas *SCOPUS*, *Web of Science*, *Dimensions*, *IEEE* e *Journal Storage* foram utilizadas para responder aos objetivos definidos na Secção 2.1. Estas bases de dados são atualmente as mais relevantes no campo da engenharia e irão apoiar a identificação de informações pertinentes.

2.4. Estratégia de pesquisa

As palavras-chave consideradas para esta pesquisa bibliográfica, de maneira a estender os tópicos dos artigos aos objetivos definidos foram “*Machine learning*” e “*Natural language processing*” para definir as técnicas que se pretende aplicar. “*BIM*” e “*construction*” para abordar a área onde se planeia aplicar as referidas técnicas. E “*cost*” e “*tendering*” de maneira a especificar a parte do processo construtivo sobre a qual se tenciona debruçar.

Outras *keywords* foram adicionadas de modo a abranger o número mais alargado de artigos, resultando na seguinte *string* de pesquisa:

```
("Machine Learning" OR "Text Classification" OR "Natural Language Processing" OR  
"AI" OR "Artificial Intelligence")  
AND ("BIM" OR "Building Information Modelling" OR "Construction" OR "Civil Engi-  
neering")  
AND ("Budgeting" OR "Budget" OR "Tendering" OR "Specification*" OR "Cost")
```

Devido ao número limitado de operadores booleanos da base de dados *Journal Storage* foi utilizada a seguinte *string* de pesquisa para este caso específico:

```
("Machine Learning" OR "Text Classification" OR "Natural Language Processing")  
AND "Construction"  
AND ("Budget" OR "Cost" OR "Tendering")
```

A pesquisa iniciou-se pela inserção de cada combinação de palavras-chave numa das bases de dados eletrónicas previamente descritas; esta 1ª pesquisa será livre de qualquer limitação adicional nesta fase. O número total de artigos foi registado para conclusões estatísticas da amostra. O acompanhamento de cada estudo a partir do número inicial de artigos e do número de artigos excluídos com cada limitação começa pela data, língua, área temática, e depois pela fonte.

Seguidamente, foi feita uma análise com base no título e resumo dos artigos de modo a permitir selecionar de entre os sobrantes quais os que contribuíram para as respostas às perguntas definidas nos Objetivos.

A estratégia final de pesquisa passou por examinar as referências dos artigos recolhidos para verificar a existência de qualquer estudo relevante que possa ser incluído na revisão.

2.5. Registos de estudo

Gestão dos dados:

Os registos foram guardados num ficheiro Excel, sob a forma de tabela. Todos os artigos selecionados foram exportados e analisados para remover duplicados. Todas as referências foram geridas utilizando o software *Endnote*.

Processo de seleção:

À imagem da estratégia de pesquisa a seleção da literatura ocorreu em duas fases de triagem, com base nos critérios de elegibilidade definidos. Na primeira fase, os títulos e resumos foram rastreados, e na segunda fase, o texto integral de toda a literatura potencialmente relevante foi revisto. Em caso de dúvida sobre a análise inicial em torno do título e o rastreio do resumo, os artigos foram guardados para a fase seguinte. Na segunda fase, quando se verificou novamente dúvidas relativamente a inclusão de artigos, qualquer desacordo foi resolvido por consenso através da discussão entre dois revisores.

Processo de Recolha de dados:

O número total de estudos analisados, incluindo os avaliados para critérios de exclusão e inclusão, foi determinado. Além disso, a razão para excluir estudos durante o processo de seleção foi documentada. Os dados qualitativos foram extraídos dos estudos eleitos e registados na revisão utilizando uma tabela pré-estruturada para extração de dados. A intenção foi recolher os dados que responderão com precisão às questões e objetivos da investigação. A tabela foi preenchida com os resultados combinados das diferentes bases de dados.

2.6. Elementos dos dados

Os dados recolhidos de artigos selecionados foram resumidos em tabelas descritivas com detalhes de publicação e tópicos definidos previamente como: técnicas utilizadas na implementação de ML e NLP, tipo de tarefas do projeto de execução abordadas, método para obtenção de dados de base, resultados e desempenho obtidos e se houve um aumento da qualidade das propostas realizadas com recurso a técnicas NLP. Também elementos como título, autor, ano entre outros foram registados para fins estatísticos.

2.7. Resultados e priorização

O principal objetivo desta revisão é conhecer qual(ais) a(s) melhor(es) técnica(s) para a construção de um algoritmo NLP a ser utilizado na classificação de atividade a partir de MQT e outros documentos dados de um projeto de construção com vista à elaboração de um orçamento contratualmente vinculativo. O objetivo secundário é estudar de que forma estes algoritmos podem influenciar positivamente a produtividade, sustentabilidade e gestão do processo de orçamentação na fase de concurso.

2.8. Risco de parcialidade

A análise ao risco de parcialidade dos artigos selecionados realizou-se por dois autores independentes de acordo com uma adaptação da ferramenta da Cochrane Collaboration para avaliar o risco de parcialidade [6].

2.9. Síntese de dados

A lista de verificação de PRISMA orientou este processo e a síntese dos dados realizou-se extraindo informações dos artigos elegíveis recolhidos na folha de formulário. Na tabela, os resultados significativos foram destacados.

Para este tipo de estudo, as Meta-Análises não foram aplicadas. Se um conjunto de artigos permitir o desenvolvimento de uma meta-análise, a situação será corrigida mais tarde.

2.10. Confiança nas evidências acumuladas

A Revisão Sistemática é no campo da engenharia, conseqüentemente a confiança em provas cumulativas não foi aplicável.

3. Resultados preliminares

Os resultados preliminares da revisão realizada são apresentados na Figura 1. Como visível nesta figura, foram inicialmente identificados 5961 artigos relacionados com este tópico; contudo, após o processo de filtragem supramencionado, este número

foi reduzido a 72 artigos. Uma análise inicial destes artigos permitiu detalhar uma primeira proposta para o *framework* idealizado, bem como suportar alguns dos comentários existentes na Secção 1 do artigo. Uma análise pormenorizada dos resultados obtidos será publicada em trabalhos futuros.

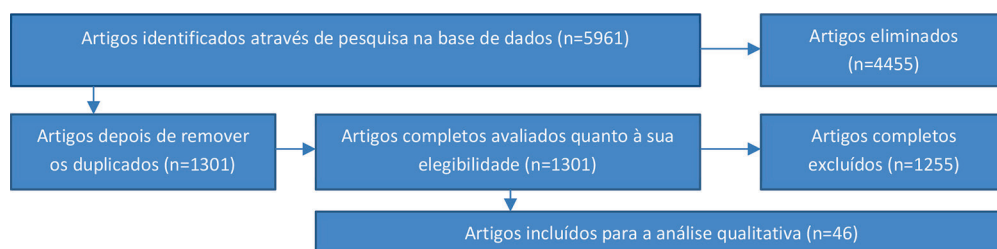


Figura 1
Resultados preliminares da estratégia de pesquisa.

4. Abordagem proposta para o desenvolvimento da ferramenta idealizada

Um repositório de especificações dedicado a tarefas de construção civil, como por exemplo MQTs e esquemas de planeamento, é o método mais utilizado na bibliografia revista: Hong [7] selecionou aleatoriamente 27 MQTs de projetos concluídos, sendo estes fornecidos por um empreiteiro no Reino Unido. Estes mapas foram depois etiquetados manualmente utilizando sistemas britânicos de classificação da Construção, como o *Standard Method of Measurement* [8] para criar um conjunto de dados base para suporte do algoritmo de decisão proposto. Moon, [9] utilizou um processo semelhante a Hong, recolhendo sete especificações, incluindo 2 cadernos de encargo utilizados em projetos de Construção de autoestradas no Qatar e 5 especificações-padrão, ou seja, normas nacionais de países como Austrália, Reino Unido e Estados Unidos da América. Moon justifica a aplicação de normas padrão de outros países no Qatar devido a estas estarem bem organizadas, o que assegura a qualidade dos dados.

Um outro método para obtenção de dados é a utilização de modelos *Building Information Modelling* (BIM) [10-13]. Um modelo BIM capta muita informação sobre o ciclo de vida dos edifícios, sendo que é através da recuperação desta informação que os sistemas de apoio à decisão utilizam o BIM [13]. Wang [13], propõe um esquema de recuperação de informação para BIM utilizando, para isso, uma estrutura de árvore hierárquica e técnicas NLP. Através deste sistema o autor consegue aceder à informação dentro do modelo BIM através da estrutura de dados da especificação *Industry Foundation Class* (IFC), analisando esta informação com a ajuda do *International Framework for Dictionaries* (IFD) e algoritmos NLP para desenvolver um novo esquema de recuperação de informação para detetar informação multiforme associada às consultas de modelos BIM.

Estudos anteriores relativos à aplicação de NLP para auxílio na elaboração de orçamentos, apenas se aplicam a um tipo específico de tarefa [11, 14-18]: Akanbi [14] utilizou modelação semântica e técnicas de NLP no desenvolvimento de algoritmos que automatizam os processos manuais envolvidos na elaboração de um orçamento,

aplicando este modelo a um projeto de construção em madeira. O autor foca, em particular, a classificação semântica de atributos como a espessura, a aplicação e o tipo de madeira. Noutro estudo, Zang [18] aplicou um método de segmentação de palavras, baseado na correspondência máxima inversa [19], com o objetivo de analisar as especificações de construção chinesas. Ao examinar as especificações de concepção de escadas, o método proposto trata os símbolos não chineses nas especificações para fazer corresponder os contextos às especificações de design gerais chinesas.

No processo tradicional de contratação de empreitadas de obras públicas um Dono de Obra disponibiliza na plataforma de contratação os elementos que instruem o procedimento. Os MQT são elementos essenciais e é sobre estes que as empresas de construção que decidam concorrer deverão elaborar a sua proposta de preço. Função da experiência e abordagens estratégicas, as empresas trabalham os MQT de modo a identificar os custos para as diferentes tarefas previstas, bem como avaliar a existência de erros e omissões tanto no MQT como nos outros elementos. A identificação dos custos a associar às tarefas do MQT a concurso é um processo permeável a erros. A errada classificação das tarefas pode traduzir-se na perda do concurso pelo facto de a proposta não ser competitiva ou pode traduzir-se num risco acrescido para a empresa no caso de ganhar o concurso e perceber à posteriori a existência desse erro. Na literatura revista, os autores salientaram o valor acrescentado da utilização de documentos estruturados, embora não tenham sido exploradas aplicações práticas. Resta, portanto, a metodologia NLP. As diferenças destas abordagens são as seguintes:

- a primeira baseia-se no desenvolvimento de um documento legal nacional, que descreva as tarefas de forma detalhada e que é adotado pelo setor da Construção. O ProNIC numa fase inicial de desenvolvimento estruturou um leque abrangente de tarefas para a construção e reabilitação de edifícios e integrou o sistema de rubricas para a construção de estradas que tinha sido desenvolvido pela JAE – Junta Autónoma de Estradas. No contexto da Fase 3 do programa da Parque Escolar, EPE, o ProNIC ampliou a base de dados para as especificidades de construção e reabilitação de edifícios de uso escolar. Apesar de várias diligências e regulamentação no sentido de adotar o ProNIC em outras obras públicas, o processo não teve seguimento por parte do IMPIC, IP, entidade responsável pelo projeto em representação do Estado Português [20].
- a segunda abordagem reconhece a dificuldade de uniformizar todos os MQTs da indústria, utilizando uma abordagem NLP para traduzir estes documentos num formato *standard* reconhecido pelo empreiteiro (aqui identificado como MQT “*master*”). Este procedimento tem a vantagem adicional de poder ser aplicado a um projeto internacional, no qual o MQT, pode não estar estruturado de uma forma considerada comum no país de origem do empreiteiro, nem estar escrito no mesmo idioma do MQT “*master*”. Este documento contém tarefas com os preços unitários praticados pela empresa em questão. Para isso, esta abordagem foca-se na identificação de determinadas expressões e/ou palavras-chave que permitam a associação das tarefas de um MQT

qualquer com o MQT “*master*”. Para fazer esta identificação so utilizados algoritmos de aprendizagem computacional probabilísticos, como: *Naïve Bayes (NB)*, *Support vector machines (SVM)*, *K-nearest neighbors (KNN)*, *Decision tree (DT)*, *Logistic regression (LR)*, and *Feedforward neural network (FNN)* [21].

No presente artigo, focou-se a segunda solução, sendo apresentada, na Figura 2, um *framework* para o desenvolvimento de uma solução deste tipo. Como visível nesta figura, podemos generalizar a *framework* para o desenvolvimento de um modelo de classificação de texto com recurso a NLP em seis etapas [22]:

- (1) recolha dos documentos contratuais de projetos passados para formar uma base de dados inicial. Esta base de dados é vital para o sucesso desta solução, uma vez que é com ela que se fará, nas etapas seguintes, o treino e teste dos algoritmos
- (2) execução do pré-processamento dos dados, usando técnicas como *tokenization*, normalização e remoção de ruído, onde são aplicados algoritmos para obtenção de primitivas, uniformização do texto em minúscula, remoção de caracteres especiais e espaçamentos, eliminação de conectores, entre outros;
- (3) seleção das características do texto restante (*feature selection*) com base no seu poder discriminatório;
- (4) desenvolvimento dos vários tipos de algoritmos de NLP a serem treinados e testados;
- (5) treino e teste dos algoritmos desenvolvidos com recurso aos dados recolhidos na etapa 1 e seleção do melhor algoritmo com base no seu desempenho e precisão;
- (6) aplicação do algoritmo selecionado para associação das tarefas do caderno de encargos do Dono de Obra e o ficheiro “*master*” do empreiteiro, culminando na automatização da classificação das tarefas do MQT de execução que servirá de base para o orçamento do empreiteiro.

A obtenção dos dados para a primeira etapa poderá ser realizada através de referenciais como o ProNIC ou então pela cedência desta informação por parte de uma empresa de construção. É importante definir que o que se pretende fazer é uma classificação do MQT final tendo em conta o *master*; ou seja, pretende-se classificar automaticamente, não orçamentar automaticamente.

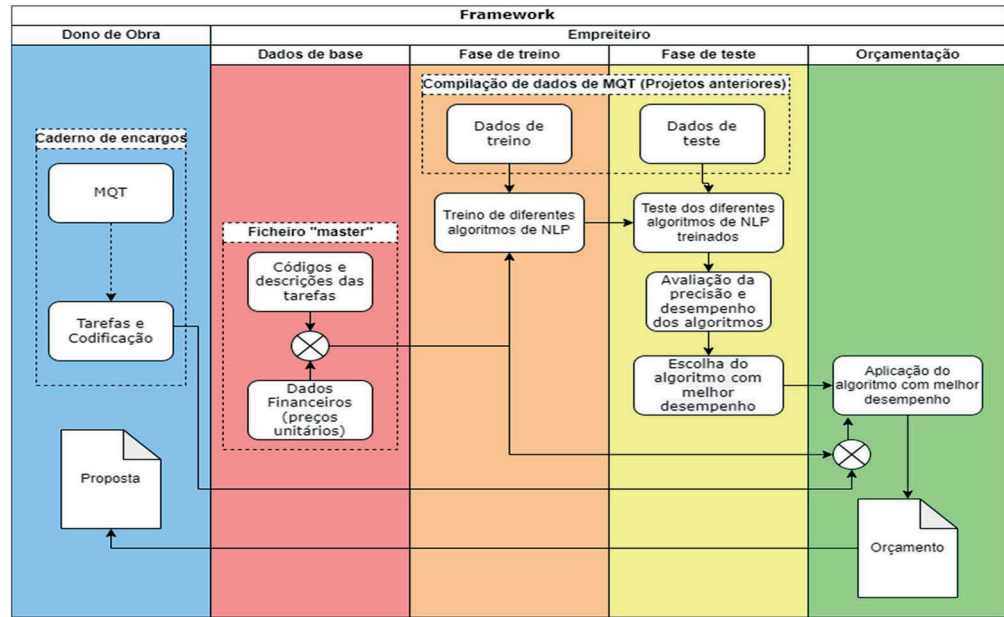


Figura 2
Framework proposto.

5. Conclusão e trabalhos futuros

O presente artigo teve como objetivo identificar uma solução para mitigação dos erros associados ao processo de orçamentação durante a fase de concurso, resultantes das restrições de tempo. Foi realizada uma revisão com recurso à metodologia PRISMA, da qual são apresentados os resultados preliminares.

Na literatura recolhida foram identificadas duas possíveis soluções, sendo adotada a metodologia com base em NLP. A eficiência e precisão dos modelos de NLP em tarefas como a extração de texto e análise semântica revela-se uma mais-valia para o processo de tomada de decisão na fase de orçamentação de um projeto de construção [14, 23]. As informações a serem introduzidas no modelo serão analisadas em forma de texto ou Work Breakdown Structure e podem ser obtidas a partir do modelo BIM ou de documentos relacionados com o projeto, tais como MQTs. Com base nesta solução foi proposto um *framework*, dividido em seis etapas distintas, que permite a aplicação desta abordagem ao setor da Construção em Portugal.

Como trabalhos futuros, estão planeadas duas vertentes de trabalho. Na primeira serão realizadas atualizações futuras da presente revisão, com vista à adição de artigos impactantes para a abordagem proposta. Na segunda a *framework* desenvolvida será aplicada a um contexto prático para definição clara das suas vantagens e desvantagens.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado financeiramente por: Financiamento de Base-UIDB/04708/2020 do CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiado por fundos nacionais através do FCT/MCTES (PIDDAC). Este trabalho é também cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa

Operacional Regional do Norte (Norte 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176].”

Referências

- [1] A. Pessoa, G. Sousa, L. M. F. Maues, F. C. Alvarenga, and D. D. Santos, “Cost Forecasting of Public Construction Projects Using Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks: A Case Study”, *Ingenieria E Investigacion*, vol. 41, no. 3, Dec 2021, Art no. e87737, doi: 10.15446/ing.investig.v41n3.87737.
- [2] P. Jafari, M. Al Hattab, E. Mohamed, and S. Abourizk, “Automated extraction and time-cost prediction of contractual reporting requirements in construction using natural language processing and simulation”, *Applied Sciences (Switzerland)*, Article vol. 11, no. 13, 2021, Art no. 6188, doi: 10.3390/app11136188.
- [3] (2020). *Contratação Pública em Portugal 2019*.
- [4] H. H. Elmousalami, “Data on Field Canals Improvement Projects for Cost Prediction Using Artificial Intelligence”, *Data in Brief*, vol. 31, p. 105688, 2020, doi: 10.1016/j.dib.2020.105688.
- [5] M. J. Page, “The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews”, *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.
- [6] P. Montgomery, & Shepard, L. (n.d.). “Running on Empty: The Cochrane Empty Reviews Project report of findings and consensus group feedback”. [Online]. Available: <https://emptyreviews.files.wordpress.com/2011/11/madridmeetingpresentation-finalpostedits.pdf>.
- [7] Y. Hong, H. Y. Xie, G. Bhumbra, and I. Brilakis, “Comparing Natural Language Processing Methods to Cluster Construction Schedules”, *J. Constr. Eng. Manage.*, vol. 147, no. 10, Oct 2021, Art no. 04021136, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0002165.
- [8] C. C. Royal Institution of Chartered Surveyors, *SMM7: standard method of measurement of building works*. London: Royal Institution of Chartered Surveyors (in English).
- [9] S. Moon, G. Lee, and S. Chi, “Semantic text-pairing for relevant provision identification in construction specification reviews”, *Autom. Constr.*, Article vol. 128, 2021, Art no. 103780, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103780.
- [10] M. Juszczuk, K. Zima, and W. Lelek, “Forecasting of sports fields construction costs aided by ensembles of neural networks”, *J. Civ. Eng. Manag.*, Article vol. 25, no. 7, pp. 715-729, 2019, doi: 10.3846/jcem.2019.10534.

- [11] M. Juszczuk, "Implementation of the ANNs ensembles in macro-BIM cost estimates of buildings' floor structural frames", 2018, p. 020014, doi: 10.1063/1.5030318. [Online]. Available: <https://app.dimensions.ai/details/publication/pub.1103695750>
- [12] M. Juszczuk and A. Leśniak, "Modelling Construction Site Cost Index Based on Neural Network Ensembles", *Symmetry*, vol. 11, no. 3, p. 411, 2019, doi: 10.3390/sym11030411.
- [13] J. Wang, X. A. Gao, X. P. Zhou, and Q. S. Xie, "Multi-scale information retrieval for bim using hierarchical structure modelling and natural language processing", (in english), *journal of information technology in construction*, vol. 26, pp. 409-426, 2021, doi: 10.36680/j.itcon.2021.022.
- [14] T. Akanbi and J. S. Zhang, "Design information extraction from construction specifications to support cost estimation" (in English), *Autom. Constr.*, vol. 131, NOV 2021, doi: 10.1016/j.autcon.2021.103835.
- [15] H. Elhegazy, "Artificial Intelligence for Developing Accurate Preliminary Cost Estimates for Composite Flooring Systems of Multi-Storey Buildings", *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2021, doi: 10.1080/13467581.2020.1838288.
- [16] M. Juszczuk, A. Leśniak, and K. Zima, "ANN Based Approach for Estimation of Construction Costs of Sports Fields", *Complexity*, vol. 2018, pp. 1-11, 2018, doi: 10.1155/2018/7952434.
- [17] S. Lakusic, "Use of artificial intelligence for estimating cost of integral bridges", *Journal of the Croatian Association of Civil Engineers*, vol. 73, no. 03, pp. 265-273, 2021, doi: 10.14256/jce.2831.2019.
- [18] J. Zhang, "A RMM based Word Segmentation Method for Chinese Design Specifications of Building Stairs", in *14th International Conference on Computational Intelligence and Security (CIS)*, Hangzhou, PEOPLES R CHINA, Nov 16-19 2018, 2018, pp. 277-280, doi: 10.1109/cis2018.2018.00068. [Online]. Available: <Go to ISI>://WOS:000456370300060
- [19] H. Y. Qu and W. Zhao, "A Revised BMM and RMM Algorithm of Chinese Automatic Words Segmentation", presented at the MANUFACTURING SYSTEMS AND INDUSTRY APPLICATIONS, 2011.
- [20] P. Mêda, H. Sousa, and J. Moreira, "ProNIC contributions for building refurbishment – Procedures and Technology", 2014.
- [21] F. Gürçan, "Multi-Class Classification of Turkish Texts with Machine Learning Algorithms", in *2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 19-21 Oct. 2018 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISMSIT.2018.8567307.

- [22] F. Ul Hassan, T. Le, and D. H. Tran, "Multi-Class Categorization of Design-Build Contract Requirements Using Text Mining and Natural Language Processing Techniques", 2020: American Society of Civil Engineers (ASCE), pp. 1266-1274. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85096775363&partnerID=40&md5=9d03020e09d8cc3942e26264a6f8dc69>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85096775363&partnerID=40&md5=9d03020e09d8cc3942e26264a6f8dc69>
- [23] R. Y. M. Li, H. C. Y. Li, B. Tang, and W. C. Au, "Fast AI classification for analyzing construction accidents claims", 2020: ICST, pp. 1-4, doi: 10.1145/3407703.3407705. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85090386362&doi=10.1145%2f3407703.3407705&partnerID=40&md5=eb3d8cb4611d6b48d80a5e1d1ae5171c>

Aprendizagem de máquinas aplicada a modelos de informação de construção: BIM2GNN

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.8>

**Aydan Aghabayli¹, Ricardo de Matos Camarinha²,
Manuel Esteves Luís³, José Granja⁴, Bruno Figueiredo⁵**

¹ *Universidade de Lisboa, Faculdade de Arquitetura, Lisboa, Portugal, 0000-0001-7420-221X*

² *BIMTEC Consultancy, Doha, Qatar, 0000-0002-3389-8043*

³ *BIMTEC Consultancy, Doha, Qatar*

⁴ *Universidade do Minho, ISE, Escola de Engenharia, Guimarães, Portugal, 0000-0002-0858-4990*

⁵ *Universidade do Minho, Lab2PT, Escola de Arquitetura, Arte e Design, Guimarães, Portugal, 0000-0001-8439-7065*

Resumo

Seguindo o conceito de digitalização, é amplamente aceite que actualmente ocorre uma transformação na indústria AEC impulsionada pela integração de processos eficazes na gestão de dados. Neste contexto, o BIM tem vindo a ganhar cada vez mais relevância ao permitir o acesso a grandes repositórios de dados. Os modelos BIM representam uma oportunidade de explorar grandes conjuntos de dados para melhorar a gestão do conhecimento e desempenho da indústria. No entanto, a conversão de dados em conhecimento requer um processo iterativo de contextualização e interpretação. Este trabalho adota uma perspectiva de aprendizagem para as máquinas aprenderem com os dados armazenados nos modelos BIM. A Aprendizagem Máquina – *Machine Learning* (ML) – é um subdomínio da ciência de dados que abre novos horizontes ao processo de aprendizagem a partir de grandes quantidades de dados, o que poderá desafiar a actual sector da AEC.

Este artigo estrutura-se em duas partes principais: em primeiro, apresenta uma revisão da literatura; em segundo lugar, propõe e testa uma estrutura BIM2GNN para fazer um uso iterativo, totalmente transparente, de dados BIM em algoritmos ML. Neste contexto, recorreu-se a algoritmos de Rede Neural Convolucional – *Convolutional Neural Network* (CNN) – e Redes Neurais Gráficas – *Graph Neural Network* (GNN).

Os autores concluíram que os dados BIM são relevantes para implementar técnicas de aprendizagem na construção, no entanto, existem ainda vários obstáculos a ultrapassar ao nível da indústria. Estes incluem o acesso a dados, formato de dados, tipos de ficheiros, estrutura de dados e interoperabilidade.

1. Introdução

Modelos de Informação para a Construção – *Building Information modelling* (BIM) – são cada vez mais utilizados na indústria AEC, nas suas diversas disciplinas e nos diferentes ciclos de vida do edificado. Apesar da adopção de BIM colocar vários desafios, cria oportunidades para abordagens inovadoras aos processos arquitetónicos e de construção [1]. Com o desenvolvimento de BIM, a indústria de AEC tem lidado com uma maior quantidade de dados gráficos e não gráficos. Técnicas computacionais avançadas e inteligentes da ciência de dados permitem oportunidades no sector através da capacidade de análise de *Big Data* [2]. Não obstante, o processo de recolha, organização, processamento e apresentação de dados continua a estar entre os principais desafios experimentados na indústria de AEC. Talvez, por este motivo, os processos de construção e projeto que beneficiam das actuais tendências da revolução digital, particularmente das abordagens da ciência dos dados, estejam ainda atrasadas se comparadas com outros sectores [3].

Com o desenvolvimento de tecnologias digitais dos últimos anos, verifica-se uma crescente digitalização da indústria AEC. Esta evolução dá-se sobretudo através de projectos de grande dimensão e complexidade, onde se experimenta a integração de dispositivos tecnológicos, que apoiam a normalização, precedentes legais, e a possibilidade de envolver e beneficiar todas as partes interessadas. O BIM tornou-se uma pedra angular do processo de evolução digital, envolvendo os vários softwares e tecnologias a ele ligados [5]. Contudo, importa questionar até que ponto os modelos BIM, um dos mais importantes repositórios de informação na indústria da construção, desempenham um papel central na facilitação da gestão de dados, uma vez que a disponibilidade dos dados por si só não melhora os processos de concepção ou construção.

Uma compreensão mais completa do conceito de digitalização na indústria AEC requer uma discussão sobre o processo de transformação dos dados em informação e, subsequentemente, em conhecimento [6, 7]. Os dados consistem em representações alfanuméricas sem relação ou significado, ou seja, sem contexto; a informação é o resultado de dar significado a esses caracteres. A informação torna-se conhecimento quando esta relação é analisada e compreendida dentro de algum contexto particular [8]. Neste documento, sugerimos um processo em que os dados são sujeitos a um processo semelhante para o desenvolvimento do conhecimento colectivo e, em última análise, do conhecimento.

Este documento investiga como a Aprendizagem Máquina – *Machine Learning* (ML) – pode apoiar e acelerar esta tendência, analisando o estado da arte de um domínio científico que se caracteriza pela rápida evolução de estudos na área da Inteligência Artificial, focando-se na sua aplicabilidade de técnicas específicas aos modelos BIM [4]. A ML lida com uma grande quantidade de dados e inclui técnicas que podem ajudar a identificar padrões, mesmo sem dados estruturados ou um problema especificamente definido. Assim, vemos a ML como o próximo passo necessário na gestão dos modelos BIM e na extracção de resultados vantajosos a partir dos dados

disponíveis. Como tal, este documento discute mais profundamente estratégias de utilização de dados de modelos BIM em técnicas ML.

2. Aprendizagem Máquina aplicada ao domínio da Arquitetura

A recente integração das tecnologias da informação (TI) em diferentes disciplinas facilitou o uso de técnicas da ciência de dados em áreas tão varadas quando a medicina, marketing, e construção. Como exemplo, as tarefas que mais recorrem à implementação de ML incluem a classificação de texto ou documentos, reconhecimento e processamento da fala, reconhecimento de objetos, imagens ou rostos, detecção de fraudes, diagnóstico médico, entre outros [9]. A ML pode ser identificada como um subcampo da Inteligência Artificial (IA), um grande campo que geralmente pode ser descrito como uma abordagem para a adopção de capacidades de pensamento cognitivo humano. É uma técnica para ensinar os computadores a imitar a capacidade de aprendizagem humana seguindo vários algoritmos e aprender com os dados disponíveis. Além disso, a ML pode ser definida "(...) como métodos computacionais utilizando a experiência para melhorar o desempenho ou para fazer previsões precisas" [9].

Aprendizagem profunda – Deep Learning (DL) – é um subcampo da ML que consiste em algoritmos de Rede Neural (NN) que podem simular a actividade cerebral humana, identificando e podendo extrair padrões inesperados dos dados analisados [10]. O DL é utilizado numa vasta gama de aplicações, tais como voz, reconhecimento de imagem e texto, recomendações online, algoritmos de preços, entre outros [11].

As Redes Neurais Gráficas (GNN) são um método DL que trabalha com dados gráficos. A estrutura de dados gráficos é representada por nós – um conjunto de objetos, e por arestas – a relação entre esses objetos. GNN tem ganho popularidade uma vez que tem aplicação em muitas áreas, especialmente áreas que envolvem trabalho com dados visuais (tais como imagens). A aplicação de dados gráficos é adequada para a estruturação de tarefas em ciências sociais, naturais, e outras ciências e disciplinas [12].

3. Aplicações anteriores de Redes Neurais para desenho arquitetónico

Actualmente, os algoritmos NNs estão a tornar-se extensivamente adotados por investigadores na área da Arquitetura. A revisão realizada mostra que os algoritmos de Redes Adversárias Generativas – *Generative Adversarial Network* (GAN) – são os mais adotados em investigações para o desenho de plantas arquitetónicas. As GANs são algoritmos NN propostos por Goodfellow et al. em 2014 [13]. Os GAN são utilizados para estimar modelos generativos, que podem gerar novas instâncias de dados através da criação de dois algoritmos de rede neural concorrentes: o gerador e o discriminador. O primeiro gera dados falsos semelhantes à verdade do terreno. Isola et al. [14] exploraram as Redes Adversárias Condicionais (uma aplicação baseada em

GANs) para tradução de imagem para imagem, tais como imagens de satélite para mapas, gerador de fachadas a partir de etiquetas ou imagens de dia para noite. Este foi identificado como um dos primeiros exemplos de utilização desta metodologia no domínio arquitetónico. No domínio da concepção de plantas arquitetónicas, os algoritmos GAN foram aplicados numa série de aplicações como a geração automática de espaços, tal como apresentado por Nauata et al. [15]. Neste estudo, a máquina gera novas plantas recebendo gráficos de conectividade sob a forma de diagramas de bolhas como entrada. Stanislas Chaillou [16] propôs um procedimento para a geração automática de plantas em que a máquina gera novas plantas baseadas num contorno exterior pré-definido, para além das janelas verticais distribuídas ao longo desse contorno.

A investigação de Cecilia Ferrando [17] analisa as plantas dos edifícios históricos em formato de imagens raster para determinar a sua conectividade espacial e gráficos de visibilidade. Os algoritmos NN processam depois esta informação para determinar automaticamente os rótulos adequados aos espaços de disposição. A discussão sobre a capacidade de reconhecer automaticamente padrões a partir de plantas, mesmo de projetos menos convencionais de alguns arquitetos de renome, é apresentada na pesquisa de As et al. [11]. Neste estudo de caso, DL sob a forma de GANs aprende a partir de gráficos de conectividade para automatizar processos semelhantes na fase de concepção conceptual do projeto. Os autores extraem os gráficos de entrada dos modelos BIM fazendo uso de ferramentas BIM convencionais.

Em resumo, a crescente popularidade do uso de GANs na identificação e criação de plantas é evidente. Enquanto a informação 2D é ainda a fonte de dados mais comum e amplamente disponível na indústria, este artigo sugere que o crescente impulso na representação do ambiente construído em formatos 3D justifica a discussão de abordagens que se baseiam nesta fonte de informação mais completa. David Newton [18] utiliza uma síntese de desenhos 2D e modelos 3D para treinar o algoritmo de criação automática de fachadas representativo de certos estilos arquitetónicos.

Apesar da popularidade das GANs no domínio da arquitetura, algumas aplicações de GNNs foram também revistas. O estudo publicado por Hu et al. [19] apresenta o Graph2Plan que permite a geração automática de plantas com base numa determinada implantação do edifício e introduz a utilização de GNNs nesse contexto. Além disso, o método permite incluir várias restrições ao plantas, tais como contagem de salas e conectividade. O algoritmo foi treinado com base no conjunto de dados de plantas arquitetónicas RPLAN, constituído por um conjunto de imagens *raster*. Os autores introduziram o uso de GNNs para processamento sobre os plantas a partir da abordagem gráfica e Redes Neurais Convolucionais (CNNs) para processamento de imagens *raster*. A otimização foi aplicada para alinhar os resultados obtidos a partir do processamento de GNNs e algoritmos de CNNs [19].

O conceito de utilização de dados gráficos integrados num modelo 3D foi recentemente desenvolvido por Jabi e Alymani [20]. Nesta pesquisa, os autores apresentaram um novo conceito de utilização de modelos conceptuais 3D em vez de imagens

raster 2D para aplicações de ML em projetos arquitetônicas e de desenho urbano. Foi criada uma grande quantidade de dados sintéticos utilizando *software* topológico. Os dados consistiram em diferentes topologias de edifícios (constituídos por células) e a sua área de implantação (uma célula que representa um bloco urbano onde o edifício está localizado).

Embora estas técnicas tenham começado a utilizar dados 3D como *input*, a utilização de modelos BIM ainda foi limitada. Os campos de aplicação ML propostos incluem a detecção de colisões [21], estimativa de custos [22], conversão de nuvem de pontos de varrimento 3D para BIM [23, 24], fabricação digital [25], modelação energética ou sustentabilidade [26]. Não obstante, a revisão bibliográfica realizada para este estudo mostra que, para conhecimento dos autores, não existe um trabalho relevante na gestão do processo de desenho arquitetónico conceptual através da integração de dados ML e BIM. Como os modelos BIM contêm uma estrutura de dados mais rica do que, por exemplo, imagens raster, há uma oportunidade de melhorar a utilização de algoritmos ML, utilizando dados BIM como *input*.

4. Estrutura: BIM2GNN

Esta secção propõe uma estrutura para ligar os dados BIM e um processo de aprendizagem GNN. Dado um grande número de potenciais usos desta aplicação, o BIM2GNN foi especialmente concebido no âmbito da análise e geração de plantas arquitetónicas. Como tal, a estrutura recorre a Sintaxe Espacial – Space Syntax (SS) – como a semântica que liga o BIM e a ML. Uma planta é analisada de acordo com regras SS [17]. A teoria da Sintaxe Espacial estuda as relações entre os espaços e desenvolve técnicas para medir e analisar essas relações. As análises de conectividade com o gráfico de conectividade [27] como resultado foram identificadas como a metodologia primária que pode ser utilizada neste trabalho. Para além da tarefa primária de identificação da planta, os espaços podem ser classificados de acordo com o seu nível de privacidade, para o qual as relações definidas pelas metodologias da Sintaxe Espacial também são úteis [28].

4.1. Metodologia

O trabalho estruturou-se de acordo com um processo iterativo e experimental. Incluiu a criação de um conjunto de dados síntese (como o *input* para o algoritmo ML), preparação de dados (ordem, filtragem, junção, criação de matriz), formação de um modelo NN e a passagem dos dados de teste.

Devido à dificuldade em encontrar dados em modelos de formato BIM, foi decidido utilizar os dados síntese como *input* para o algoritmo. Os dados síntese foram criados utilizando o software Autodesk Revit usando as linguagens Dynamo e Python. O conjunto de dados consiste na construção de plantas aleatórios com três, quatro e cinco divisões.

Para simplificar o processo para a primeira fase de implementação, foi decidido limitar os plantas com paredes, salas e portas. Cada espaço representava uma espaço e foi nomeado de acordo com uma convenção de nomenclatura – "Grupo"_"ID do planta"_"nome do espaço" (por exemplo, Grupo 221 KIT). Os seguintes ID-s foram atribuídos aos espaços: KIT – cozinha; LVR – sala de estar; NB1/NB2 – quartos 1 e 2; e WC para casas de banho. As ligações entre os espaços foram representadas apenas por portas entre eles.

Duas tabelas foram extraídas do Revit para um ficheiro .csv como dados em bruto para posterior execução do algoritmo. Após a extracção, os ficheiros .csv foram inseridos em dois ficheiros diferentes do Google Collab. A biblioteca Pandas de Python foi utilizada para a modificação dos dados. Os conjuntos de dados foram filtrados e as instâncias de dados inúteis (as áreas da sala, parâmetros de portas, etc.) foram apagadas. O conjunto de dados simplificado foi guardado num ficheiro .csv.

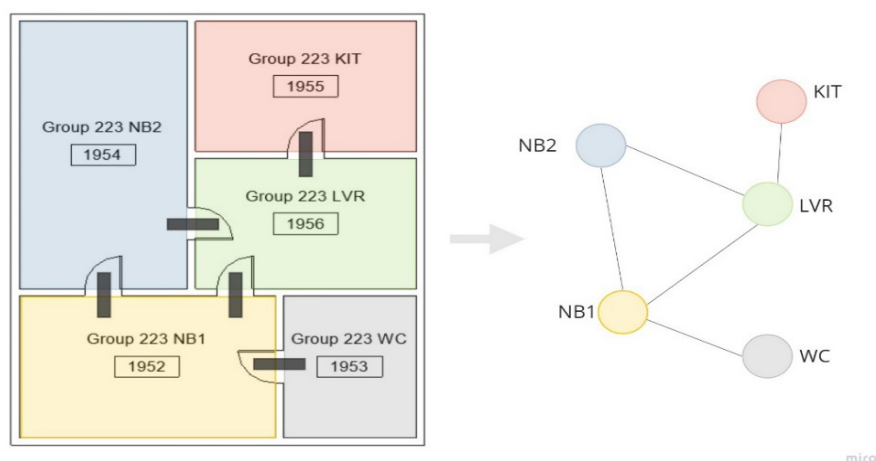


Figura 1
Um exemplo da geração de um gráfico a partir da planta do edifício.

Para dar contexto e significado aos dados, estes precisavam de ser convertidos em formato gráfico antes de poderem ser utilizados como entrada para GNNs. A figura 1 ilustra um exemplo de análise manual de Sintaxe Espacial: criação do gráfico a partir do planta. A primeira imagem ilustra um mapa convexo, e a segunda a conectividade. Cores diferentes representam salas diferentes no gráfico. A teoria da Sintaxe Espacial foi introduzida e envolvida no estudo de caso actual como uma ligação entre a interpretação (ou seja, dar sentido) do espaço arquitetónico e a sintaxe da máquina. Para maior legibilidade dos dados, foi criada uma matriz de conectividade.

Foi criada uma matriz adjacente (como uma representação típica dos dados do grupo) com base nos dois conjuntos de dados iniciais. O conjunto de dados dos espaços foi utilizado para ter uma lista completa de plantas disponíveis com os espaços correlacionados; isto foi utilizado como base para a matriz. A informação do conjunto de dados da porta foi extraída para preencher a matriz com valores 1,0 ou 0,0 (sim/não); as margens do gráfico não têm um peso atribuído (todas as relações nos gráficos foram assumidas como as mesmas para esta fase do projeto). Todos os valores da matriz (excepto os índices – nomes de colunas) foram codificados em números,

incluindo a identificação dos espaços. Para maior identificação na matriz, foram criadas colunas `Room_Type` e `Room_Group`; `Room_Type` representa o valor atribuído para cada tipo de espaço (por exemplo, cozinha - KIT - 0) enquanto `Room_Group` representa o índice de diferenciação para cada planta.

Cada planta é avaliada apenas com base nas suas funções de conectividade; não foram atribuídos parâmetros de tamanho ou área. Como tal, várias das variações das amostras detectadas no conjunto de dados foram reduzidas a algumas representações como gráficos. Os dados foram divididos em dados de treino (70%) e em dados do teste (30%). A separação foi realizada com as restrições de que a localização dos espaços a partir da mesma disposição deveria ser o mesmo conjunto de dados (treino ou teste). O conjunto de dados foi testado num algoritmo de redes neuronais. Os modelos CNN e GNN foram treinados com base nos seguintes parâmetros:

```
hidden_units = [32,32]
learning_rate = 0.01
dropout_rate = 0.5
num_epochs = 300
batch_size = 256
```

A máquina foi treinada para reconhecer nomes dos espaços (nomes em bruto na coluna `Room_Name`) com base na conectividade entre os espaços (valores 1,0 ou 0,0 na matriz de conectividade). Como resultado da formação, o resultado global da previsibilidade foi definido como 25%.

4.2. Descobertas

O processo geral da implementação dos dados de BIM é considerado bem sucedido. Permite aceder e extrair dados de modelos BIM e posteriormente executar dados gráficos com algoritmos ML. O tempo de processamento do algoritmo e de recolha de dados é mais rápido do que poderia ser no processamento de imagens *raster* 2D. Isto pode muito provavelmente ser justificado pelo fato da estrutura abordar os dados de uma forma mais estruturada, ou seja, filtra e identifica o tipo de dados e os formatos de valores que podem gerar *insight* para a aplicação em questão. Ao executar conjuntos de dados baseados em imagens, o algoritmo baseia-se em *inputs* gráficos que, ao nível do *pixel* ou do grupo de *pixels*, são, como ponto de partida, menos relevantes para a aplicação. Como tal, os dados estruturados nos modelos BIM são necessariamente mais relevantes no início para a ML, transpondo a aplicação.

Não obstante, verificou-se também que o conjunto de dados síntese poderia ser demasiado simplista, comprometendo a capacidade da máquina de detectar padrões suficientes para prever os resultados desejados. Além disso, a utilização de modelos industriais – ou seja, mais complexos – pode fornecer uma estrutura de dados mais rica que poderia ser benéfica para o algoritmo. No entanto, durante este trabalho, verificou-se que a utilização de dados reais de construção de diferentes fontes em

formato nativo pode criar desafios adicionais devido à falta de padronização da indústria conhecida.

Enquanto a maioria dos trabalhos analisados pela ML que utilizam dados de BIM foram desenvolvidos utilizando a Revit API para extração de dados, este trabalho explorou a utilização de tabelas a serem processados no ambiente do Google Collab. Como este processo reduz substancialmente a complexidade dos dados originais, isto pode minar e limitar o desempenho dos algoritmos da ML. Embora o processo concebido seja semi-automático, poderia ser totalmente automático através de APIs.

A maioria dos estudos de caso analisados na literatura implicaram aplicações de dados 2D em aplicações NN. Apesar da grande popularidade dos GAN, as GNNs são menos implementadas em estudos de caso. O processo aqui proposto não é disruptivo, mas antes inovador nos estudos de arquitetura que utilizam dados BIM, e é, a nosso ver, interessante pela sua transparência. Este trabalho explorou a utilização de dados programados com posterior engenharia de dados no ambiente do Google Collab. No entanto, o utilizador deve estar ciente de que a conversão de objetos tridimensionais em variáveis tabulares pode reduzir drasticamente a complexidade dos dados originais e comprometer e limitar o desempenho dos algoritmos ML.

5. Discussão

A gestão de dados continua a ser um obstáculo no dia-a-dia das operações dos intervenientes na construção. Sendo isto amplamente reconhecido, os desenvolvimentos na implementação e regulamentação dos modelos BIM são vistos como necessários. Isto é particularmente verdade quando se tenta fazer uso de dados à escala para fins de aprendizagem. Embora a ML se tenha tornado amplamente popular em muitas indústrias que exploram aplicações tecnológicas intensivas na construção, parece ser ainda um nicho da investigação académica. No entanto, a utilização mais ampla de técnicas de ML em aplicações da indústria AEC requer a superação de vários desafios.

Captura de dados e Interoperabilidade: a aplicação de técnicas de ML depende fortemente da semântica e da precisão da sintaxe. Como tal, a utilização de normas e tipos de ficheiros de armazenamento de dados de fonte aberta, como o IFC, são considerados essenciais para escalar as aplicações de ML na construção. Além disso, o tipo de ficheiro IFC define uma estrutura de dados pragmática que identifica explicitamente objetos, os seus atributos e semântica, relações entre objetos, conceitos (tais como custos, desempenho, etc.), processos (tais como instalação, demolição, operação, etc.) e intervenientes no projecto [29]. Isto simplifica o processo de conversão de dados em informação.

Semântica: os resultados deste estudo consideram a utilização de análises de Sintaxe Espacial (SS) bem sucedida. Este trabalho sugere a utilização destas análises, especialmente na aplicação de GNNs. As análises SS para posterior utilização poderiam incluir dados mais complexos, tais como os isovistas. No entanto, a utilização de SS está limitada à aplicação conceptual de ML ao espaço arquitetónico. Diferentes

aplicações no domínio da construção e engenharia podem exigir uma semântica intermédia alternativa para converter dados brutos em informação. Isto acrescenta um nível de complexidade na aplicação de ML aos modelos BIM, uma vez que requer fundamentalmente que os técnicos de construção sejam alfabetizados e, ML ou, inversamente, que os técnicos de ciências da computação sejam alfabetizados na construção.

Automatização: para melhorar ainda mais o quadro de implementação de ML, pode ser sugerido um fluxo de trabalho automatizado. Por exemplo, isto pode incluir os softwares *Rhino* e *Grasshopper* para facilitar a extracção de dados de ficheiros IFC, ou através de *plug-ins* para análises avançadas da Sintaxe Espacial. Com as tecnologias digitais AEC em constante evolução, a recepção contínua de dados "em tempo real" para algoritmos ML melhorará o processo de aprendizagem. Nesse sentido, o estabelecimento de um CDE ajuda a superar a fragmentação na indústria ao ter acesso a dados de múltiplas fontes, criando condições estruturadas melhoradas para melhores resultados de ML. Aplicações mais avançadas de ML, baseadas em decisões e *feedback* "em tempo real" dos utilizadores, podem ser alcançadas através, por exemplo, do reforço da aprendizagem – o algoritmo pode melhorar-se a si próprio com base nos contributos ambientais.

Selecionar o algoritmo ML: as GNNs requerem dados gráficos como *input*, o que é uma das representações mais comuns do espaço com base em análises SS. Assim, a escolha dos algoritmos é absolvida em termos de estrutura de dados. No entanto, os algoritmos NN exigem mais dados de entrada do que outros tipos de algoritmos ML; por conseguinte, podem ser considerados diferentes cenários de fluxos de trabalho.

Desde a aprendizagem até ao resultado: embora este trabalho esteja centrado na validação da estrutura do BIM2GNN, vários resultados poderiam ser idealizados. Exemplos são a atenuação de processos repetitivos, tais como a nomeação automática dos espaços e a geração de plantas em busca de soluções ótimas dentro de critérios pré-definidos. Não obstante, o processo de definição e representação do resultado é considerado simétrico de uma perspectiva da estrutura de dados. A segunda parte do processo definiria o processo inverso de modelação de dados BIM a partir dos conhecimentos gerados num formato legível por máquinas. Por exemplo, um planta de um apartamento poderia ser gerado em Revit a partir dos resultados da aprendizagem.

Interoperabilidade: os ficheiros IFC podem ser utilizados em vez do formato nativo para aumentar a interoperabilidade e receber uma melhor estrutura de dados. A estrutura hierárquica do IFC e a disponibilidade das relações entre objetos (também espaços) apresentam oportunidades a serem exploradas com algoritmos ML. Além disso, é definido um formato de código aberto para melhorar a acessibilidade aos dados no seu formato original, sem a conversão em tabelas, tal como realizado no presente estudo de caso.

Para finalizar, como a ciência de dados aplicada à construção ainda está nos seus primórdios, uma lista de questões pode ser proposta para melhorar ainda mais esta estrutura, ou outras semelhantes, adotando o BIM e ML:

1. Existe um número suficiente de modelos BIM fiáveis e dimensionáveis de armazenamento de dados em toda a indústria?
2. Qual é o formato ideal para conjuntos de dados, e quais são os critérios de qualidade de dados necessários a serem cumpridos?
3. Qual é a relevância da estrutura de dados dos modelos BIM (particularmente o IFC) para racionalizar o processo de aprendizagem que envolve um desafio na indústria?
4. Que algoritmos ML são mais adequados para serem formados por conjuntos de dados como os modelos BIM? Como pode o resultado da aplicação ter impacto na adopção de um algoritmo ML específico?
5. Sendo o DL reconhecido como sendo capaz de detectar padrões frequentemente não percebidos por humanos, poderia a ML gerar percepções disruptivas para além do discurso comum da produtividade da construção?

5. Conclusão

Este documento introduz as técnicas ML como facilitadores da aprendizagem coletiva, fazendo uso dos dados da indústria AEC e visa identificar uma estrutura de fluxo de trabalho para a aplicação das técnicas ML nos modelos BIM. A revisão bibliográfica realizada permitiu concluir que BIM desempenha um papel crucial no processo de gestão de dados na indústria AEC. Observou-se também que as técnicas de ciência de dados são também factores cruciais para facilitar a transição digital da indústria para o conceito de Construção 4.0. Portanto, esta investigação sugere que existe uma oportunidade de aplicar técnicas da ciência de dados para aprender com os modelos BIM que contêm informação extensa.

O processo experimental do BIM2GNN proposto destaca a importância da aquisição e gestão de dados desde o início de qualquer projecto. O estudo de caso baseia-se nos espaços e nos seus dados de conectividade, exportados a partir de dados BIM. Os algoritmos CNN e GNN foram testados para aprender com os dados do grupo. Apesar dos desafios enfrentados, a aplicação abre novas oportunidades para o desenvolvimento de mais investigações. Devido ao actual nível de maturidade de digitalização na indústria, os resultados colocaram naturalmente mais questões para futuras pesquisas sobre este tópico.

A implementação futura de metodologias de aprendizagem utilizando modelos ML com BIM requer a superação de vários desafios a nível da indústria. A abordagem destes obstáculos poderia melhorar o desempenho global do AEC e a gestão geral do conhecimento individual e colectivo, utilizando os já grandes, mas inconsistentes, repositórios digitais de informação.

Referências

- [1] Sackey E, Tuuli M, Dainty A (2015) Sociotechnical Systems Approach to BIM Implementation in a Multidisciplinary Construction Context. *J Manag Eng* 31:1-11.
- [2] Bilal M, Oyedele LO, Qadir J, et al (2016) Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends. *Adv. Eng. Informatics* 30:500-521.
- [3] Mansouri S, Akhavian R (2018) The Status Quo and Future Potentials of Data Analytics in AEC/FM: A Quantitative Analysis of Academic Research and Industry Outlook. *Constr Res Congr 2018 Infrastruct Facil Manag – Sel Pap from Constr Res Congr 2018* 2018-April:90-100.
- [4] Geron A (2019) *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras & TensorFlow*
- [5] Wyman O (2018) *Digitalization of the Construction Industry : the Revolution is Underway the Time is Right to Set Up a Real Digital Strategy*
- [6] Clark D (2004) *The Continuum of Understanding*. <http://www.nwlink.com/~donclark/performance/understanding.html>. Accessed 3 Sep 2021
- [7] Pohl J, Agent C, Poly C, Luis S (2014) *Transition from Data to Information*
- [8] Engin Z, van Dijk J, Lan T, et al (2020) Data-driven urban management: Mapping the landscape. *J Urban Manag* 9:140-150.
- [9] Mehryar M, Rostamizadeh A, Talwalkar A (2018) *Foundations of Machine Learning*, second edi. Massachusetts Institute of Technology All
- [10] Goodfellow I, Bengio Y, Courville A (2000) *Deep Learning*
- [11] As I, Pal S, Basu P (2018) Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning. *Int J Archit Comput* 16:306-327.
- [12] Zhou J, Cui G, Hu S, et al (2020) Graph neural networks: A review of methods and applications. *AI Open* 1:57-81.
- [13] Goodfellow I, Pouget-Abadie J, Mirza M, et al (2014) Generative adversarial networks. *Commun ACM* 63:139-144.
- [14] Isola P, Efros AA, Ai B, Berkeley UC (2016) *Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks*
- [15] Nauata N, Chang KH, Cheng CY, et al (2020) House-GAN: Relational Generative Adversarial Networks for Graph-Constrained House Planta Generation. *Lect*

- Notes Comput Sci (including Subser Lect Notes Artif Intell Lect Notes Bioinformatics) 12346 LNCS:162-177.
- [16] Chaillou S (2019) AI + Architecture. Harvard GSD
- [17] Ferrando C (2018) Towards a Machine Learning Framework in Spatial Analysis. Sch Archit Carnegie Mellon Univ Work Pap 1:89
- [18] Newton D (2019) Generative Deep Learning in Architectural Design. Technol Archit Des 3:176-189.
- [19] Hu R, Huang Z, Tang Y, et al (2020) Graph2Plan : Learning Floorplan Generation from Planta Graphs. 39:1-14
- [20] Jabi W, Alymani A (2020) Graph Machine Learning Using 3D Topological Models. SimAUD 427-434.
- [21] Hu Y, Castro-Lacouture D (2019) Clash Relevance Prediction Based on Machine Learning. J Comput Civ Eng 33:04018060.
- [22] Fiske J (2019) Towards Automated Cost Analysis , Benchmarking And Estimating In Construction : A Machine Learning Approach. <https://doi.org/10.33965/bigdaci2019>
- [23] Keshavarzi M, Afolabi O, Caldas L, et al (2020) GENSCAN: A generative method for populating parametric 3D scan datasets. arXiv 1:91-100.
- [24] Babacan K, Chen L, Sohn G (2017) Semantic Segmentation Of Indoor Point Clouds Using Convolutional Neural Network. ISPRS, Sci 4:101-108.
- [25] Ramsgaard Thomsen M, Nicholas P, Tamke M, et al (2020) Towards machine learning for architectural fabrication in the age of industry 4.0. Int J Archit Comput 18:335-352.
- [26] Ma G, Liu Y, Shang S (2019) A building information model (BIM) and artificial neural network (ANN) based system for personal thermal comfort evaluation and energy efficient design of interior space. Sustain 11
- [27] Space Syntax Laboratory UCL, Space Syntax Limited (2021) Space Syntax Online Training Platform. <https://www.spacesyntax.online/>
- [28] Mustafa FA, Baper SY, Hassan AS (2010) Using space syntax analysis in detecting privacy: a comparative study of traditional and modern house plantas in Erbil city, Iraq. Asian Soc Sci 6
- [29] BuildingSMART (2021) BuildingSMART official website. <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>. Accessed 23 Aug 2021

Methodology adapted for the implementation of a master plan for the European mission 100 Climate-Neutral cities by 2030.

Development of the energy self-sufficiency indicator

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.9>

Javier Bono Cremades¹, Fernando-Aitor Mendiguchia²,
José Luis Alapont Ramón³, I. Guillen-Guillamón⁴

¹ ARQUEHA Arquitectura y Urbanismo SLP, Valencia,
ID ORCID 0000-0002-3208-5032

² Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València, Valencia,
ID ORCID 0000-0003-4351-5517

³ Instituto de Restauración del Patrimonio de la Universitat Politècnica de València,
Valencia, ID ORCID 0000-0003-0133-0581

⁴ Centro de Tecnologías Físicas de la Universitat Politècnica de València,
Valencia, ID ORCID 0000-0001-5546-1486

Abstract

In order to make three neighbourhoods in the city of Valencia climate neutral by 2030, a master plan methodology, called Plan.0, has been developed. Plan.0 will be configured by programming a master plan model that is adapted to the specific context for which it is designed but, due to its adaptive nature, can be applied in other neighbourhoods of the city. To this end, we propose an iterative methodology that articulates five tools: Life Cycle Analysis (LCA), Programming Applied to Design, Building Information Modelling (BIM), Ecological Urbanism (EU), and Citizen Innovation (CI).

To achieve the adaptability of the plan.0, the methodology approach is predominantly scientific. For this reason, it will be necessary to transform the data obtained from the physical environment into numerical information, as well as the diagnosis through indicators that allow for objective decision-making and to establish a perfectible methodology divided into six sections: Data collection (GIS, Big Data, IoT); Evaluation and mapping of indicators (EU); Determination of actions (EU); Simulation and optimisation (BIM, LCA, CFD, Evolutionary Solving); Prototyping (CI); Implementation (CI). This methodology will be developed over two years and will remain active until the target is achieved in 2030.

The main objective is to test the methodology and technical tools necessary to develop the urban energy self-sufficiency indicator and the whole Plan.0. This indicator is probably the most important because of its direct impacts on a city's energy consumption and the social contexts related to energy poverty.

1. Introduction

The Sustainable Development Goals [1], SDGs adopted in 2015 by the United Nations, are an opportunity for cities to embark on a new path to improve the lives of all citizens, leaving no one behind. Goal 11 of the SDGs is to promote sustainable cities and communities, specifically to "make cities and human settlements inclusive, safe, resilient and sustainable" [2]. In this context, the European Union is launching "Mission 100 climate neutral cities by 2030: by and for citizens". The mission will support, promote and showcase the transformation of 100 European cities towards climate neutrality by 2030, and turn them into hubs of experimentation and innovation. People will be at the centre of the mission. They will be agents of change through bottom-up initiatives, innovation and new forms of governance [3]. Valencia, being aware of its particular vulnerability to the consequences of climate change, is developing Missions Valencia 2030. A project that establishes a new model of innovation governance in Valencia to create a culture and innovative outlook, strengthen alliances and networks, and boost social and urban innovation in Valencia. Six missions related to six visions made this project: healthy city, sustainable city, shared city, entrepreneurial city, creative city and Mediterranean city [4]. To meet the objectives of the Valencia Neutral City Mission, the first of the six missions launched by the Missions Valencia 2030 project, the Plan.0 will be developed: the driving force behind the Valencia Neutral City Mission.

One of the Plan.0 tools is programming applied to design. This methodology makes it possible to design with adaptive models instead of generating a specific design for each context. The specific design is achieved using parameters and programmed orders using software such as Rhinoceros and Grasshopper developed by the American multinational McNeel, which is involved in the project. There are multiple examples of the implementation of this methodology in the field of urban planning, such as the parametric urban plan in Beijing developed by Guilherme Pinto, Andrea Vieira and Pedro Neto in 2013 [5], or the Masterplan in Vienna implemented by Theresa Fink and Reinhard Koenig in 2019, both published by ECAADE [6].

Furthermore, implementing these methodologies will allow us to develop public viewers for non-professional users. A good example is the Moviga application, promoted by the Xunta Gallega. On this application, any owner can consult the estimated consumption, CO₂ emissions or investment cost necessary to rehabilitate the building energetically [7].

2. Objectives and Scope

This work aims to test a methodology to assess the suitability for energy retrofits in urban districts in the Neutral Cities environment. Plan.0 works together with the strategy of the Valencia City Council to apply a get selected in the EU Call: "100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens" [3]. The limitation of carbon emissions in cities is a vast problem that needs a solution to mitigate the effects of

Climate Change. As caused by multiple variables, this situation needs a holistic and multifactorial analysis. As settled by the EU on the Introduction of the EPBD: Energy Performance of Buildings Directive Directive 2010/31/UE, the building environment and especially the residential buildings are the second responsible for the carbon emission after the mobility in cities [8]. Another reason to limit our first approach to the energy problem in buildings is that the use of energy in buildings is related to social factors such as energy poverty and access to green energy to vulnerable groups. In every optimization problem, the initial situation is critical to getting an accurate solution and assessing the effect of different measures and policies. The work presented is part of the Plan.0 task and focuses on assessing the suitability for energy retrofits and impact reduction in a complex district of the City of Valencia. An index is defined to assess the benefits of the measures and assign economic resources and policies to the most suitable zones within the district to obtain the maximum impact reduction.

3. Methodology

3.1. Plan.0 methodology. A cycle with three levels of implementation: virtual, partial and complete:

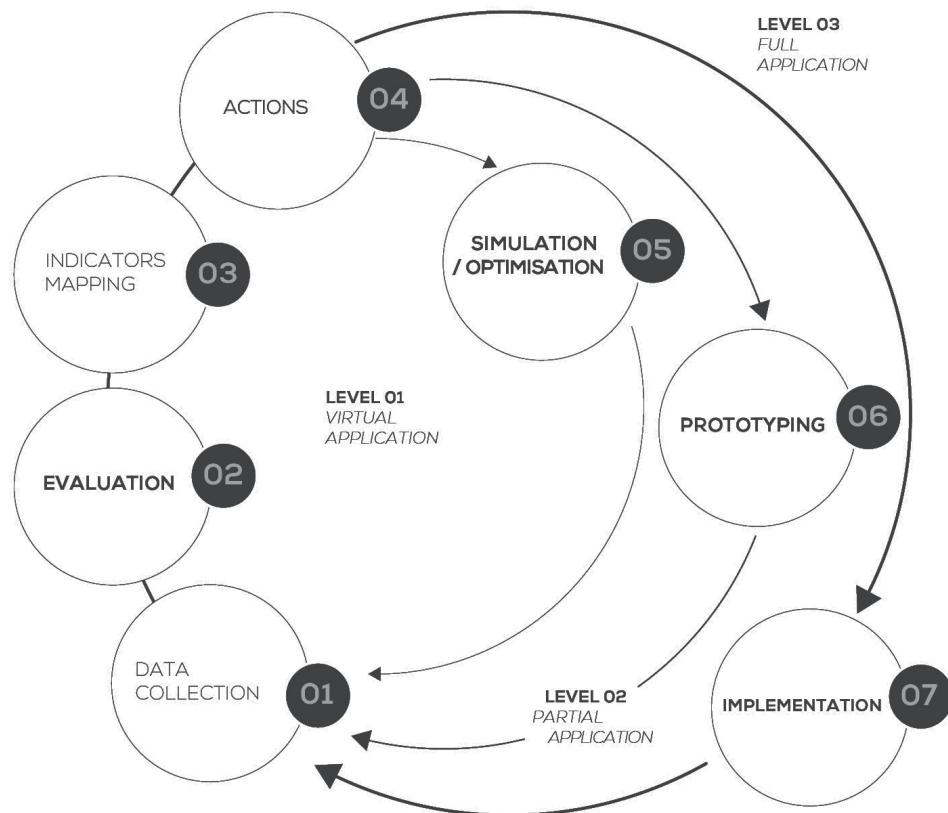


Figure 1
Plan.0 methodology
concept map.

The Plan.0 methodology is cyclical and will be implemented from the beginning of the drafting process until the achievement of the Valencia Neutral City Mission in 2030. The majority of urban master plans follow the linear sequence of a single level of the classic urban development instruments (analysis-project-implementation). We propose a cyclical and iterative system with three levels of experimentation. First, a virtual level whose effects and actions on the urban environment and optimises the resources invested are simulated. Afterwards a second level of partial application is where the action prototype is tested. Lastly the third level: the definitive implementation of the actions.

Each action framed in a given temporal context will affect the decision-making of subsequent steps, altering data collection and consequently all next phases: evaluation and mapping of indicators, simulation/optimisation, prototyping and implementation as the end and beginning of a new cycle. The first level of performance is based on the virtual experimentation of the effects of the actions to be implemented on the territory. The energy simulation focused on Life Cycle Analysis (LCA) will allow us to recalculate the indicators used for the diagnosis and determination of actions and thus quantify the impact of the measures to be implemented.

3.2. Data collection and mass processing of information.

The methodology starts with the neighbourhood's current state, taking as information the geographical, architectural and sociological indicators extracted from the data collection phase. This information may be objective (GIS, Big Data, IoT) or result from information gathering procedures through citizen participation processes. In the latter area, it will be necessary to use regulated methods to quantify information of an intangible nature but of enormous relevance in decision-making. All the data will be processed and classified to be evaluated and transformed into indicators in the next phase.

The Plan.0 will draw on data sources from both the public and private spheres and the academic and associative spheres. We rely on the information compiled by the Smart City Office of Valencia City Council, which is dumped on the VLCi platform (open data + scorecard) and information from agents outside the City Council. Some of them have already participated in the project in this proposal phase.

3.3. Assessment and Mapping of Urban Indicators.

The urban indicators, based on the Ecological Urbanism Certification system developed by the Barcelona Urban Ecology Agency [9], constitute a reading of data that will give rise to thematic maps according to ranges previously designed to improve the efficiency of the urban system (people - diversity/energy) through a calculation process. The programming of the calculation of these indicators will allow us to simultaneously evaluate the influence of all of them in the whole territory. Using an IoT ecosystem, while making it possible to handle large amounts of information, allows us to gauge the influence of the actions jointly on all the indicators.

From these indicators, we will obtain a localised diagnosis focused on the achievement of the Valencia Neutral City mission. This diagnosis will allow us to articulate the actions that will be simulated, prototyped and finally implemented in the territory. These indicators follow the following structure of areas of ecological urbanism: Urban morphology; Public spaces, comfort and environmental variables; Mobility and services; Functional diversity and use; Urban metabolism; Urban biodiversity; Social cohesion; Governance and management.

Each of these urban indicators has a direct association with the actions grouped in the different planning instruments: Governance (legislation and municipal by-laws), Mobility (pedestrianisation, E-Mobility, etc.), Water and Energy (SAE, water treatment, leakage control, energy communities), Construction (energy rehabilitation of facades, installations, PV production, etc.), Recycling (recycling management and promotion programmes, etc.) and Urbanisation (PV Pergolas, trees to reduce heat island effects, etc.).

One of the most important indicators to achieve the objective of climate neutrality is the urban self-sufficiency indicator. This is because of its direct impacts on a city's energy consumption and the social contexts related to energy poverty. The main objective of this paper is to test the methodology and technical tools necessary to develop the urban energy self-sufficiency indicator and the whole Plan.0.

3.4. Development of the urban energy self-sufficiency indicator

This indicator consists of a factor showing the level of the external energy dependence of the urban sector under analysis and even individually per building. The calculation process is based on the expression (1).

$$\text{Urban Energy Self – sufficiency} = \frac{\text{Renewable}_{\text{sector}}}{C_{\text{sector}}}; \quad (1)$$

Where: Renewable_{sector} is the real annual renewable energy production in the emission-free sector; C_{sector} is the total real annual energy consumption in the sector.

The limitation of this study is that the collaboration with the city council of Valencia has not yet started. Consequently, we do not have essential data that cannot be shared due to their confidential nature and application of the data protection law of Spain. For this reason, the approximation and test of the indicator are carried out with renewable energy production and estimated energy consumption, following the data extraction structure described in figure 2.

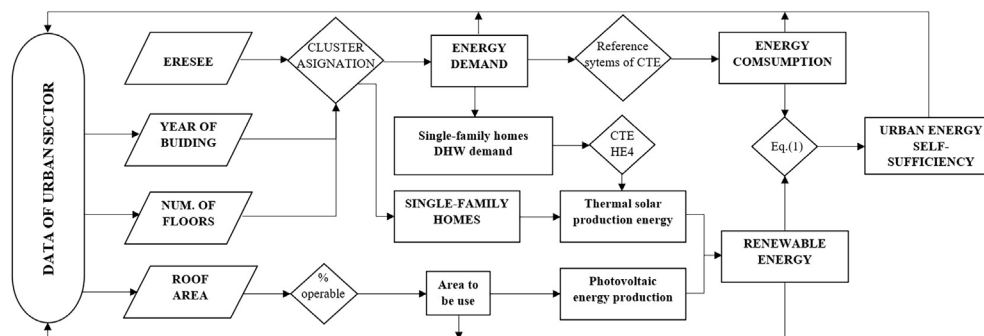


Figure 2
Urban energy self-sufficiency indicator workflow.

3.4.1. Data extraction and processing

The GIS (Geographical Information System) methodology has been used to extract information, specifically the Meerkat Gis tool, a set of tools to generate Grasshopper geometry from GIS shapefiles. The information of Valencia City Council is in .shp format (Shapefile) located in the open data portal developed by the VLCi platform.

From all the available information, we have selected the information related to the alignments fixed by planning and the plots registered in the land registry. From the first data, we obtained the number of heights and the second the year of construction. In order to interrelate data, it has been necessary to detect which plots are included in which alignments and thus attribute both data to the same geometric element: the plot. Intrinsic to the geometry of the plot is its surface area, another piece of information that will later be necessary for the calculation of renewable production.



Figure 3
The year of construction (left) and number of heights per plot (right).

3.4.2. ERESEE and calculation of energy demand.

In 2020, Spain updated the Long-term Strategies for Energy Retrofitting in the Spanish Building Sector (ERESEE 2020) [10] and its supporting documents. These

documents are intended to provide technicians with the tools, data and strategies to address the issue of energy refurbishment. We can segment the building stock into clusters by extracting data on heights and year of construction, as described in support document 1 of the ERESEE 2020 [11].

Once the building stock has been segmented into clusters, we can estimate the energy demand for each cluster according to the calculation methodology developed by Helena Coch and Rafael Serra [12] and in ERESEE 2020 Supporting Document 2 [13]. This approach to energy demand is widely tested. In another work, we made a comparison between detailed simulations of actual buildings calculated with EnergyPlus versus approximation calculation. This study shows that the deviations do not exceed 7% individually and 3% collectively [14].

3.4.3. Calculation of energy consumption.

In order to obtain a theoretical energy consumption, the energy demand is divided by the nominal performance values of the reference systems established in table 4.5 of the HE0 of the CTE [15]. With this conversion, we can assign to each cluster an estimated energy consumption in kWh/m², figure 4, which allows us to evaluate the areas or buildings with the highest consumption.



Figure 4
Energy consumption (kWh/m²) estimated from the clusters set by ERESEE.

Estimating renewable energy production in a sector is divided into two components. The first of these components is solar thermal energy dedicated to DHW. This renewable energy is only applied in single-family buildings, given that the logistics required to enable these systems in multi-family buildings would be too costly, considering that most multi-family buildings have individual DHW production systems [16]. The HE4 standard of the CTE [15] states that the minimum contribution of renewable energy to DHW production is 60%. The solar thermal contribution can be estimated through the consumption of DHW us know in before point.

The other component of renewable production is the potential photovoltaic energy production. For the estimation of the production, the available roof area has been considered (considering that 40% is not exploitable due to solar obstructions, chimneys or stairs) and the average production of a solar panel according to the solar radiation of the coordinates of the location.

Among the available eligible renewable energies, wind energy has been discarded due to the difficulties of its urban implementation. Also, possible theoretical renewable contributions from aerothermal heat pump type equipment have been ruled out.



Figure 5
Estimation of the potential capacity of solar energy production by photovoltaic panels (left) and solar collectors ACS (right).

4. Results

With the methodology described above, we can obtain result maps to evaluate the different characteristics of an urban sector. As a result, Figure 6 shows the distribution of the urban self-sufficiency indicator. The results indicate that low-rise single-family or collective dwellings have the highest consumption (mainly due to their low compactness). However, higher-rise dwellings are the most energy dependable as they do not have enough surface area for energy production to compensate for their consumption.

In Figure 5, we can see that the urban energy self-sufficiency indicator is around 0.55, which means that theoretical renewable energy can assume up to 55% of the

current demand. The next step of the Plan.0 methodology will be to analyse which buildings need to be retrofitted energetically to compensate for other consumption and idem about the renewable production of solar energy.



Figure 6
Distribution of the Urban Energy Self-Sufficiency Indicator.

5. Conclusions

- The results show that a general implementation of renewable energies cannot absorb the energy consumption of the sector analysed, with a contribution of 55%, with a maximum of 70% and a minimum of 20%. This result means that the energy demand of buildings must be reduced by at least 45%. Therefore, an energy rehabilitation of façades and roofs is necessary, in which thermal insulation is increased.
- The theoretical development of the urban energy self-sufficiency indicator demonstrates that it is possible to develop indicators. In addition, the methodology can analyse these indicators to their prior evaluation and optimise the actions to be carried out through the use of multi-objective evolutionary algorithms such as Wallacei [17].

- This procedure demonstrates the compatibility between GIS methodology, ecological urban planning and programming applied to design.
- Plan.0 sets out several indicators derived from the implementation of green urbanism that needs to be assessed for controllability based on the final available information.
- It is a profound challenge to consolidate the Plan.0, but achievable, and its capacity to adapt to different contexts and cities. In addition, to initiate the automation processes and optimisation of decision making.

6. References

- [1] Naciones Unidas, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible – Desarrollo Sostenible”, *Web Page*. p. 1, 2017.
- [2] Naciones Unidas, “Ciudades – Desarrollo Sostenible”, *La Agenda para el Desarrollo Sostenible*, 2015. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>. [Accessed: 04-Jan-2022].
- [3] European Commission, “100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens | European Commission”. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/info/publications/100-climate-neutral-cities-2030-and-citizens_en. [Accessed: 04-Jan-2022].
- [4] “Missions Valencia 2030 | Un modelo de gobernanza de la innovación : Missions Valencia 2030”. [Online]. Available: <https://www.missionsValencia.eu/?lang=es>. [Accessed: 04-Jan-2022].
- [5] G. Manuel, M. Pinto, A. P. Vieira, and P. L. Neto, “Parametric Urbanism as digital methodology AN URBAN PLAN IN BEIJING”, *1º eCAADe Reg. Int. Work.*, pp. 121-132, 2013.
- [6] T. Fink and R. Koenig, “Integrated Parametric Urban Design in Grasshopper / Rhinoceros 3D Demonstrated on a Master Plan in Vienna”, vol. 3, no. Feng 2009, pp. 313-322, 2020, doi: 10.5151/proceedings-ecaadesigradi2019_398.
- [7] “c985b369fd28b76d1c18a084704f5fd48e01e066 @ mapas.xunta.gal”.
- [8] Parlamento Europeo, “Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios”, 2010.
- [9] Gobierno de España, *Certificación del urbanismo ecológico*. 2012.
- [10] Government of Spain, “ERESEE 2020. Update of the long-term Strategy for Energy Rehabilitation in the Building Sector in Spain”, p. 376, 2020.

- [11] J. Arcas-Abella, A. Pagès-Ramon, E. Larrumbide, and D. Huerta, "Segmentación del parque residencial de viviendas en España en clústeres tipológicos", *Dir. Gen. Arq. Viv. y Suelo. Minist. Fomento.*, no. 01, pp. 1-87, 2019.
- [12] R. Serra Florensa, *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC, 1995.
- [13] J. Arcas-Abella, A. Pagès-Ramon, A. Romero Gutiérrez, and A. Bilbao Figuro, "(2) Aproximación a la demanda energética residencial para calefacción en España". 2018.
- [14] M. Fontes, F. Aitor, and Q. Gallardo, "Aproximación de la demanda energética mediante clústeres para la evaluación de distritos de energía casi nula. Ventajas e", pp. 1-6.
- [15] Código técnico de la Edificación, "Documento básico HE ahorro de energía", *Documento básico HE ahorro de energía*, 2013. [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>. [Accessed: 04-Jan-2022].
- [16] A. P. Julián, "2020 sistemas climatización y ACS residencial", *Carreteras*, vol. 4, no. 182. p. 10, 2012.
- [17] M. Makki, M. Showkatbakhsh, A. Tabony, and M. Weinstock, "Evolutionary algorithms for generating urban morphology: Variations and multiple objectives.", <https://doi.org/10.1177/1478077118777236>, vol. 17, no. 1, pp. 5-35, May 2018, doi: 10.1177/1478077118777236.

Pós-graduação em coordenação BIM: Uma abordagem no ensino para a requalificação e reconversão dos profissionais do AEC

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.10>

**Diogo Ribeiro¹, Jorge Vaz²,
José Pinto Faria³, Ricardo Santos¹, Rui Gavina⁴**

¹ *CONSTRUCT-LESE, ISEP/ISEPBIM, Porto*

² *ESAP, Porto*

³ *ISEP/ISEPBIM, Porto*

⁴ *VN2R, ISEP/ISEPBIM, Porto*

Resumo

O presente artigo relata uma experiência formativa recente no ensino da metodologia BIM, em particular a Pós-Graduação em Coordenação BIM (PGBIM), organizada conjuntamente pelo ISEP, ESAP e BIM Academy. Este curso teve como principais objetivos a disponibilização de um ciclo formativo que garanta a oferta de profissionais BIM ao mercado, quer de génese quer por reconversão, e centrou-se numa aprendizagem direcionada para o perfil de Coordenador BIM. Esta abordagem ultrapassa a maioria da oferta formativa existente no mercado que está sobretudo direcionada para a modelação paramétrica nas várias especialidades. A 1ª edição do curso foi realizada no ano letivo 2020-21 e compreendeu 12 unidades curriculares num total de 180 horas formativas. Neste trabalho serão abordados os aspetos relacionados com o plano curricular do curso, o modelo de ensino-aprendizagem adotado, as estratégias de avaliação dos estudantes, as iniciativas de ligação com as empresas e a análise de métricas de sucesso.

1. Introdução

O atual contexto de transição digital no sector da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), rumo à Construção 4.0, tem levado à reformulação do perfil de competências requerido pelas empresas. Este novo paradigma transcende a inovação tecnológica e caracteriza-se pela integração, comunicação e conectividade de um conjunto vasto de tecnologias e metodologias emergentes [1]. A referida conjuntura, inserida na designada 4ª revolução industrial, tem motivado a requalificação dos profissionais do setor da construção, a reconversão dos profissionais com funções entretanto desatualizadas e o surgimento de novos perfis profissionais como é o caso do perfil Coordenador BIM. Para dar resposta a estes desafios, os ciclos formativos têm vindo a ser adaptados, registando-se várias propostas para a reforma de currículos académicos, desenvolvidas por entidades internacionais de relevo, como a OCDE [2], Nações Unidas [3], UNESCO [4, 5] e Comissão Europeia [6].

A Comissão Europeia, através do relatório “Skills for industry Curriculum Guidelines 4.0” [6], indica que a definição da reforma curricular para atender aos novos desafios impostos pela Indústria 4.0, deve abranger 8 domínios interrelacionados (Figura 1): estratégia, colaboração, conteúdo, ambiente académico, mecanismos de ensino, avaliação, reconhecimento e qualidade [1].



Figura 1
Domínios de atuação na definição da reforma curricular para atender aos desafios impostos pela Indústria 4.0 (adaptado de [1]).

2. Enquadramento e objetivos

A 1ª edição da Pós-Graduação em Coordenação BIM foi organizada pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) em parceria com a Escola Superior Artística do Porto (ESAP) e a BIM Academy (Espanha) (Figura 2). O curso conta com um total de 12 unidades curriculares num total de 180 horas letivas. A equipa docente do curso, para além de docentes do ISEP, integra especialistas BIM oriundos de empresas. Os destinatários do curso são os diplomados nas áreas de Arquitetura, Arquitetura Paisagista, Design, Engenharia Civil, Engenharia Eletrotécnica, Engenharia Mecânica e áreas afins.



Figura 2
Logótipo da Pós-Graduação em Coordenação BIM.

Os principais objetivos do ciclo de estudos passam por:

- Disponibilizar um ciclo formativo/educativo em BIM, devidamente estruturado e suficientemente abrangente, de modo a garantir a oferta de profissionais BIM ao mercado, quer de génese quer por reconversão.
- Garantir uma aprendizagem especializada direcionada para um perfil de Coordenador BIM assente em sinergias estabelecidas entre instituições de ensino, entidades públicas e empresas privadas no sector AEC.
- Fornecer uma oferta formativa aos profissionais do setor AEC com uma forte componente de digitalização, inovação e tecnologia, assente no paradigma BIM que se perspetiva ser o ambiente de trabalho no futuro.
- Contribuir para a formação de profissionais BIM e, no futuro, a sua possível certificação, a um nível de Coordenação em BIM que ultrapassa a oferta formativa existente no mercado que está sobretudo direcionada para a modelação paramétrica nas várias especialidades.
- Apoiar a indústria portuguesa do setor AEC na formação de profissionais BIM e deste modo contribuir para que se torne mais competitiva neste novo paradigma internacional.
- Garantir uma aprendizagem baseada no conceito openBIM que valoriza os processos colaborativos baseados na independência das ferramentas utilizadas e que constitui uma mais-valia na integração dos profissionais BIM no mercado.

3. Plano curricular

Na Tabela 1 apresentam-se as unidades curriculares (UCs) do curso, assim como os seus objetivos específicos, duração e créditos ECTS. O curso compreende unidades curriculares introdutórias (A1 a A3), de modelação BIM (B1 a B3), de coordenação BIM (C1 a C4) de novas tecnologias (D1), além de uma unidade curricular integradora (E1).

Tabela 1

Objetivos específicos das unidades curriculares do curso.

Unidade curricular	Objetivos específicos
A1. Fundamentos da Metodologia BIM (FMBIM) 1,5 ECTS 09 h	Origem da metodologia BIM e o seu grau de disseminação a nível internacional. Motivos pelos quais a adoção do BIM tem cariz obrigatório em obras públicas num número crescente de países e tem constituído uma exigência dos clientes privados. Terminologia relevante associada ao BIM e compreensão dos seus princípios basilares. Perceção da importância do BIM enquanto resposta a importantes debilidades da indústria da construção.
A2. Normalização e Regulamentação BIM (NRBIM) 1,5 ECTS 09 h	Principais documentos internacionais sobre BIM (normas, especificações, recomendações) e perspetivas de evolução futura. Organizar e estabelecer um quadro operativo de base, com vista à obtenção de uma melhor qualidade e proficiência no intercâmbio de informação no âmbito do BIM, minimizando erros e conflitos. Valorizar os conteúdos normativos na ação colaborativa no âmbito do BIM, com vista à otimização de tempo, redução de custo e garantia de robustez na informação produzida.
A3. Plano de Execução BIM (PEBIM) 2,0 ECTS 12 h	O caráter colaborativo dos processos BIM e o Plano de Execução BIM (PEB) como garante das premissas pré e pós contratuais de coordenação dos processos produtivos. Importância do PEB e da sua gestão e atualização durante o ciclo de vida de um edifício. Elaboração de um PEB, atendendo aos requisitos do cliente e necessidades dos intervenientes da cadeia de valor. Identificação dos aspetos principais a definir no PEB e sua adaptação à escala de cada projeto.
B1. Conceitos e Modelação Arquitetónica (CMARQ) 3,5 ECTS 21 h	Familiarização com conceitos básicos de conceção e desenvolvimento de um projeto de arquitetura. Conhecer e generalizar procedimentos de modelação arquitetónica orientada a objetos. Operar e praticar autonomamente uma ferramenta de modelação arquitetónica a um nível adequado à produção de modelos arquitetónicos e à troca de informação geométrica/não-geométrica com modelos de outras especialidades, de um modo federado ou mesmo integrado.
B2. Conceitos e Modelação Estrutural (CMEST) 3,5 ECTS 21 h	Familiarização com conceitos básicos de conceção e análise de estruturas de edifícios. Aquisição de competências no âmbito da modelação estrutural em BIM, dificuldades e respetivas soluções e boas práticas de colaboração com as restantes especialidades. Gestão dos requisitos de informação gráfica/não gráfica para diferentes usos BIM e objetivos de projeto no ciclo de vida de um edifício. Integrar e comunicar digitalmente toda a informação relevante para os agentes envolvidos no processo construtivo.
B3. Conceitos e Modelação MEP (CMMEP) 3,5 ECTS 21 h	Familiarização com conceitos básicos relacionados com redes hidráulicas, de AVAC e elétricas. Identificação e utilização das potencialidades das ferramentas BIM na modelação 3D de redes MEP. Aquisição de competências específicas relacionadas com a vinculação a modelos de arquitetura, distinção entre os vários sistemas MEP, criação de sistemas hidráulicos, de AVAC e elétricos, identificação das características das famílias MEP, entre outras.
C1. Projeto Colaborativo e Interoperabilidade (PCINT) 2,0 ECTS 12 h	Reconhecer processos colaborativos de troca de informação em ambiente BIM de um modo consistente e robusto em contexto real de operação. Produzir informação íntegra e acessível num ambiente BIM, operando responsável e proficientemente no âmbito de uma equipa de projeto. Colaborar com uma equipa e aplicar autonomamente procedimentos de intercâmbio de informação digital em formato aberto e controlar a sua fiabilidade interoperacional.
C2. Coordenação e Detecção de Incompatibilidades (CDINC) 2,0 ECTS 12 h	Detecção automática de incompatibilidades e incongruências entre projetos de diferentes especialidades ou dentro da própria especialidade de modo a melhorar a qualidade de projeto e prever possíveis alterações com potenciais consequências onerosas para a obra. Planear o processo de deteção de incongruências. Definir critérios de modelação em função dos propósitos pretendidos e priorizar o tipo de incompatibilidades. Comunicar digitalmente pedidos de alteração em projeto e obra.
C3. Planeamento e Orçamentação (PLAOR) 2,0 ECTS 12 h	Possibilitar um conhecimento introdutório na utilização de modelos BIM para planeamento e orçamentação. Compreender as especificidades de um modelo BIM para outros usos que não o projeto.

C4. Ciclo de Vida e Gestão de Manutenção (CVGEM) 2,0 ECTS 12 h	Integração de soluções sustentáveis e análises de ciclo de vida no âmbito da AEC, desde a conceção e projeto até à desconstrução de edifícios. Princípios ambientais e de sustentabilidade no contexto do ciclo de vida, como contributo para melhorar o desempenho global dos edifícios. O BIM como ferramenta de cálculo e de análise do impacte ambiental do edifício desde as primeiras fases de projeto. Familiarização com conceitos gerais de Facility Management (FM) enquadrados no ciclo de vida do empreendimento. Ganhar competências no âmbito da gestão de manutenção utilizando uma ferramenta automática de BIM-FM.
D1. Levantamentos Digitais 3D (LED3D) 1,5 ECTS 09 h	Levantamentos 3D recorrendo a <i>laserscanning</i> ou ortofotomosaicos baseados em plataformas terrestres ou aéreas. Levantamento topográfico ou do edificado e deteção precoce de erros de construção ou patologias. Identificação de situações em que a utilização destas tecnologias pode ser aplicada. Familiarização com a utilização dos equipamentos, aplicações informáticas e modelos resultantes da sua aplicação, além da sua ligação a modelos BIM.
E1. Projeto Integrador (PRINT) 1,5 ECTS 09 h	Realização de um projeto integrador no domínio das metodologias BIM envolvendo a vertente de arquitetura e diferentes especialidades de Engenharia de uma construção. O projeto tem uma forte componente tecnológica e de incorporação I&D. Aquisição de competências ao nível da comunicação, autonomia e trabalho colaborativo. Contacto com especialistas de reconhecida experiência na área do BIM e com casos de estudo de elevada complexidade técnica e numa perspetiva de saber fazer.

A existência das 3 UCs de modelação BIM – mesmo sabendo que a um Coordenador BIM, em abstrato, não lhe será necessário dominar ferramentas de modelação –, justifica-se pela necessidade de perceber os conceitos, dificuldades, e particularidades das modelações geométricas e não geométricas nas várias especialidades, de modo a poder operar e exigir uma qualidade assertiva e adequada nos modelos coordenados sob a sua responsabilidade.

Os conteúdos do curso apresentam um forte pendor teórico-prático, mas com recurso a aplicações práticas que requerem a utilização de ferramentas informáticas diversificadas. Este quesito orienta o curso para o mercado e dota os estudantes de várias opções para cada um dos temas focados, não ficando dependentes, efetivamente, de um fornecedor específico e único de *software* e tendo em conta a estratégia open-BIM prevista para o curso. O contacto com os fornecedores de *software* contou com a sua receptividade total e os estudantes tiveram a oportunidade de experimentar as seguintes ferramentas: ArchiBus, ArchiCAD, BimViewer, BIMx, Dynamo, Grasshopper, Navisworks, Pix4D, Recap, Revit, Rhino, Robot, Trimble Connect e Vico.

4. Modelo de ensino-aprendizagem

4.1. Os estudantes

Dos 32 candidatos ao Curso PGBIM foram selecionados 24 (número máximo de estudantes pré-definido) a partir da matriz de análise e de avaliação curricular, constante das normas internas do ISEP para admissão a cursos de pós-graduação, estabelecendo um índice de procura de 1.34 candidatos por vaga. Deste grupo selecionado, apenas 20 estudantes iniciaram efetivamente o curso, devido a situações de mobilidade

profissional entretanto ocorridas durante os 7 meses de atraso no início da PGBIM, como resultado dos planos de contingência e demais circunstâncias inerentes à pandemia COVID-19. Destes 20 estudantes, 8 candidatos tinham formação base em Arquitetura (40%) e 12 em Engenharia Civil (60%). A distribuição geográfica de recrutamento foi restrita à região Norte (18 estudantes) e Centro (2 estudantes). Em relação ao gênero, 6 estudantes eram do sexo feminino (30%) e 14 do sexo masculino (70%).

No respeitante à actividade profissional, 7 estudantes eram projetistas, 2 eram coordenadores de projeto, 6 exerciam atividades de direção de obra ou de fiscalização e 4 eram gestores, existindo ainda um caso específico de um estudante a desenvolver a sua tese de doutoramento. As razões apresentadas para o interesse no curso foram diversas:

- a) no grupo dos gestores os formandos procuravam a aquisição ou a certificação de competências em BIM no âmbito das funções desempenhadas; o formando restante, de origem brasileira, não tendo quaisquer competências prévias em BIM, procurava uma qualificação valiosa e procurada pelo mercado no Brasil.
- b) no grupo dos diretores, onde 80% não possuíam qualquer competência em BIM as aspirações prendiam-se com a possibilidade de assumirem outras funções profissionais ou, em menor grau, a facilitação e otimização da sua ação em obra.
- c) no grupo dos coordenadores, um formando que já possuía competências BIM procurava a certificação de competências e o outro a aquisição de conhecimentos básicos no tema.
- d) no grupo dos projetistas, os formandos que não tinham conhecimentos em BIM pretendiam, com forte apoio das entidades empregadoras, adquirir conhecimentos no temo de modo a perspetivar a sua implementação nas empresas; dos que já utilizavam o BIM, dois deles, já exerciam algumas funções de coordenação em BIM e tinham a necessidade de sedimentar conhecimentos de uma forma mais estruturada, e os restantes 2 estudantes, mais jovens, procuravam competências de modelação em BIM e a possibilidade eventual de adquirir algumas competências para a coordenação de projeto tradicional.
- e) o estudante de doutoramento buscava a aquisição de conhecimentos de base, necessários para uma parte do seu trabalho académico.

O conjunto diversificado de expectativas pessoais, mereceu a máxima atenção por parte da Coordenação da PGBIM, sendo possível identificar, precocemente, alguns potenciais problemas;

- a) A existência de um conjunto de profissionais (metade dos formandos) que, não tendo qualquer conhecimento em BIM, se propõe frequentar um curso de pós-graduação em Coordenação BIM, não iniciando pela modelação ou por um curso introdutório, por exemplo.
- b) A confusão generalizada entre os conceitos de “modelação tridimensional paramétrica” e “modelação BIM”.

- c) O excesso de autoconfiança de formandos que, possuindo uma posição profissional na área do BIM, podem revelar conhecimento desestruturado ou superficial.

Estes factos, cruzados entre si, constituíram um desafio para a Coordenação da PG-BIM principalmente na definição das melhores estratégias face à possível elevada diferenciação de conhecimentos prévios dos estudantes em cada unidade curricular.

4.2. A equipa docente

Para tornar operacional o modelo de ensino-aprendizagem proposto, procurou-se uma composição do corpo docente que auxiliasse o percurso dos estudantes, misturando docentes oriundos da academia com outros, de reconhecido mérito, oriundos do sector profissional. O corpo docente foi assim constituído por 17 elementos, dos quais 4 são eminentemente académicos de profissão, 2 são académicos, formadores credenciados e possuem actividade profissional reconhecida no sector e 11 são profissionais especializados de reconhecido mérito em áreas e ferramentas BIM específicas. No total, o curso envolveu direta ou indiretamente as seguintes entidades: académicas - ISEP (PT), ESAP (PT), BIM Academy (ES), ISEPBIM (PT), UFP (PT); empresariais - A400/BuildGest (PT), AcadBIM (PT), Foster & Partners (UK), Infor (PT), ndBIM (PT), PSPV (PT), Quadrante (PT) e VN2R (PT).

O curso foi ministrado recorrendo a um modelo de ensino-aprendizagem misto, uma parte presencial e outra remota. De facto, apesar da programação do PGBIM já prever inicialmente a modalidade mista (66% presencial e 34% remoto) de modo a poderem ser integrados, enquanto docentes, personalidades não-residentes em Portugal, os confinamentos resultantes da pandemia alteraram essa proporção para 25% presencial e 75% remoto. Se, por um lado, o ensino presencial ainda é reconhecido como mais efetivo na transmissão de conhecimentos e mais valorizado pela sociedade, o incremento da modalidade de ensino remoto não parece ter sido prejudicial para os estudantes, pois foi garantido o ensino presencial total nas primeiras 3 UCs, aquelas que necessitam de um maior suporte docente, passando-se seguidamente para a modalidade de ensino remoto, onde a autonomia dos estudantes já era mais solicitada.

4.3. Estratégias e resultados da avaliação dos estudantes

Com apenas 12 horas semanais de contacto em horário pós-laboral (noturno e sábados), a organização temporal do curso origina a concentração dos tempos de contacto de uma UC em apenas uma ou em duas semanas, garantindo-se que os estudantes participam em apenas uma ou duas UCs, simultaneamente em cada semana. Com esta estratégia, terminada a exposição das matérias de uma UC, a respetiva avaliação por exame ou trabalho prático desenvolvidos em ambiente de aula decorreu no prazo de uma semana para as UCs de cariz eminentemente teórico ou teórico-prático, ou, alternativamente, no prazo máximo de um mês para as UCs com avaliação por

trabalho prático desenvolvido autonomamente. Na Tabela 2 apresentam-se as médias dos estudantes por unidade curricular e em função do regime de avaliação.

Contando com regimes de avaliação diferenciados consoante as UC, verificou-se, como era previsível, uma maior recetividade e produtividade dos estudantes nos resultados auferidos nas avaliações realizadas através de trabalho prático em relação às avaliações por exame final.

Tabela 2
Regime de avaliação das UC e média dos estudantes.

UC	A1	A2	C1	B1	B2	C2	B3	A3	C3	D1	C4	E1	Quant. UC	Média
	Fundamentos	Normalização	Proj Colaborativo	Modelação Arch	Modelação Strud	Coordenação	Modelação MEP	PEB	Plan e Orgam	Levant digitais	Ciclo de Vida	Proj Integrador		
Exame	15.1	15.2	11.5							13.2			4	13.7
TP				13.4	15.3	17.6	17.3	17.9	16.5				6	16.3
TP nas aulas						17.6	17.3		16.5				3	17.1
TP autónomo				13.4	15.3		17.3	17.9					4	15.9
misto											14.3	14.8	2	14.5

A avaliação através do trabalho realizado durante as sessões de contacto apresentou os melhores resultados, julgando-se que as razões não se prendem exclusivamente com a falta de tempo autónomo de estudantes que exercem actividades profissionais intensas mas também pelo próprio carácter das estratégias didáticas seguidas, em que a condução e a “intervenção em aula” por parte dos docentes, permite aos estudantes atingirem, com esta dependência operativa, um melhor resultado na UC, ainda que ficando potencialmente limitados na aplicação dos conhecimentos adquiridos em contextos diversificados. Esta estratégia, sendo perfeitamente aceitável no contexto de uma pós-graduação, coloca, no entanto, a dificuldade aos próprios docentes em apresentar uma classificação dos estudantes diferenciada e assente num espectro valorativo harmonizado com as restantes UCs. De facto, as UCs C2, B3, A3 e C3 apresentam um quadro de avaliação muito desviado à direita (avaliações muito elevadas) com 97% das notas superiores a 16 valores (todos os resultados são muito bons ou excelentes).

As avaliações obtidas pelos estudantes foram, em geral, de muito bom nível, podendo-se observar o seu desempenho na Tabela 3, já organizada em valores finais decrescentes. Esta tabela permite avaliar a produtividade dos estudantes por UC, por ordem cronológica de avaliação e sem ponderação ECTS, assim como a média final e desvio-padrão das classificações dos estudantes.

Analisando com maior pormenor a Tabela 3 e cruzando informações com os perfis dos estudantes observa-se a existência de três estudantes com média final de 17 ou 18 valores, um com formação base em Arquitetura (B) e dois em Engenharia (D e H). Tanto o estudante “B” como o “D” já tinham alguma experiência prévia no âmbito do BIM, mas para o estudante “H”, este curso foi a seu primeiro contacto com esta temática. O percurso de aprendizagem destes 3 estudantes foi muito uniforme (desvio-padrão na ordem de 1.5) e apenas uma das UC, em cada um deles, foi avaliada com

uma classificação inferior a 15 valores. Dever-se-á ainda notar que outros estudantes que assumiram ter conhecimentos prévios no âmbito do BIM (I, J, K), e mesmo com posições profissionais já rotuladas nesse âmbito (I, J), e com participação ativa em entidades que se debruçam sobre o BIM em Portugal, (J), não obtiveram tão bons resultados como os 3 estudantes anteriores.

Assim, se por um lado, algum conhecimento prévio, mesmo que não estruturado pôde ser importante para o percurso e para o resultado final dos estudantes da PGBIM, verificou-se que não era imprescindível e em alguns casos mostrou-se até algo contraproducente. Em sùmula, as condições de partida e os resultados de conclusão dos estudantes da PGBIM foram muito mais homogêneos do que inicialmente se previa.

UC	UC											Média	Desvio - padrão		
	A1	A2	C1	B1	B2	C2	B3	A3	C3	D1	C4			E1	
	Fundamentos	Normalização	Proj Colaborativo	Modelação Arch	Modelação Struc	Coordenação	Modelação MEP	PEB	Plan e Orçam	Levant digitais	Ciclo de Vida	Proj integrador			
Estudante	D	14	17	17	17	19	19	20	19	17	17	16	18	18	1.55
B	19	18	14	18	17	19	18	18	17	15	16	18	17	1.46	
H	17	19	17	17	17	19	18	19	17	14	15	18	17	1.47	
F	15	16	14	14	17	17	19	19	18	13	17	18	16	1.93	
G	19	19	15	10	15	19	17	19	17	15	18	14	16	2.65	
S	19	15	14	14	16	19	18	19	17	17	14	14	16	2.08	
P	17	13	12	18	17	19	18	18	17	13	15	16	16	2.28	
J	19	14	11	15	17	19	19	20	18	12	14	16	16	2.92	
C	18	15	10	15	16	19	18	18	18	15	15	14	16	2.49	
R	17	15	12	15	17	18	19	18	18	12	13	16	16	2.41	
N	16	17	15	12	10	19	18	19	18	14	19	13	16	2.93	
L	13	14	10	15	17	19	18	18	18	16	15	16	16	2.47	
M	13	17	14	14	16	19	17	19	17	13	13	15	16	2.17	
Q	15	13	10	10	17	18	18	19	18	16	17	16	16	3.00	
O	18	11	10	10	19	18	20	19	17	16	13	16	16	3.53	
K	12	15	10	14	16	19	17	20	17	10	16	16	15	3.13	
T	10	16	10	15	10	19	18	19	17	12	15	13	14	3.35	
I	11	11	10	13	15	18	17	18	18	13	12	14	14	2.80	
A	10	15	10	11	17	16	19	19	16	11	12	15	14	3.25	
E	10	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4.33	

Tabela 3

Classificações (sem ponderação ECTS) dos estudantes da PGBIM.

4.4. Iniciativas de ligação com as empresas

Em alinhamento com um dos objetivos da PGBIM, a promoção do apoio à indústria portuguesa do setor AEC na formação de profissionais BIM, contribuindo, deste modo, para que se torne mais competitiva neste novo paradigma internacional, foram tomadas iniciativas de ligação com as empresas. Primeiramente, na constituição da equipa docente, que para além de docentes da academia, integrou maioritariamente especialistas BIM de diversas empresas (secção 4.2). Cumulativamente, no âmbito da UC Projeto Integrador (PRINT) foram realizados dois seminários recorrendo a oradores de reconhecida experiência nas metodologias BIM com origem em organizações de projeto, consultoras, construtoras, instituições de ensino e investigação. O primeiro integrou um painel de com oradores internacionais (Tabela 4) e o segundo o testemunho de um conjunto de empresas (A400, BIMMS, Casais e DST) mais focado na apresentação de casos de sucesso na aplicação das metodologias BIM em projeto ou obra.

Tabela 4

Seminário com oradores internacionais de empresas/instituições.

Tema	Orador	Origem	Organização
A nova legislação Europeia	Marzia Bolpagni	ITA	MACE / CEN
BIM Virtual reality/Augmented reality	Johan Hanegraaf	NED	Mecanoo
BIM Sustainability	Martin Rock	AUT	Graz University
Computational Design	Gavin Crump	AUS	Sidney University/BIM Guru

A avaliação da UC PRINT foi baseada em trabalhos de grupo desenvolvidos em contacto com o ambiente empresarial, numa perspetiva da coordenação BIM e em projetos de arquitetura e engenharias, construção, fiscalização, reabilitação, gestão da manutenção, etc. Para a avaliação dos trabalhos, que decorreu em formato de defesa pública, foram também convidados como jurados externos, profissionais de reconhecida experiência e competência na área do BIM. Este modelo de trabalho e a correspondente avaliação provocou uma participação muito ativa de todos os estudantes.

Estavam inicialmente previstas duas visitas de estudo a organizações. A primeira a um gabinete de projetos de arquitetura/engenharia que visava a familiarização dos formandos com a realidade da implementação das metodologias BIM, em ambiente colaborativo, e inserido num gabinete de média/grande dimensão. A segunda visita, a uma obra em construção de um promotor imobiliário, visava dar a conhecer aos formandos a realidade ainda recente da aplicação das metodologias BIM à fase da construção e manutenção de empreendimentos. Em face do momento de pandemia COVID-19 e aos períodos de confinamento que se atravessava, estas visitas não foram concretizadas.

5. Inquéritos pedagógicos

No final da PGBIM a equipa coordenadora elaborou e propôs aos estudantes um inquérito de satisfação, anónimo e com preenchimento em plataforma eletrónica em que participaram 18 estudantes de um universo de 19 inscritos que concluíram o curso. O inquérito compreendeu um conjunto alargado de questões organizadas em dois grupos: Avaliação do Curso e Condições de Funcionamento em Geral, e Avaliação da Equipa Docente.

O primeiro conjunto de questões pretendeu avaliar, numa escala de 1 a 5 – correspondendo o valor 1 a “Nada Satisfeito” e o valor 5 a “Totalmente Satisfeito” – aspetos respeitantes ao curso em si e ao seu funcionamento (Tabela 5).

Tabela 5

Avaliação do Curso e Condições de Funcionamento em Geral.

Avaliação do Curso e Condições de Funcionamento em Geral	Nada Satisfeito	Pouco Satisfeito	Satisfeito	Muito Satisfeito	Totalmente Satisfeito
Adequação do programa do curso aos objectivos propostos	0.0%	0.0%	0.0%	66.7%	33.3%
Aplicabilidade das matérias leccionadas na actividade profissional	0.0%	5.6%	5.6%	66.7%	22.2%
Complexidade das matérias leccionadas	0.0%	0.0%	22.2%	61.1%	16.7%
Horário do curso	0.0%	0.0%	5.6%	44.4%	50.0%
Instalações/condições e equipamentos/software disponibilizados	0.0%	0.0%	11.1%	50.0%	38.9%
Relevância/Interesse dos seminários técnicos (Oradores internacionais e Empresas)	0.0%	0.0%	5.6%	38.9%	55.6%
Adequação do Trabalho Final (Projecto Integrador) aos interesses profissionais	0.0%	5.6%	5.6%	50.0%	38.9%
Organização e coordenação do curso	0.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%
Opinião geral sobre o curso	0.0%	0.0%	0.0%	44.4%	55.6%

Na generalidade das questões a avaliação é muito positiva com 80% a 90% dos estudantes “Muito Satisfeitos” ou “Totalmente Satisfeitos”, sendo relevante realçar que 100% dos estudantes indicam esses mesmos níveis de satisfação quando questionados acerca da “Opinião geral sobre o curso”. A questão associada à “Complexidade das matérias lecionadas” obteve uma classificação ligeiramente inferior com cerca de 22% dos estudantes declarando-se apenas “Satisfeitos” com as soluções encontradas no curso. Na análise efetuada pela Coordenação do curso, estes resultados foram interpretados como resultantes da impossibilidade em adotar um *syllabus* passível de se coadunar com todos os diferentes perfis e experiências prévias do conjunto de estudantes desta edição.

Os resultados correspondentes ao conjunto de questões associadas à avaliação da equipa docente (Tabela 6) são igualmente muito positivos, com valores que genericamente ultrapassam os 90% de estudantes que se mostram “Muito Satisfeitos” ou “Totalmente Satisfeitos”. A única questão com resultados marginalmente abaixo dos 90% nos mais altos níveis de satisfação, está associada à “Clareza e sequência lógica na apresentação dos conteúdos formativos”, situação que se admite como resultante de alguns acertos de calendário que foi necessário operar, a simultaneidade de algumas das unidades curriculares que no calendário escolar apareceram intercaladas e alguma pontual repetição de conteúdos programáticos.

Avaliação da Equipa Docente	Nada Satisfeito	Pouco Satisfeito	Satisfeito	Muito Satisfeito	Totalmente Satisfeito
Pontualidade	0.0%	0.0%	0.0%	16.7%	83.3%
Ambiente de trabalho criado nas aulas	0.0%	0.0%	5.6%	22.2%	72.2%
Capacidade de motivação dos formandos	0.0%	0.0%	5.6%	22.2%	72.2%
Disponibilidade e acessibilidade para clarificação de dúvidas	0.0%	0.0%	5.6%	16.7%	77.8%
Clareza e sequência lógica na apresentação dos conteúdos formativos	0.0%	0.0%	11.1%	61.1%	27.8%
Domínio dos conteúdos formativos e segurança na sua apresentação	0.0%	0.0%	5.6%	38.9%	55.6%
Qualidade dos elementos audiovisuais utilizados nas aulas	0.0%	0.0%	5.6%	55.6%	38.9%
Adequação da documentação de suporte e bibliografia recomendada	0.0%	0.0%	5.6%	50.0%	44.4%
Avaliação geral da equipa docente	0.0%	0.0%	0.0%	33.3%	66.7%

Tabela 6
Avaliação da equipa Docente.

6. Conclusões

O balanço da atividade desenvolvida na PGBIM no ano letivo 2020-21 foi globalmente muito positivo, o que foi unanimemente reconhecido por estudantes e docentes. O plano curricular do curso está alinhado com as mais recentes diretrizes programáticas de instituições de certificação internacionais de referência, no entanto, poderá sofrer ajustes pontuais em edições futuras do curso. O perfil dos estudantes e as suas expectativas em relação ao curso foi inicialmente muito diversificado, no entanto, o resultado das avaliações e grau de satisfação acabou por ser bastante homogéneo e positivo. Importa também destacar o relevante contributo que os docentes externos, maioritariamente especialistas de empresas com reconhecida experiência na área do BIM, trouxeram ao curso. Por último, importa ainda realçar o empenho, dedicação e perseverança de todos os intervenientes para o sucesso desta 1ª edição do curso, numa época especialmente difícil e com muita imprevisibilidade devido à pandemia COVID-19 e aos períodos de confinamento.

Referências

- [1] Bolpagni, M., Gavina, R. & Ribeiro, D. Industry 4.0 for the Built Environment: Methodologies, Technologies and Skills. (2021)
- [2] United Nations Economic Commission for Europe (UNECE).: Steering committee on education for sustainable development: learning for the future. Competences in education for sustainable development. *J. Educ. Sustain. Dev.* 6(1), 165 (2012). doi: 10.1177/097340821100600123i.
- [3] OECD.: Future of education and skills 2030: OECD learning compass 2030. A series of concept notes (2019).
- [4] Opertti, R.: 15 clues to support the education 2030 agenda. In: *Current and critical Issues in Curriculum, Learning and Assessment* (2017).
- [5] Marope, M, Griffin, P., Gallagher, C.: Future competences and the future of curriculum. Retrieved from *Int. Bur. Educ.* <http://www.ibe.unesco.org/en/news/document-futurecompetences-and-future-curriculum> (2017).
- [6] European Commission.: Skills for industry Curriculum Guidelines 4.0: future-proof education and training for manufacturing in Europe (2020). doi: 10.2826/097323.

Parte VII – Normalização e Organização da Informação

Contratação, monitorização e controlo BIM no desenvolvimento de um edifício multidisciplinar

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.11>

Bruno Matos¹, Miguel Alegria¹

¹ *Digital Construction Services (by Engexpor), Lisboa*

Resumo

O presente artigo refere-se à aplicação da metodologia BIM no âmbito da consulta, contratação, monitorização e controlo, nas fases de conceção e pré-construção, de um edifício multidisciplinar.

Este projeto iniciou-se em 2019 na fase de conceção do edifício com a consulta e contratação de projetistas no âmbito BIM, envolvendo 10 entidades diferentes representadas por mais de 20 pessoas. As entidades fornecedoras/contratadas (appointed parties) ficaram responsáveis pelo dimensionamento e modelação BIM de 100% das disciplinas do edifício, sob a gestão e coordenação da DCS (entidade requerente/appointing party), rumo ao lançamento do concurso de empreitada com integração e contratualização BIM, segundo as recomendações da ISO19650 [1] partes 1 e 2.

As responsabilidades da DCS passaram pela aferição de competências e capacidades, definição de requisitos para as trocas de informação (EIR), elaboração de protocolos BIM e do plano de execução BIM (PEB), na fase de conceção, em colaboração com a equipa de projeto.

A DCS tem assim servido como elemento agregador da cadeia de valor da construção, começando com a coordenação de equipas multidisciplinares responsáveis pelo dimensionamento/modelação BIM de todas as disciplinas do edifício, sem exceção, até à gestão do processo de concurso de empreitada.

Organiza-se assim este artigo começando por apresentar um enquadramento geral e a metodologia de trabalho seguida, descrevendo depois as práticas adotadas ao nível do planeamento, execução, monitorização e controlo, e consulta, terminando com a enumeração de boas práticas e lições aprendidas.

1. Introdução

Este artigo refere-se à aplicação da metodologia BIM no âmbito da consulta, contratação, monitorização e controlo, nas fases de conceção e pré-construção, de um edifício multidisciplinar, representado na Figura 1.



Figura 1
Representação do edifício em estudo.

Este projeto iniciou-se em 2019 na fase de conceção do edifício com a consulta e contratação de projetistas no âmbito BIM, envolvendo 10 entidades diferentes representadas por mais de 20 pessoas. As entidades fornecedoras/contratadas (*appointed parties*) ficaram responsáveis pelo dimensionamento e modelação BIM de 100% das disciplinas do edifício, sob a gestão e coordenação da DCS (*entidade requerente/appointing party*), rumo ao lançamento do concurso de empreitada com integração e contratualização BIM, segundo as recomendações da ISO19650 [1] partes 1 e 2.

As responsabilidades da DCS passaram pela aferição de competências e capacidades, definição de requisitos para as trocas de informação (EIR), elaboração de protocolos BIM e do plano de execução BIM (PEB), na fase de conceção, em colaboração com a equipa de projeto.

A DCS tem assim servido como elemento agregador da cadeia de valor da construção, começando com a coordenação de equipas multidisciplinares responsáveis pelo dimensionamento/modelação BIM de todas as disciplinas do edifício, sem exceção, até à gestão do processo de concurso de empreitada. Este projeto tem permitido à DCS desenvolver competências e procedimentos internos de forma bastante holística, dada a sua grande abrangência, pela dimensão e complexidade do edifício, dos processos de conceção e obra, e das equipas.

Neste sentido, as principais mudanças de processo implementadas no âmbito deste projeto BIM foram as seguintes:

Coordenado pela DCS:

- Desenvolvimento de projetos em BIM, para todas as disciplinas, seguindo processos e procedimentos de gestão e técnicos de acordo com os últimos desenvolvimentos ao nível nacional e internacional;
- Coordenação/compatibilização 3D e extração de quantidades/estimativa de custos de forma mais realista e integrada, com vista à antecipação de

incompatibilidades, erros e omissões, procurando assim incrementar a eficiência nas fases de concurso de empreitada e obra;

- Concurso de empreitada geral com integração BIM.

Desenvolvido pela DCS:

- Aprofundamento de competências e procedimentos internos para a gestão, coordenação e modelação BIM de forma holística, dada a grande abrangência do projeto – e.g. peças de procedimento BIM para consulta e contratação; templates de EIR, BEP e MIDP; relatórios de coordenação do projeto e de follow up do cliente; atas de reunião; critérios de medição e de modelação; estrutura e níveis de informação tipo para diferentes fases de um projeto; sistema de classificação in-house; templates de modelação; seleção e mapeamento de parâmetros para a transição obra-FM baseada em COBie; etc.
- Avaliação e demonstração do potencial BIM, que incluiu análises custo-benefício, recorrendo ao conceito de custo de oportunidade, baseado em potenciais erros, omissões, incompatibilidades e outras ineficiências, que tendencialmente passariam para a fases de concurso e obra.

2. Enquadramento Geral

O edifício multidisciplinar em estudo é composto por 20 pisos, 6 abaixo do solo e 14 acima do solo, totalizando uma área bruta de construção de 20 000 m².

Na Tabela 1 é apresentada a equipa do projeto. Os usos BIM são descritos adiante.

Entidade	Função	Participantes	Responsabilidades BIM	ISO19650-2
Dono de Obra	Dono de Obra	1 Eng Civil	(acompanhamento)	-
Engexpor	Gestão do Projeto e Obra	2 Eng Civil 1 Eng Mecânico 1 Eng Eletrotécnico	(acompanhamento)	-
DCS	Gestão & Coordenação BIM	1 Eng Civil 1 Arq	Gestão & Coordenação BIM	Appointing Party
A	Arquitetura/ Coordenação de Projeto	2 Arq	Modelação BIM	Lead Appointed Party
B	Interiores, Mobiliário e Decoração	2 Arq	Modelação BIM	Appointed Party
C	Cozinhas	1 Eng Civil	Modelação BIM	Appointed Party
D	Fundações e Estruturas	2 Eng Civil	Modelação BIM	Appointed Party
E	Geotecnia	2 Eng Civil	Modelação BIM	Appointed Party
F	Mecânicas, Elétricas, Comunicações, Segurança Ativa, Segurança Contra Incêndios, GTC, Elevadores	2 Eng Mecânicos 1 Eng Eletrotécnico	Modelação BIM	Appointed Party
G	Hidráulicas (águas, esgotos e gás)	1 Eng Civil	Modelação BIM	Appointed Party
I	Empreiteiro Geral	Vários	Modelação BIM	Lead Appointed Party

Tabela 1
Equipa do projeto.

3. Metodologia de Trabalho

Seguindo o processo definido na ISO19650 [1], primeiramente foi aferido junto do cliente os requisitos de informação ao nível organizacional (OIR), que, face ao tipo de Dono de Obra e negócio gerido, basearam-se não só em objetivos de curto prazo (reduzir custos e prazos de construção para otimizar a entrega final do projeto) mas também de longo prazo (maximizar a qualidade e eficiência no acesso aos dados na fase de operação, além da fase de entrega do ativo).

Logo de seguida foram definidas as necessidades para suportar o dia-a-dia da gestão do ativo (AIR), o que passou pela identificação de espaços (logo na fase de conceção) até um maior detalhe da informação não geométrica de equipamentos e sistemas (fabricante, modelo, serial number, etc., na fase de obra), focando na manutenção preventiva ao invés da corretiva.

Finalmente, foram definidos os requisitos de informação necessários para o projeto (PIR), começando pela fase de conceção (EIR conceção), até à fase de lançamento do concurso de empreitada (EIR obra).

O processo de consulta e contratação nas fases de conceção e obra baseou-se na ISO19650-2, em que, resumidamente:

- Pelo requerente/appointing party - consulta: EIR, critérios de avaliação, minuta BIM.

Os EIR foram definidos atendendo a requisitos comerciais, de gestão e técnicos, tendo assumido uma maior relevância do ponto de vista formal apenas para o processo de concurso de empreitada, dado que na fase de conceção a DCS realizou diretamente, em colaboração com a equipa de projeto, o Plano de Execução BIM (PEB).

Os critérios de avaliação adotados foram os mesmos do guia de contratação BIM português, tendo a avaliação sido feita, na fase de conceção, de modo informal por meio de reuniões com a equipa de projeto, e, na fase de obra, por meio de formulários de aferição ao nível da proposta e do empreiteiro geral/contratado e seus sub-contratados com impacto ao nível dos usos BIM preconizados.

A minuta BIM, na fase de conceção, consistiu numa adenda aos contratos tradicionais, que já se encontravam feitos à data, juntamente com uma carta de adjudicação definindo aspetos relevantes a cumprir no âmbito dos EIR e do PEB contratado; para a fase de obra, todos os requisitos BIM necessários foram incluídos nas peças concursais (programa de concurso e caderno de encargos cláusulas especiais) e na minuta de contrato “tradicional”, que foi adaptada em conformidade.

- Pelo prestador/lead appointed party (arquitetura/empreiteiro geral) - resposta: PEB pré-contrato, MIDP pré-contrato, avaliação respondida.

Enquanto que para a fase de obra foi solicitado ao proponente/empreiteiro geral a apresentação de um PEB, na fase de conceção acordou-se esta responsabilidade

passar para a *DCS/appointing party*, em colaboração com as *appointed parties*. Embora não preconizado na ISO19650 [1] a apresentação de um MIDP na fase de *procurement*, mas apenas na fase de *planning/appointment*, entendeu-se ser fulcral a apresentação de uma proposta de plano de entregas da informação (tarefas, precedências, níveis de informação, duração, responsáveis, milestones), congregando os planos das várias equipas de trabalho (TIDP), o mais cedo possível, juntamente com as restantes peças BIM propostas.

De notar que a ISO19650 [1] não se refere a relações contratuais, mas a trocas de informação, representadas por um “líder” do lado do requerente e um “líder” do lado da prestação de serviços, devendo os contratos refletir esta relação. Na fase de conceção existiram cerca de 10 contratos abrangidos pelo BIM, mas todos refletem as relações finalmente pretendidas, ou seja, refletem o “appointment/acordo” para a fase do projeto em causa.

Na ISO19650-2 é também recomendada uma análise de risco, que foi incorporada no PEB - documento único para a gestão do empreendimento, mas atualizado à medida que se avança na cadeia.

- Ambas as partes – contrato: EIR, PEB, MIDP, protocolo BIM, referências.

Esta fase corresponde à contratualização das versões finais do PEB e MIDP, juntamente com os EIR e protocolo BIM, definidos conforme indicado anteriormente. As referências dizem respeito por exemplo a informação existente sobre o ativo (p.e. levantamento por nuvem de pontos) e recursos partilhados (p.e. templates base para a modelação disponibilizados pela DCS).

A implementação desta metodologia de trabalho, ao nível da consulta, contratação, monitorização e controlo, tem sido complexa e desafiante, implicando informação de carácter confidencial. Neste sentido, vão ser brevemente apresentados apenas alguns dos principais desenvolvimentos levados a cabo pela DCS até à data no âmbito deste projeto, nomeadamente:

- Planeamento (*Planning*): BEP e MIDP – conceção; capítulo 4
- Execução (*Production*): fase conceção; capítulo 5
- Monitorização e controlo: fase conceção; capítulo 6
- Consulta (*Procurement*): EIR empreitada – pré-construção; capítulo 7

Finalmente serão sistematizadas as boas práticas implementadas e as lições aprendidas, realçando as principais contribuições do caso presente.

4. Planeamento

Na fase de planeamento da conceção foi elaborado pela DCS um PEB, em colaboração com a equipa projetista, atendendo aos seguintes usos, responsáveis e *software* a utilizar:

Tabela 2
Responsáveis por uso BIM e *software* a utilizar.

Uso BIM	Responsáveis	Designação	Software	
			Versão	Fornecedor
Desenvolvimento de Projetos	EQP	Revit	2021	Autodesk
Análise de Projeto/Value Engineering	EQP / DCS	Revit	2021	Autodesk
Coordenação/Compatibilização 3D	AQ / EQP	Revit / Navisworks	2021	Autodesk
Extração de Quantidades/ Estimativa de Custos	EQP	Revit / Excel	2021 / 2016	Autodesk Microsoft

EQP=Equipa de Projeto; DCS=Digital Construction Services; AQ=Arquitetura

4.1. Mapeamento de Processos BIM

Os mapas de processos foram desenvolvidos de acordo com as regras do *Business Process Model and Notation (BPMN)*, em 2 níveis:

- Mapa Global: mapa geral para o empreendimento, incluindo os usos BIM e as principais trocas de informação;
- Mapas dos Usos BIM: mapas de processos detalhados com a identificação dos responsáveis por cada processo, informações de referência e trocas de informação.

4.2. Requisitos das Trocas de Informação

Os requisitos das trocas de informação, nomeadamente a estrutura (*model breakdown structure*) e os níveis de informação (*level of information need*) necessários por disciplina, foram definidos pela equipa projetista, cumprindo a estrutura base definida pela DCS.

4.3. Plano de Entregas da Informação (MIDP)

Foi definido um planeamento para o desenvolvimento da conceção com entregas parciais por usos BIM, para permitir um controlo mais gradual da evolução do projeto, de acordo com os requisitos de informação. Este plano incluiu todas as entregas e aprovações previstas, sintetizando-se em tabela as respetivas milestones.

De notar que, além dos formatos nativos/proprietários, foram requeridos formatos abertos para as peças desenhadas/escritas, em .PDF, e para os modelos BIM/3D, em IFC 2x3 (*coordination view 2.0*) e IFC4 (*reference view e design transfer view*), por motivos de coordenação e eventual edição, respetivamente, independentemente da versão e do software, no presente e no futuro.

4.4. Procedimentos de Colaboração

- Comunicação

Nesta secção foi definido o agendamento das reuniões de coordenação e as regras para o envio de emails (p.e. enviar emails apenas quando necessário; evitar incluir anexos, recorrendo alternativamente ao CDE para partilhar informação; nomenclatura tipo para o assunto dos emails; etc.), assim como os procedimentos para fazer pedidos de esclarecimento e pedidos de aprovação da informação.

- Plataforma de dados partilhados (CDE)

A plataforma tipo para partilhar dados do projeto foi administrada pela DCS, que definiu as permissões para a equipa de projeto (leitura/edição/upload/download) e monitorizou o seu funcionamento.

- Estratégia de federação

A modelação BIM foi dividida por disciplina, ou seja, 1 modelo independente por disciplina (estágio de maturidade 2, segundo a ISO19650 [1]), respeitando a ordem de prioridades de modelação das várias disciplinas com o objetivo de construir um modelo global e coordenado. Todos os modelos foram desenvolvidos com referência ao mesmo sistema de coordenadas e referenciais globais.

Definiu-se a utilização de worksets de trabalho na modelação de cada disciplina, por grandes grupos de elementos e por utilizador/modelo local, para facilitar a gestão da informação nos modelos. Por exemplo, para a Arquitetura, eixos e níveis, interiores, exteriores, links de outras disciplinas, etc.; para as Instalações, eixos e níveis, tipo de sistema, equipamentos, links de outras disciplinas, etc. A definição de worksets por utilizador permitiu restringir a edição de um mesmo elemento por diferentes utilizadores.

- Nomenclaturas de ficheiros/Apresentação das peças desenhadas/Vista de abertura dos modelos

Foram definidas nomenclaturas a cumprir para os ficheiros de modelação (p.e., para os ficheiros de modelação central, Código do Projeto - Fase do Projeto - Código da Disciplina – Tipo de Ficheiro), layouts para as peças desenhadas (incluindo estilo de cotas, tags, anotações, texto, etc.) e vistas de abertura dos modelos.

4.5. Procedimentos de Modelação

- Sistema de coordenadas, referenciais e unidades

A arquitetura/coordenação de projeto ficou responsável por definir o sistema de coordenadas e referenciais globais, incluindo a definição dos eixos e níveis, que serviriam de base ao desenvolvimento dos modelos BIM das várias disciplinas.

- Critérios de modelação e compatibilização

Os critérios de modelação, definidos atendendo aos usos BIM, respeitaram critérios de medição, para efeitos de quantificação e orçamentação, assim como condições técnicas especiais e, sempre que aplicável, práticas específicas de preparação de obra, para efeitos de coordenação e planeamento.

Para efeitos de compatibilização, a modelação das disciplinas também respeitou uma dada ordem de prioridades.

4.6. Organização e Classificação da Informação

A informação nos modelos foi organizada e classificada de acordo com um sistema de classificação *in-house*, estruturado de uma forma relativamente intuitiva, e com o sistema *Unifformat*, de carácter legível e interpretável ao nível internacional e que respeita os princípios da *ISO12006-2*.

O sistema *in-house* encontra-se organizado por disciplina da seguinte forma:

- Códigos: códigos para os objetos, dependendo da sua função e outras especificidades; códigos para os materiais;
- Parâmetros do projeto: parâmetros partilhados (EGX) e de sistema para a organização e extração normalizada da informação dos objetos;
- Nomenclaturas: nomeação dos objetos em função da sua família e tipo de família, dependendo também se a família é de sistema ou carregável.

4.7. Gestão da Qualidade

Nesta secção foram definidos critérios para a extração de quantidades, com base em parâmetros globais e em parâmetros específicos de quantidade, determinados em função do que se pretende medir para cada tipo de elementos.

Estabeleceu-se também que no *project browser* deveriam existir pelo menos 2 secções, *Trabalho e Emissão*, permitindo assim duplicar uma vista, em que a primeira será uma vista de trabalho e a segunda uma vista de emissão, ou vice-versa. Preconizou-se também a necessidade de definir templates de vista em todas as disciplinas, permitindo diferenciar nos modelos os vários tipos de elementos através de cores. Sempre que necessário, introduzir também *tags* em vistas e tipos de elementos, incluindo a informação de parâmetros como EGX Família, EGX Tipo e EGX Artigo.

Pediu-se que todas as famílias customizadas para o projeto fossem guardadas na pasta "Famílias", relativa a cada disciplina, na plataforma de dados partilhados (CDE), para aferir a sua parametrização. Adicionalmente, solicitou-se o seu registo para aprovação utilizando impresso próprio (Pedido de Aprovação de Famílias – PAF). Isto aplicou-se apenas a casos de customização e específicos do projeto, de modo a não incrementar demasiado a carga de trabalho dos intervenientes.

Preconizou-se ainda que cada prestador de serviço deveria assegurar a qualidade dos modelos por si produzidos, apresentando-se pontos-chave de verificação e controlo ao nível da integridade geral, arquitetura, estrutura e instalações, assim como ao nível da entrega dos modelos.

Foi também incorporada uma análise dos riscos identificados para o projeto.

4.8. Infraestrutura Tecnológica

Foi definido o *software* a utilizar, em função dos usos BIM definidos para este projeto, assim como os requisitos de *hardware* recomendados para a utilização do *software* BIM.

5. Execução

Conforme indicado anteriormente, o projeto envolveu 10 entidades diferentes, representadas por mais de 20 pessoas, e todas as disciplinas do edifício (total de 14, pela tabela 1).

Quanto aos usos BIM de coordenação/compatibilização e de extração de quantidades, respetivamente, estes foram sempre detalhadamente verificados pela DCS via manual e automática - ao nível de *clash detection*, foram realizadas várias combinações, de acordo com as precedências/prioridades construtivas; ao nível da informação não geométrica, estrutura e níveis de informação e critérios de modelação, recorreu-se a plugins para extração de informação e a rotinas manuais ou automáticas para a sua verificação sistemática.

6. Monitorização & Controlo

Para a monitorização e controlo do projeto foram levadas a cabo várias ações, destacando-se:

- Reuniões de coordenação: foram realizadas várias reuniões por videoconferência apoiadas por *software* de coordenação BIM, facilitando, por exemplo, a análise de incompatibilidades, a medição de distâncias e a visualização em geral enquadrada na envolvente, que foi representada por nuvem de pontos;
- Relatórios intercalares/resumos semanais: periodicamente foram emitidos relatórios intercalares para reportar ocorrências (ao nível geométrico e não geométrico) e avaliar o progresso do projeto, por disciplina e por prestador de serviço;
- Relatórios completos/análise detalhada: para as milestones do projeto foram ainda emitidos relatórios completos e datalhados focados em aspetos como estrutura e níveis de informação, critérios de modelação, compatibilização e classificação dos objetos, mais outros fatores relacionados com os usos BIM específicos do projeto;

- FollowUp cliente: foram feitas várias reuniões de followup com o cliente, focadas em 6 tópicos-chave: lessons learned à data da reunião; evolução esperada para as semanas seguintes; medidas tomadas ou a tomar para o acompanhamento BIM; estado da plataforma colaborativa; análise ao modelo federado atual; e análise de risco ao projeto, por prestador de serviço.

7. Consulta

A este nível, os requisitos para as trocas de informação (EIR), a cumprir pelos prestadores de serviço/empreiteiros e com base nos quais os mesmos teriam de apresentar uma proposta de plano de execução BIM em fase de concurso, foram definidos a partir do guia de contratação BIM para o caso português, considerando 3 áreas-chave: requisitos comerciais, de gestão e técnicos.

Os usos BIM preconizados para a fase de obra foram desde a análise de projetos, extração de quantidades/controlo económico, planeamento/simulação 4D e preparação de obra, à segurança e saúde no trabalho, as-built/telas finais e facility management/operação e manutenção. No âmbito do processo de concurso, com vários empreiteiros concorrentes, verificou-se níveis de maturidade bastante díspares na resposta aos requisitos definidos.

8. Boas Práticas e Lições Aprendidas

As boas práticas implementadas no âmbito deste projeto foram mencionadas na introdução deste documento, separando as atividades desenvolvidas pela DCS das que foram coordenadas pela DCS.

O processo de implementação BIM ao nível deste projeto seguiu as recomendações da ISO19650 partes 1/2 e da 12006-2, tendo ainda tido como referências a EN17412-1 e a CEN/TR 17654 (documento normativo, em desenvolvimento, para a implementação dos EIR e BEP, que por sua vez baseou a elaboração da proposta de especificação técnica para o PEB em Portugal). Ao nível nacional, foram considerados os últimos desenvolvimentos da CT197, nomeadamente o guia de contratação BIM, embora em parte superado pela atual ISO19650-2, e a proposta de documento normativo português para o PEB.

Em termos de desafios/lições aprendidas destaca-se o seguinte:

- Gestão das Equipas: complexidade na gestão de um elevado número de equipas bastante heterogéneas, incluindo subcontratados, principalmente na convergência de ideias e na gestão do ambiente comum de dados do projeto;
- Preparação para o BIM FM: desafio na seleção e mapeamento de parâmetros Revit/COBie para a fase de conceção e obra;

- Competências/Capacidades: nalguns casos, verificaram-se desvios face às expectativas, destacando-se o menor conhecimento e experiência em projeto e obra para efeitos de modelação/simulação mais realistas;
- Maturidade e Comunicação: os diferentes níveis de maturidade BIM das entidades envolvidas, incluindo subcontratados, nalguns casos, dificultou o canal de comunicação, incrementando a resistência à mudança;
- Processos Tradicionais: desenvolvimento em paralelo, no caso de algumas disciplinas, do dimensionamento e modelação com métodos e ferramentas tradicionais, causando assim ineficiências e desarticulação com o plano de entregas BIM, devido a trocas de prioridade;
- Transparência e Responsabilidades: gestão da apresentação e da responsabilização dos erros detetados; o BIM implica maior transparência e por isso maior responsabilização; como tal, o papel da gestão de projetos ganha mais relevo, nomeadamente ao nível da gestão contratual;
- Excesso de informação: embora a ISO19650 remeta especificamente para a produção da informação somente minimamente necessária, em função dos usos BIM, sendo o resto “considered a waste”, neste projeto houve a tendência/entusiasmo para a produção de informação geométrica não pedida e que, de certa forma, impactou nos prazos do projeto (p.e. modelação de espaços na via pública).

9. Notas Finais

Este projeto destaca-se pela sua amplitude, complexidade e multidisciplinaridade, tendo a DCS assumido, logo desde a fase de conceção, a gestão e coordenação BIM integrada de todas as disciplinas, entidades e fases do ciclo de entrega do projeto, até à transição para o FM. As responsabilidades assumidas vão desde a aferição de competências e capacidades e definição de requisitos para as trocas de informação (EIR) até à elaboração de protocolos BIM e do plano de execução BIM (PEB), respeitando as melhores referências normativas ao nível nacional e internacional.

A DCS tem assim servido como elemento agregador da cadeia de valor da construção, integrando nos processos de projeto e obra a metodologia BIM ao nível contratual e ao nível da execução, monitorização e controlo. Desde a coordenação de equipas multidisciplinares responsáveis pelo dimensionamento/modelação BIM de todas as disciplinas do edifício, até à gestão do processo de concurso de empreitada, este projeto tem permitido à DCS consolidar competências e procedimentos internos de forma bastante holística, dada a sua dimensão e complexidade ao nível das consultas, conceção, obra e transição para o FM.

A avaliação e demonstração do potencial BIM, ao nível do cliente, incluiu uma análise custo-benefício, recorrendo ao conceito de custo de oportunidade, baseado em potenciais erros e omissões, incompatibilidades (custos diretos de mão-de-obra e materiais, e indiretos ao nível do prazo) e outras ineficiências que tendencialmente passariam para a fase de concurso/obra.

Salienta-se a importância dos gestores de projeto enquanto peças fundamentais no processo de implementação BIM, ao poderem para tal capitalizar sobre o seu conhecimento e experiência em comunicação, coordenação e colaboração. Podem assim influenciar na forma como os processos são adaptados e nos requisitos necessários para facilitar a implementação BIM. De facto, a função integradora do gestor de projeto demonstra que ele pode – e deve – assumir um papel relevante na liderança e governança da gestão da informação. Neste sentido, os gestores de projeto ocupam uma posição privilegiada para garantir que vários desafios são ultrapassados e a implementação BIM ocorra de forma mais abrangente e integrada na indústria e nos projetos.

Nota-se finalmente que a Engexpor demonstra experiência em vários projetos com integração BIM, onde tem assumido diferentes funções e responsabilidades, destacando-se o projeto em estudo pela sua elevada multidisciplinaridade e forte componente de gestão e coordenação, assumida pela DCS.

Destaca-se também que todo o processo BIM no grupo Engexpor tem sido gerido e executado 100% com recursos internos, ou seja, sem qualquer recurso a serviços em regime de outsourcing.

Referências

- [1] EN ISO 19650, Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling, 2018

Desenvolvimento de ferramentas de suporte ao processo BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.12>

**Luís Pedro Bidarra¹, Joaquim Velho¹,
Ana Clemente¹, António Costa¹**

¹ *NRV – Consultores de Engenharia, SA, Vila Real*

Resumo

Após uma primeira fase de transição digital operada no seio da NRV, através da implementação da metodologia de trabalho Building Information Modelling achou-se importante implementar um processo de melhoria contínua que visa desenvolver automatismos e metodologias conducentes a uma maior eficiência global do processo produtivo da NRV.

Neste enquadramento, o presente artigo visa dar a conhecer o processo de Inovação e Desenvolvimento (I&D) da NRV, desde o diagnóstico das tarefas com potencial de automatização, passando pelo desenvolvimento de metodologias ou processos que visem tornar as tarefas mais eficientes, seja por via de um menor tempo de execução ou por redução da intervenção humana, até à sua disseminação e integração no processo produtivo da empresa. Em todo este processo de I&D foi dado especial ênfase à integração de fluxos de trabalho Open BIM.

Desta forma é também objetivo do presente artigo descrever a evolução processual observada nos projetos BIM entretanto desenvolvidos, salientando-se os principais resultados operacionais alcançados, dificuldades e benefícios encontrados, tal como a avaliação dos ganhos de eficiência efetivos e os desenvolvimentos futuros por forma a automatizar e tornar o processo BIM na NRV cada vez mais eficiente.

1. Introdução

A NRV é uma consultora de engenharia multidisciplinar com mais de 30 anos que desenvolve a sua atividade em vários domínios: vias de comunicação, infraestruturas urbanas e saneamento básico, aeroportos, obras marítimas e portuárias, edifícios e instalações industriais, ordenamento do território, estruturas especiais (barragens, pontes e túneis), topografia e geotecnia.

A vasta experiência nacional e internacional da NRV permitiu-lhe reconhecer a emergente importância da implementação da metodologia de trabalho *BIM* como garante da manutenção da empresa na vanguarda das mais recentes tendências tecnológicas da indústria *AEC* (Arquitetura, Engenharia e Construção), particularmente em mercados mais desenvolvidos como o europeu, norte-americano ou o médio-oriental.

A aposta na inovação, área onde se insere o universo *BIM*, é encarada como uma necessidade e oportunidade da empresa a participar em projetos aliciantes em mercados exigentes, refletindo-se internamente num processo produtivo muito mais eficiente, numa melhor coordenação entre especialidades e numa melhor gestão da informação digital produzida [1].

A implementação *BIM* na NRV foi iniciada em 2019. Durante a primeira fase de implementação, que não aconteceu ao mesmo tempo para todos os departamentos, nem teve a mesma duração, foi dado especial enfoque à formação das equipas envolvidas explorando as capacidades *built-in* das soluções comerciais utilizadas, o Autodesk Revit para o edificado e o Autodesk Civil 3D para projetos viários. Durante este processo, inicialmente de formação e mais tarde de utilização continuada dos softwares comerciais, em particular o Revit, e com o aumento da especificidade e complexidade dos projetos desenvolvidos foram vindo ao de cima lacunas da *work-flow* nativa do Revit na resolução dos desafios de projeto.

Posto isto, considerou-se vital e estratégico para o sucesso desta transição digital, materializada na implementação da metodologia de trabalho *BIM*, a criação de uma equipa de desenvolvimento com a missão de identificar essas mesmas lacunas do Revit e colmatá-las recorrendo ao desenvolvimento de software à medida das necessidades da NRV.

Este artigo pretende descrever a estratégia de desenvolvimento de software aliada ao processo de implementação *BIM* na NRV, com particular enfoque nos resultados operacionais alcançados, dificuldades e benefícios encontrados, bem como a avaliação dos ganhos de eficiência efetivos e os desenvolvimentos futuros por forma a automatizar e tornar o processo *BIM* na NRV cada vez mais eficiente.

2. Desenvolvimento como estratégia *BIM*

A equipa de desenvolvimento neste momento resume-se a dois elementos, o *BIM Manager* com funções de coordenação e monitorização dos desenvolvimentos e um

engenheiro informático com funções de programação e consultoria informática das soluções a implementar.

O desenvolvimento de software reveste-se de complexidades, desde a fase embrionária da ideia de desenvolvimento de uma solução para automatizar um determinado processo até à sua difusão pela empresa para utilização por todos os utilizadores, ou mesmo a manutenção dos aplicativos [2].

Por conseguinte, será descrito abaixo em detalhe o nosso processo de desenvolvimento de *software*, ainda que não seja um processo fechado, pois está também ele em melhoria contínua, por forma a tornar o desenvolvimento cada vez mais eficiente e mais automatizado.

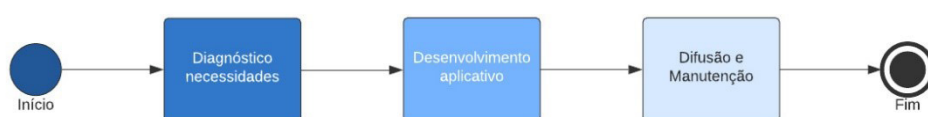


Figura 1
Workflow do desenvolvimento de *software*.

2.1. Diagnóstico das necessidades de desenvolvimento

Os aplicativos e processos desenvolvidos pela equipa de desenvolvimento têm origem nas necessidades verificadas pelos projetistas no desenvolvimento do seu trabalho, sendo também uma resposta às metodologias e processos adotados internamente para o desenvolvimento dos projetos segundo a metodologia BIM.

Esta primeira fase de desenvolvimento começa por uma pesquisa intensiva do estado da arte, das soluções comerciais já existentes no mercado que vão de encontro ao desafio que o aplicativo se propõe a resolver. Deve, no nosso entender, existir sempre um critério de rentabilidade associado ao desenvolvimento de *software*, pois podem já existir soluções comerciais válidas a um custo inferior ao desenvolvimento do aplicativo de raiz.

Quando são encontradas soluções comerciais válidas a um custo bastante inferior ao desenvolvimento interno de um aplicativo cabe à equipa de desenvolvimento criar a *workflow*, materializada num procedimento interno, para que o aplicativo em causa seja integrado no processo produtivo da empresa.

Sempre que o custo das soluções comerciais existentes no mercado é superior ou apenas ligeiramente inferior ao custo de desenvolvimento do aplicativo internamente, é estratégia da empresa avançar com o seu desenvolvimento, pois o grau de customização e de adaptação ao processo produtivo é maior e, acima de tudo, as soluções desenvolvidas internamente são soluções a longo prazo pois as manutenções, atualizações e correção de erros necessários são geridas internamente sem estar dependente de nenhuma *software house*.

2.2. Desenvolvimento de *software*

No desenvolvimento de *software*, a equipa tem tido como princípio o desenvolvimento de soluções integradas, modulares e com interface de utilizador, deixando de lado soluções não tão integradas, como os scripts de Autocad Lisp, os scripts de Dynamo ou mesmo as macros dos softwares comerciais. Estas soluções apesar de mais simples e de mais rápido desenvolvimento são bastante menos eficientes e de mais difícil manutenção e operacionalização.

Apesar das soluções de desenvolvimento adotadas não recorrerem às ferramentas de programação nativas dos *softwares* comerciais, como no caso das scripts de Autocad Lisp, das macros ou do Dynamo, a equipa de desenvolvimento tentou também recorrer a ferramentas de programação que não representassem um custo de licenciamento adicional. Assim todo o desenvolvimento tem como base a versão gratuita da conhecida IDE da Microsoft, o Microsoft Visual Studio Express 2017, pois, após pesquisa intensiva de qual a IDE a utilizar, concluiu-se que esta solução detinha todas as funcionalidades necessárias ao desenvolvimento sem representar um custo adicional [3]. Do mesmo modo, o desenvolvimento de aplicativos é realizado com recurso às API disponibilizadas gratuitamente pelos softwares comerciais. No caso dos aplicativos desenvolvidos para Revit, sempre que possível é utilizada a versão *viewer* do software pois, sem necessitar de licença, esta versão dispõe, na maioria dos casos, de todas as funcionalidades necessárias ao desenvolvimento e teste dos aplicativos.

Todos os aplicativos são desenvolvidos com base na linguagem de programação C#, pois existia já o know-how da equipa de desenvolvimento nesta linguagem de programação e esta sendo parte da plataforma .NET adequa-se ao desenvolvimento de aplicativos com recurso às API dos softwares comerciais da Autodesk.

Outro dos desafios que foram surgindo no decorrer do desenvolvimento prendia-se com a segurança do código fonte e o controlo de versões dos aplicativos desenvolvidos. Para o efeito, após pesquisa e teste de várias soluções comerciais, optou-se pela utilização da plataforma GitHub que, para além do armazenamento do código fonte dos aplicativos e do seu controlo de versões, permite o trabalho colaborativo dos vários intervenientes no seu desenvolvimento, mais uma vez sem representar um custo de licenciamento adicional.

2.3. Integração no processo produtivo da empresa

A operacionalização da difusão, monitorização e manutenção dos aplicativos desenvolvidos ao longo do tempo é um processo complexo e que exige não só a adaptação ao processo produtivo da empresa, tal como a integração neste e a criação de *workflows* que tornem viáveis as rotinas, não só de difusão de novos aplicativos como da manutenção dos mesmos [4].

Toda a *workflow* de difusão de novos aplicativos, bem como de atualização ou manutenção dos existentes foi pensada por forma a interferir o mínimo possível no

processo produtivo de cada utilizador. Desta forma, a equipa desenvolveu uma *workflow* que permite o acesso a todos os aplicativos por parte dos utilizadores sem terem de fazer qualquer instalação aquando do desenvolvimento de um novo e sem terem de os atualizar cada vez que é feita uma atualização/manutenção aos existentes.

Assim, os aplicativos desenvolvidos para Revit, após um meticoloso processo de *debug* [5], são colocados numa *toolbar* chamada “NRV Toolbox”, organizados por categorias e acompanhados de um manual de utilização onde constam não só as instruções para a correta utilização do aplicativo, como todos os princípios que foram utilizados durante o desenvolvimento, para que os utilizadores possam perceber em detalhe os automatismos do aplicativo em causa.

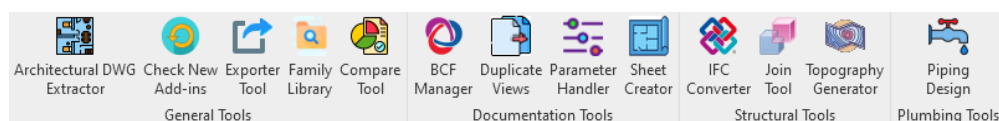


Figura 2
Add-ins desenvolvidos para Revit.

Desde início achou-se por bem que, numa empresa internacional como a NRV, os aplicativos assim como os respetivos manuais fossem desenvolvidos em inglês para facilitar a utilização destes por colaboradores de diferentes nacionalidades em diferentes geografias.

Os aplicativos são alvo de manutenções regulares para fazer face às atualizações das API cada vez que é lançada uma nova versão do *software*, o que resulta na introdução de novos métodos na API, potencialmente importantes para os aplicativos, bem como a extinção de outros métodos que entretanto se vão tornando obsoletos, obrigando a que se refaçam alguns trechos de código. Para além das manutenções regulares frequentemente há também lugar a atualizações de funcionalidades entretanto pedidas pelos utilizadores ou mesmo correção de erros, pois o melhor processo de *debug* é a utilização continuada no dia-a-dia de projeto por parte dos utilizadores.

Mais uma vez, tendo em vista a segurança dos aplicativos e do seu código fonte foi desenvolvido pela equipa de desenvolvimento um sistema de licenciamento que impossibilita a utilização dos mesmos fora da rede de cada escritório da NRV.

3. Casos de estudo/Exemplos de aplicativos desenvolvidos

Desde a criação da equipa de desenvolvimento muitos aplicativos já foram desenvolvidos, uns relativos à automatização da metodologia de trabalho BIM, outros de âmbito mais organizacional. Abaixo serão explanados alguns dos aplicativos desenvolvidos para fazer face a algumas lacunas na *workflow* nativa do Revit. Todos os aplicativos abaixo foram desenvolvidos com recurso à API do Revit e à linguagem de programação C#.

- Revit Initializer

O Revit Initializer inicialmente foi desenvolvido para fazer face a uma lacuna do Revit na abertura de ficheiros. Como se sabe, o Revit aquando da abertura de um novo ficheiro abre por defeito com a última versão de Revit aberta ou com a versão que está aberta naquele momento, o que dificulta a abertura de diferentes ficheiros de Revit em diferentes versões do *software*, levando muitas vezes a atualizações involuntárias dos modelos. O aplicativo desenvolvido determina qual a versão de Revit do ficheiro em causa abrindo-o na versão correta automaticamente.

No decorrer do desenvolvimento foram surgindo outras ideias de desenvolvimento como a possibilidade de automatizar a criação tanto de modelos simples como de modelos colaborativos de Revit.

Outra das funcionalidades que também se achou interessante incluir no aplicativo foi a configuração automática do Revit de cada utilizador como os atalhos de teclado, a localização dos *templates* e da biblioteca de famílias, assim como dos aplicativos desenvolvidos, isto para que cada utilizador quando inicia o Revit, já o tenha devidamente configurado de acordo com os standards da empresa.

- Family Library

Este aplicativo foi desenvolvido para, por um lado facilitar o carregamento e colocação das famílias nos modelos, e por outro lado haver apenas uma biblioteca de famílias de Revit para toda a empresa e não uma biblioteca de famílias no computador de cada utilizador. A qualidade final dos modelos Revit é naturalmente consequência da qualidade individual das famílias, sendo vital que todos os utilizadores utilizem nos modelos apenas as famílias que constam no aplicativo pois estas foram devidamente validadas pelo BIM Manager.

As famílias apenas são acessíveis aos utilizadores via aplicativo, para que não possam existir adulterações às famílias já validadas. Assim, para além do aplicativo desenvolvido na forma de *add-in* para Revit foi preciso desenvolver também um aplicativo independente para os utilizadores de Revit LT, pois esta versão não tem acesso à API, impossibilitando o desenvolvimento de soluções mais integradas como os *add-ins*.

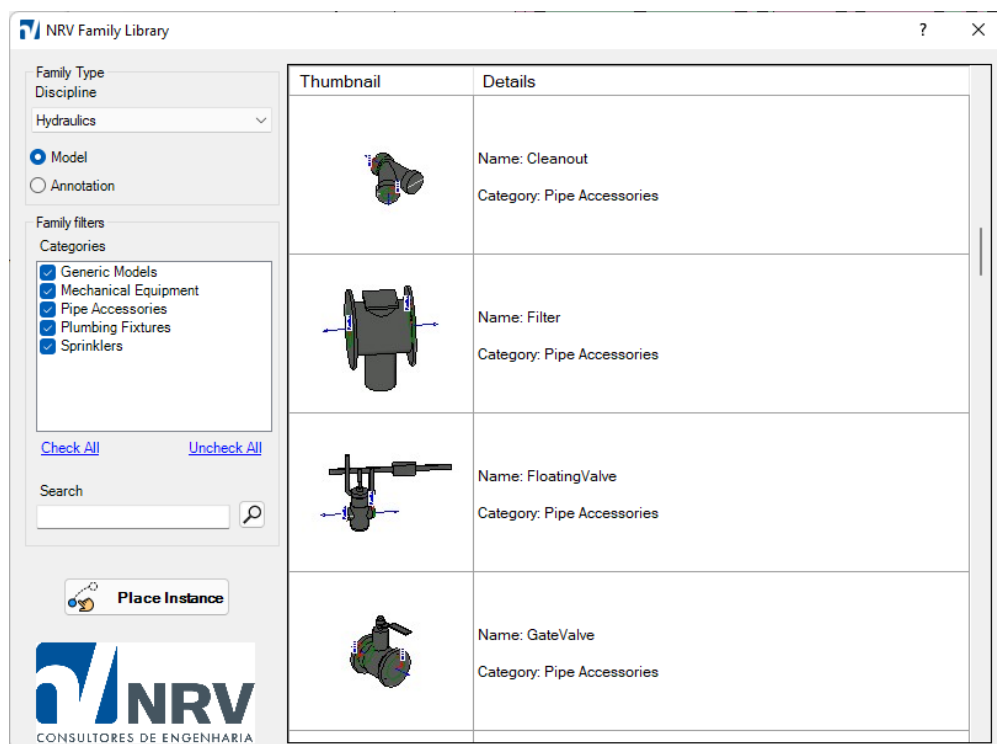


Figura 3
NRV Family Library.

- IFC Converter

O IFC, formato de Open BIM amplamente utilizado por quase todos os softwares de modelação ou de cálculo estrutural apresenta-se como a melhor solução de interoperabilidade entre os vários softwares e os vários intervenientes no projeto [6]. Embora os *softwares* comerciais, como o Revit, consigam importar ficheiros IFC, os elementos importados não são elementos nativos, impossibilitando futuras edições ao modelo e perdendo parte do potencial de utilização dos ficheiros IFC no processo produtivo BIM.

Deste modo, o IFC Converter foi pensado numa ótica de Open BIM para melhorar e automatizar a interoperabilidade entre os vários softwares utilizados no processo produtivo da NRV.

O aplicativo desenvolvido converte um ficheiro IFC num ficheiro RVT bastando apenas ao utilizador selecionar qual a família de Revit correspondente a cada tipo de objeto do IFC. Deste modo, o modelo RVT é gerado com base nas famílias selecionadas pelo utilizador, ou seja com elementos nativos de Revit, permitindo a posterior manipulação do modelo preservando toda a geometria e a informação que constavam do ficheiro IFC.

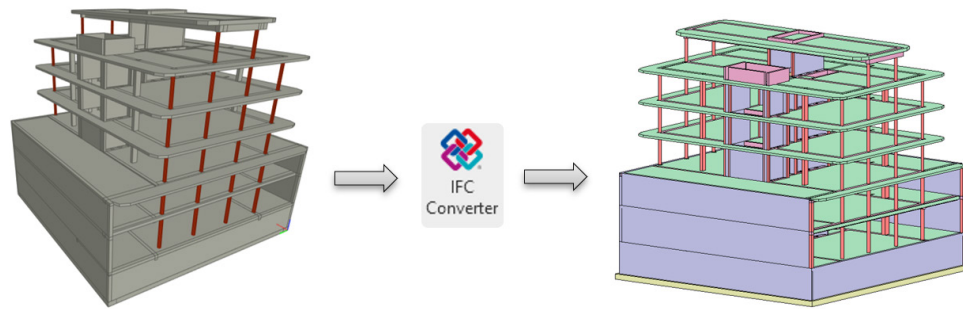


Figura 4
Workflow para
conversão de ficheiros
IFC para RVT.

- BCF Manager

Mais uma vez tendo por base as metodologias de trabalho Open BIM e do modo a facilitar as trocas de informação entre todos os intervenientes, achou-se relevante o desenvolvimento de um aplicativo que permitisse as trocas de informação de uma maneira fácil e transversal aos vários softwares BIM utilizados [7].

Dessa maneira foi desenvolvido um aplicativo de partilha de informação apoiada no modelo 3D sob a forma de *snapshots* e comentários categorizados adicionados pelos intervenientes com recurso ao formato aberto BCF (*BIM Collaboration Format*) para troca de informação relativa à coordenação dos modelos BIM [8].

Adicionalmente foi também desenvolvido um módulo de visualização gráfica que permite ao utilizador visualizar e correlacionar importantes indicadores como a quantidade, o tipo ou estado das questões relativas ao projeto em causa. Desta maneira é possível ao coordenador de projeto, tal como ao BIM Manager monitorizar em tempo real a progressão de um determinado projeto, podendo deste modo, tomar decisões mais informadas e conseqüentemente mais acertadas acerca dos desenvolvimentos dos trabalhos. O aplicativo inclui ainda a possibilidade de exportar todo o conteúdo do BCF para um ficheiro de MS Word para alguma troca de informação externa que ainda tenha de ser feita da forma tradicional.

Neste momento o BCF Manager está desenvolvido como *add-in* para Revit e como aplicação nativa de *Windows*, para utilizadores de Revit LT ou qualquer outro software. Está também em desenvolvimento o *add-in* do BCF Manager para Navisworks e futuramente o seu desenvolvimento será também alargado aos restantes softwares utilizados no processo produtivo da NRV.

- Join Tool

O processo de *joins* no Revit é um processo tedioso e sujeito a erro humano, pois o Revit neste momento apenas permite executar os comandos de *join* individualmente. Assim, para automatizar este importante processo de modelação, que tem impacto direto não só na extração de quantidades como nas peças desenhadas, foi desenvolvido um aplicativo para automatizar este processo.

O utilizador para além da versatilidade de escolha dos elementos, seleccionando as instâncias pretendidas ou seleccionando por família, categoria ou tipo de elemento, pode executar automaticamente os comandos nativos de “Join”, “Switch Join Order” ou “Unjoin”.

Para além desta automatização a equipa de desenvolvimento quis ir mais longe criando um conjunto de regras de *join*, de prioridade entre categorias de elementos, de maneira a que o aplicativo execute todos os *joins* do modelo de uma só vez, de uma maneira automática e sem possibilidade de erro humano.

- Topography Generator

A geração de uma topografia no Revit resume-se a um mecanismo nativo de triangulação entre linhas ou pontos cotados. Esta funcionalidade, ainda que útil em alguns casos não é suficiente para fazer face às necessidades do dia-a-dia de projeto. Na grande maioria dos casos o que se pretende com a modelação da topografia em Revit é a reprodução fiel do modelo digital do terreno já triangulado e devidamente validado pela equipa de topografia.

Tendo em conta que o Revit não dispõe desta importante funcionalidade entendeu-se que o caminho a seguir seria o desenvolvimento de um aplicativo que conseguisse reproduzir em Revit o modelo digital do terreno recebido da equipa de topografia.

No decorrer do desenvolvimento achou-se também importante dotar o aplicativo da capacidade da integração de um ortofoto na topografia gerada para uma melhor visualização da envolvente em Revit.

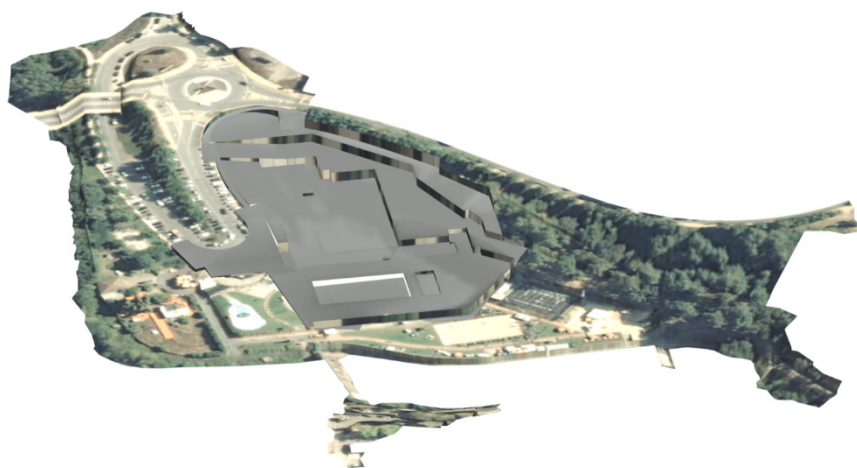


Figura 5
Topografia gerada em Revit mantendo a triangulação do MDT (com ortofoto).

- Piping Design

Apesar do Revit dispor de um mecanismo de dimensionamento de redes de abastecimento e drenagem de águas, este respeita os princípios de cálculo das normas norte americanas, naturalmente diferentes das normas de dimensionamento de redes hidráulicas portuguesas. Desse modo, achou-se conveniente o desenvolvimento de um

aplicativo que fizesse o dimensionamento das redes de abastecimento de água de acordo com os princípios de cálculo da legislação atualmente em vigor [9].

O aplicativo desenvolvido, baseia-se nos caudais das famílias de equipamentos hidráulicos da NRV, já definidos de acordo com a regulamentação portuguesa, e permite ao utilizador o dimensionamento das redes de abastecimento de água diretamente em Revit, de um modo muito mais eficiente e sem erro humano.

Após o dimensionamento hidráulico e a consequente alteração automática do diâmetro das tubagens e dos acessórios, o aplicativo permite ainda ao utilizador efetuar a verificação de pressão no ponto mais desfavorável da rede hidráulica de modo a garantir que a pressão disponibilizada na rede pública cumpre as disposições regulamentares.

- Sheet Creator e Duplicate Views

Este conjunto de aplicativos foi desenvolvido para fazer face a uma lacuna do processo de criação de vistas e folhas do Revit que apenas permite a duplicação de uma vista e a criação de uma folha de cada vez. Assim, o aplicativo desenvolvido permite a múltipla criação ou duplicação das vistas e das folhas, assim como a renomeação automática destas.

No aplicativo para além de funcionalidades de preenchimento automático dos parâmetros das folhas foi também desenvolvido um algoritmo que permite a colocação automática de vistas nas folhas o que agiliza muito o processo de duplicação de vistas e criação de folhas no modelo Revit.

- Compare Tool

O Compare Tool foi pensado como um aplicativo de comparação de modelos BIM. Este tipo de análises são particularmente úteis para quantificar o nível de alterações, por exemplo de uma nova versão de um projeto de arquitetura e desse jeito conseguir prever qual o real impacto que essas alterações terão nos trabalhos de engenharia e qual o custo da reprodução dessas alterações nos modelos de estruturas e das especialidades envolvidas. Para o efeito foi desenvolvido um módulo de visualização gráfica que permite ao utilizador visualizar e correlacionar importantes indicadores como o número de alterações por categoria de objeto, o tipo de alteração ou o número de alterações por piso.

- Exporter Tool e Architectural DWG Extractor

O Exporter Tool foi pensado como um exportador automático para o Revit, pois o processo de exportação nativo não só de desenhos, como de modelos é um processo demorado, com muitos menus e muitas configurações possíveis, o que torna o processo moroso e passível de erro por parte do utilizador. Para além da complexidade do processo de exportação nativo, após a exportação existe ainda um trabalho suplementar por parte do utilizador não só na renomeação dos ficheiros CAD extraídos

como na limpeza dos ficheiros RVT a enviar ao cliente, ou na conversão das *schedules* exportadas para MS Excel.

Desta maneira, o utilizador com a ferramenta desenvolvida consegue exportar de uma só vez as peças desenhadas para os formatos DWG, DWF e PDF, as *schedules* para MS Excel e o modelo para os formatos IFC, NWC e RVT. Todos os ficheiros exportados são automaticamente renomeados de acordo com os standards da empresa e o modelo é limpo, reduzindo o seu tamanho e evitando a partilha de informação não relevante para o cliente.

Outro dos desafios com que frequentemente nos deparamos no dia-a-dia de projeto prende-se com a exportação de peças desenhadas de modelos externos de arquitetura para CAD. A grande maioria das vistas nos modelos chega-nos com configurações de visualização diferentes das que as equipas de projeto necessitam. Para automatizar todo este processo, manual e moroso na preparação das bases de arquitetura, foi desenvolvido o Architectural DWG Extractor para a exportação para DWG das peças desenhadas dos modelos de arquitetura com as configurações de visualização e exportação que as equipas de projeto necessitam.

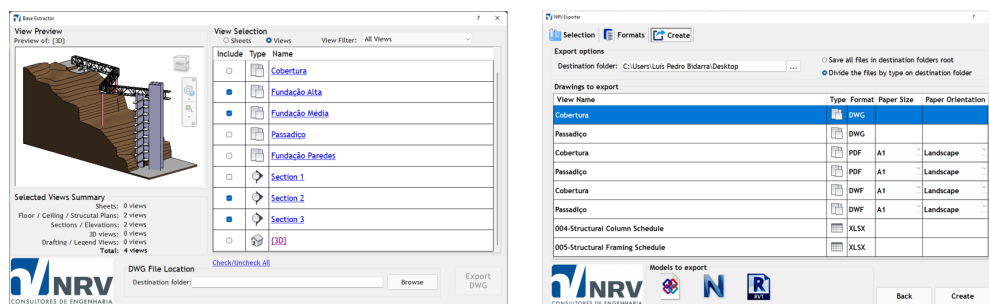


Figura 6
Workflows automáticos para exportação de desenhos/modelos.

- Parameter Handler

A gestão de todo o mecanismo de parâmetros do Revit é um processo complexo, mas de vital relevância para os fluxos de trabalho inerentes aos usos BIM do modelo. A edição dos parâmetros de projeto e dos parâmetros partilhados no Revit apenas pode ser feita individualmente para cada parâmetro o que torna o processo global de gestão dos parâmetros moroso e passível de erro humano.

É importante que a workflow de gestão e manipulação dos parâmetros seja o mais flexível e versátil para a eficiência global do processo BIM. Desta forma, foi desenvolvido o Parameter Handler, um *add-in* para Revit que permite não só a gestão integrada e automática dos parâmetros de projeto e dos parâmetros partilhados do modelo como o preenchimento destes de forma mais versátil.

4. Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O desenvolvimento de aplicativos associados às soluções de *softwares* comercializados utilizados no processo produtivo da empresa tem tido um impacto bastante positivo na agilização da transição digital inerente à utilização da metodologia de trabalho BIM pois, permite não só customizar e adaptar os softwares comerciais ao processo produtivo da empresa como também aumentar a interoperabilidade entre os vários softwares comerciais utilizados no processo produtivo da NRV devido ao aumento da inclusão de fluxos de trabalho Open BIM, materializados na adoção dos formatos de ficheiro aberto IFC e BCF.

Desta forma, o desenvolvimento de aplicativos apresenta-se como uma solução de futuro, pois representa um custo extremamente baixo, dado que não existe qualquer custo associado ao licenciamento de software de suporte ao desenvolvimento de aplicativos, nem qualquer custo associado à aquisição de software ou serviços de desenvolvimento em regime de *outsourcing* o que a torna o desenvolvimento de aplicativos na NRV um investimento com retorno garantido, pois os ganhos de produtividade superam em muito os custos de desenvolvimento.

Como desenvolvimentos futuros destaca-se a intenção de desenvolver um aplicativo para automatizar a modelação com base em nuvens de pontos, assim como de aplicativos de apoio à modelação de armaduras em elementos de betão e extração automática do quadro de pilares.

O processo produtivo de uma empresa como a NRV, com vários âmbitos de atuação reveste-se de complexidades e certamente haverá ainda muitos processos passíveis de automatização, não só em Revit ou em Civil 3D, como em todos os outros softwares utilizados. Essa continuará a ser a missão da equipa de desenvolvimento, continuar a desenvolver internamente software de apoio ao processo produtivo da empresa, tornando este mais eficiente e facilitando a transição digital associada à adoção da metodologia de trabalho BIM.

Referências

- [1] E. A. Poirier, S. Staub-French, and D. Forgues, "Measuring the impact of BIM on labor productivity in a small specialty contracting enterprise through action-research", *Automation in Construction*, vol. 58, pp. 74-84, Aug. 2015, doi: 10.1016/j.autcon.2015.07.002.
- [2] T. Päivärinta and K. Smolander, "Theorizing about software development practices", in *Science of Computer Programming*, Apr. 2015, vol. 101, pp. 124-135. doi: 10.1016/j.scico.2014.11.012.
- [3] E. M. Arvanitou, A. Ampatzoglou, A. Chatzigeorgiou, and J. C. Carver, "Software engineering practices for scientific software development: A systematic

- mapping study”, *Journal of Systems and Software*, vol. 172, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.jss.2020.110848.
- [4] W. Behutiye *et al.*, “Management of quality requirements in agile and rapid software development: A systematic mapping study”, *Information and Software Technology*, vol. 123. Elsevier B.V., Jul. 01, 2020. doi: 10.1016/j.infsof.2019.106225.
- [5] R. Caballero, E. Martin-Martin, A. Riesco, and S. Tamarit, “A unified framework for declarative debugging and testing”, *Information and Software Technology*, vol. 129, p. 106427, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106427>.
- [6] F. Noardo, K. A. Otori, T. Krijnen, and J. Stoter, “An inspection of ifc models from practice”, *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no. 5, pp. 1-28, Mar. 2021, doi: 10.3390/app11052232.
- [7] M. Oraee, M. R. Hosseini, D. J. Edwards, H. Li, E. Papadonikolaki, and D. Cao, “Collaboration barriers in BIM-based construction networks: A conceptual model”, *International Journal of Project Management*, vol. 37, no. 6, pp. 839-854, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.ijproman.2019.05.004.
- [8] L. van Berlo and T. Krijnen, “Using the BIM Collaboration Format in a Server Based Workflow”, *Procedia Environmental Sciences*, vol. 22, pp. 325-332, 2014, doi: 10.1016/j.proenv.2014.11.031.
- [9] J. P. Martins and A. Monteiro, “LicA: A BIM based automated code-checking application for water distribution systems”, *Automation in Construction*, vol. 29, pp. 12-23, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.autcon.2012.08.008.

Automatização do processo de licenciamento – Metodologia e caso de estudo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.13>

Nycolas Glerean¹, Alaa Alhariri¹,
Ana Rocha¹, Luís Sanhudo¹, António Aguiar Costa¹

¹ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal

Resumo

Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, o *software* de validação automática *Building Information Modelling* (BIM) tem demonstrado ser uma eficaz solução para a otimização de processos do setor da Construção, nomeadamente no contexto de licenciamento. Este tipo de solução visa reduzir a duração e o erro humano associado a este processo, bem como melhorar a colaboração entre entidades, produzindo um impacto positivo no setor da Construção em termos económicos, de sustentabilidade e de segurança.

Tendo em vista a crescente adoção destas ferramentas, o presente artigo introduz uma metodologia que visa apoiar e automatizar o processo de licenciamento a nível municipal e nacional. Esta metodologia inclui três fases distintas: (1) análise e tradução de regulamentos para linguagem digital; (2) classificação de zonas e introdução de parâmetros em ambiente de modelação; (3) execução do processo de validação e visualização de resultados. O potencial desta abordagem é ilustrado por meio de um caso de estudo, no qual é apresentada uma versão preliminar de um *software* de *code-checking* capaz de analisar e validar um modelo BIM em conformidade com parte do regulamento nacional de acessibilidade.

1. Introdução

Os recentes esforços de digitalização do setor da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) têm proporcionado novas oportunidades para a criação de inovadores fluxos de trabalho, nomeadamente pela automatização de processos tradicionalmente manuais. Entre estes, a literatura aponta para a validação automática de modelos BIM de acordo com normas, regulamentos e requisitos da Construção, como uma boa abordagem para potenciar a aceleração e melhoria da qualidade do processo de licenciamento, gerando um impacto positivo para o setor ao nível da sua economia, sustentabilidade e segurança [1].

Contudo, apesar da identificação destas vantagens por parte da literatura, existe ainda uma falha no desenvolvimento de uma ferramenta que possibilite a automatização do processo de licenciamento, frequentemente referido de *e-permitting* [2].

Assim, apesar da automatização integral deste processo não ser atualmente um objetivo verosímil, nem desejado, o presente artigo propõe uma metodologia para uniformização da interpretação de regulamentos e modelação BIM, criando um caminho a seguir para que se possa atingir, num futuro próximo, esta automatização a nível nacional. Para validação da metodologia, o artigo apresenta ainda uma versão preliminar de um *software* de *code-checking*, capaz de examinar e validar um modelo BIM em conformidade com parte do regulamento nacional de acessibilidade. Este *software* é constituído por duas ferramentas distintas: *BIM Classification* e *BIM Checker*.

Para além desta secção introdutória o presente artigo encontra-se dividido em seis secções. A Secção 2 examina o estado da arte associado ao tópico de *code-checking* e *e-permitting*, abordando ainda as ferramentas que inspiraram o *software* proposto. A Secção 3 delinea a metodologia proposta. A Secção 4 introduz o *software* desenvolvido com base na metodologia apresentada. A Secção 5 apresenta a validação a metodologia e do *software* proposto com base num pequeno caso de estudo. E, por fim, a Secção 6, apresenta as principais conclusões, bem como os trabalhos futuros já planeados.

2. Estado da Arte

Segundo Shahi et al. [3], os sistemas de licenciamento podem ser classificados em quatro níveis distintos, consoante o seu nível de digitalização e automatização. Nomeadamente:

- Nível 0 – Sistema de licenciamento tradicional, suportado por documentação em papel e sem recurso a processos de automatização;
- Nível 1 – Sistema de licenciamento suportado por documentação digital sobre a forma de ficheiros CAD (*Computer-Aided Design*), mas sem recurso a processos de automatização. Atualmente, é o sistema de licenciamento mais comum;

- Nível 2 – Sistema de licenciamento suportado por documentação digital sobre a forma de ficheiros BIM, com múltiplos mecanismos de automatização que aceleram o processo de licenciamento e diminuem o erro-humano associado ao mesmo;
- Nível 3 – Sistema de licenciamento suportado por documentação digital sobre a forma de ficheiros BIM e SIG (Sistema de Informação Geográfica) integrados, capturando coordenadas geodésicas, informação espacial e relações entre objetos, permitindo a completa automatização do processo de licenciamento.

Em [3], os autores expandem cada um destes níveis com múltiplos subníveis adicionais, identificando ainda que a maioria dos processos de licenciamento na literatura representam sistemas de nível 1, com a ambição de transitarem para o nível 2. Neste sentido, existe a necessidade de desenvolver sistemas de *e-permitting* (incluídos nos níveis 2 e 3), descritos na literatura como sistemas que visam a digitalização e automatização total ou parcial do processo de licenciamento tradicional. Esta automatização é suportada por *software* de *code-checking*, que verifica, de forma automática, o modelo BIM conforme regras previamente estabelecidas, emitindo posteriormente os resultados da análise efetuada. Segundo [4], este *software* é tipicamente constituído por quatro componentes:

- Tradução de regras para linguagem legível por computador;
- Preparação do conteúdo do modelo BIM;
- Execução do processo de validação;
- Preparação e representação dos resultados obtidos.

No que diz respeito a *software* de *code-checking* existente, uma das primeiras ferramentas com este propósito surgiu na plataforma CORENET (*Construction and Real Estate Network*), desenvolvida pela *Building Construction Authority*, em 1995. Esta suporta um serviço *web* para verificação técnica de regulamentos de edifícios, do qual faz parte o *software e-PlanCheck* [5]. Este é um *software* de *code-checking*, constituído por três vertentes: *e-submission*, *e-PlanCheck* e *e-info*. O *e-PlanCheck* foi testado em projetos piloto na Noruega e nos Estados Unidos da América, sendo que atualmente cobre ~92% das normas associadas ao *Integrated Building Plan* e ~77% do *Integrated Building Service*, em Singapura [2, 6, 7].

Como outro exemplo deste tipo de *software*, o *Solibri Model Checker* (SMC) [8] é uma das ferramentas mais populares para *code-checking* e avaliação da qualidade de modelos BIM. Este *software* foi criado pela *Solibri*, em 2000, tendo por base o modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) [9]. A estrutura de verificações do SMC é baseada em regras paramétricas, classificando os resultados obtidos consoante a sua gravidade (crítico; moderado; e baixa gravidade) [10].

Noutro exemplo, o *Model Checker* [11] da *Autodesk* permite uma rápida configuração e análise de regras paramétricas personalizadas pelo utilizador. Para desenvolvimento destas regras o *Model Checker* vem acompanhado do *Model Checker Configurator*, que permite uma fácil criação e edição de regras BIM.

Outros exemplos de relevo incluem [2, 4, 12]: *DesignCheck*; *Statsbygg*; *Jotne EDModelChecker*; e *SMARTcodes*. De realçar a importância deste último exemplo, que teve como foco a tradução de linguagem natural em linguagem legível por computador, permitindo a tradução de termos existentes em regulamentos para propriedades BIM, nomeadamente, propriedades incluídas no formato IFC.

3. Metodologia

A Figura 1 apresenta a metodologia proposta. Esta inclui os processos principais de *code-checking* introduzidos por Eastman et al. [4] e referidos na Secção 2. A estas componentes acresce ainda os *inputs* da metodologia, nomeadamente: o regulamento e o modelo BIM a validar. Em termos de fluxo de trabalho, o processo pode ser dividido em três vertentes:

- Numa fase inicial, o regulamento seleccionado passa por um processo de análise e tradução para linguagem legível por computador, culminando num conjunto de regras que são introduzidas numa base de dados.
- Paralelamente a este processo, o modelo BIM introduzido passa por um processo de preparação, no qual a sua informação é uniformizada para ser analisada face às regras geradas – este processo de uniformização é realizado com o auxílio da ferramenta *BIM Classification*, que integra o *software* desenvolvido para este propósito.
- Por fim, a base de dados gerada e o modelo tratado conectam à ferramenta *BIM Checker*, (também parte integrante do *software* desenvolvido) que permite executar, de forma automática, a validação do modelo BIM conforme as regras geradas. Terminado o processo de validação, a mesma ferramenta possibilita a análise e visualização dos resultados.

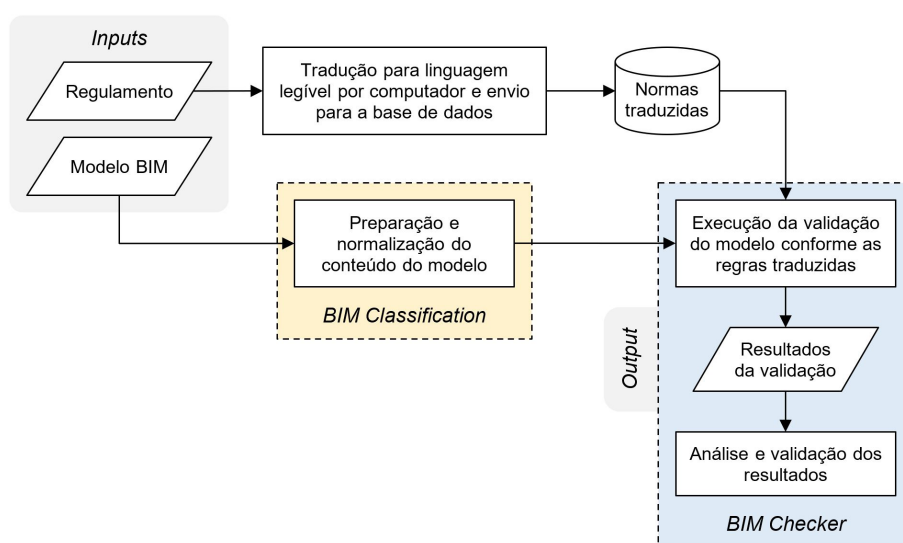


Figura 1
Metodologia proposta.

Cada uma destas vertentes é explorada, em maior detalhe, na Secção 4. Para desenvolvimento da base de dados foi utilizada a linguagem de programação *SQL*.

O *software*, composto pelas ferramentas *BIM Classification* e *BIM Checker*, foi desenvolvido com recurso ao *Windows Presentation Foundation* (WPF), uma plataforma gráfica *open-source* desenvolvida pela *Microsoft*. Para a base do código foi utilizado C# e para a componente gráfica, o *Extensible Application Markup Language* (XAML). Ambas as ferramentas foram desenvolvidas sobre a forma de *plugin* para o *software* de modelação *Autodesk Revit*. Este ambiente de modelação foi escolhido pelo seu elevado número de utilizadores a nível nacional, bem como pela sua *Application Programming Interface* (API) que dispõe de uma forte documentação e conteúdo educativo associado.

4. Desenvolvimento

4.1. Tradução de Regulamentos

A tradução das normas presentes no regulamento introduzido para linguagem legível por computador é um passo vital ao funcionamento da metodologia. Contudo, esta não é uma tarefa de simples execução, requerendo pelo menos três passos de significativa complexidade: (1) o correto mapeamento da nomenclatura presente no regulamento a parâmetros da API do *software Revit*; (2) a correta utilização de operadores lógicos para tradução das regras estipuladas nas normas do regulamento; e (3) a correta identificação e o estabelecimento de dependências entre normas. Esta tarefa é exacerbada pela ambiguidade existente em múltiplos dos regulamentos, pela constante atualização destes documentos, bem como pelo número e diversidade de normas a serem traduzidas.

Assim, para apoiar a execução desta tarefa, foi formulada a arquitetura da base de dados presente na Figura 2, com o intuito de simplificar e estruturar a abordagem. Esta base de dados serve de repositório às normas traduzidas, estando ligada ao *software BIM Checker* para possibilitar o *code-checking* automático.

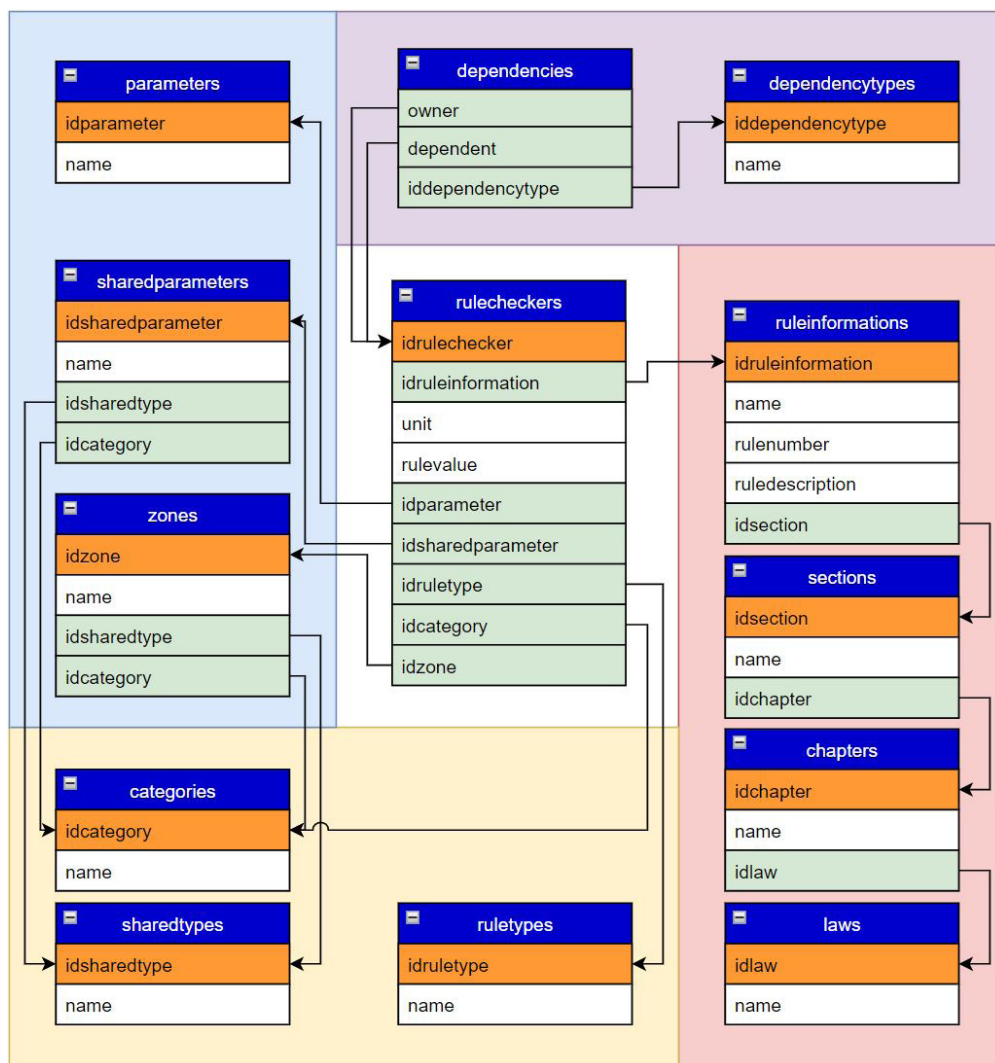


Figura 2
Arquitetura da base de dados desenvolvida para armazenamento de regulamentos.

Como visível na Figura 2, a base de dados é composta por quatro grupos de informação, interligados pela tabela *rulecheckers*, no centro da imagem, que alberga toda a informação sobre uma determinada validação. Estes grupos encontram-se coloridos de forma distinta e incluem:

- Informação sobre a norma (grupo a vermelho) associada à validação em questão. Neste grupo encontram-se especificados o nome, número, descrição, secção, capítulo e regulamento da norma;
- Informação sobre dependências (grupo a roxo), onde se estipula uma hierarquia entre diferentes validações, permitindo, por exemplo, que uma validação denominada de *owner* (e respetiva norma associada) só seja aprovada após outras validações, denominadas de *dependents*, também o terem sido (i.e., validação composta).
- Informação sobre os parâmetros (grupo a azul) a serem analisados no *software* de modelação, incluindo parâmetros *default* do *Revit* (tabela *parameters*),

parâmetros introduzidos pelo utilizador (tabela *shared parameters*) e possíveis zonas de análise (tabela *zones*);

- **Informação de suporte** (grupo amarelo), onde é especificada a categoria dos elementos a serem analisados (tabela *categories*; e.g., portas, janelas, quartos), a tipologia do parâmetro a analisar segundo a API do *Revit* (tabela *sharedtype*; e.g., texto, área, sim/não), e o operador lógico da validação (tabela *ruletype*; e.g., maior que, menor que, igual a).

4.2. BIM Classification – Preparação e uniformização do conteúdo do modelo

A preparação e uniformização do modelo BIM para a realização do processo de *code-checking* é um passo fulcral da metodologia proposta. Esta uniformização é realizada a vários níveis, desde a indicação do tipo de parâmetros a introduzir em certos elementos, até à nomenclatura que estes parâmetros devem seguir. Neste sentido, este passo é suportado não só por guias de modelação, mas também pela ferramenta *BIM Classification* (Figura 3), desenvolvida com o intuito de tornar este passo mais intuitivo e expedito. Esta ferramenta permite uma ágil atribuição de parâmetros e zonas a elementos do modelo BIM, incluindo a especificação dos valores associados aos mesmos. Esta atribuição pode ser realizada elemento-a-elemento, para uma maior personalização, ou em simultâneo a múltiplos elementos e/ou categorias.

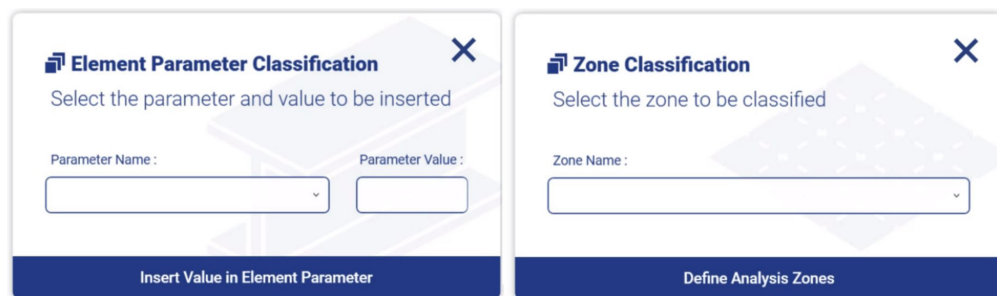


Figura 3
Arquitetura da base de dados desenvolvida para armazenamento de regulamentos.

4.3. BIM Checker

A ferramenta *BIM Checker* permite validar o modelo BIM de forma automática. A ferramenta permite várias validações em simultâneo, analisando todas as normas selecionadas pelo utilizador no painel interativo ilustrado na Figura 4. Para que esta validação ocorra corretamente, todos os parâmetros e zonas devem estar previamente inseridos (Secção 4.2). Caso estes parâmetros não estejam corretamente introduzidos, a validação alerta o utilizador para esse facto. Este alerta é feito por um sistema de cores, que também ilustra o cumprimento/incumprimento da norma:

- Cinzento, caso não existam elementos para validação;
- Amarelo, caso o parâmetro a validar não esteja inserido;
- Vermelho, caso a norma não seja cumprida;
- Verde, caso a norma seja validada.

Os resultados da análise realizada ao modelo BIM são apresentados de duas formas distintas: em formato de texto (na interface do *BIM Checker*) e em formato 3D (diretamente no modelo). No formato de texto é apresentada uma descrição da regra validada, destacando o resultado através do sistema de cores anteriormente descrito. Neste formato são também identificados os elementos validados, ordenados por família. Os resultados podem ser exportados em formato PDF, facilitando a partilha entre intervenientes do projeto. Em relação à visualização no modelo 3D, esta destaca cada um dos elementos com o mesmo sistema de cores, permitindo ao utilizador uma rápida localização dos elementos que necessitam de alterações.

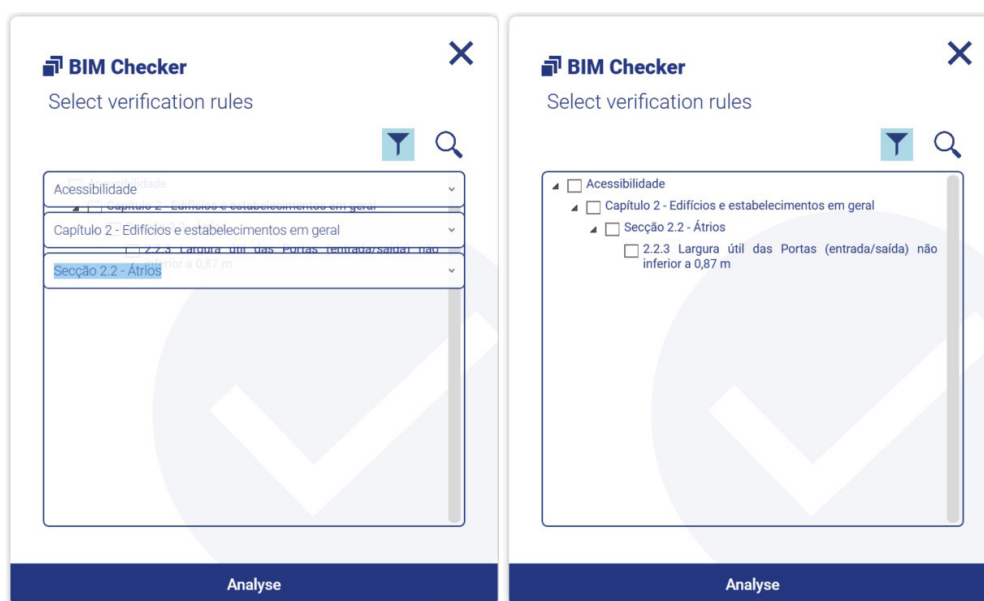


Figura 4
Interface da ferramenta *BIM Checker*. Processo de filtragem de regulamentos (à esquerda) e processo de seleção das normas a validar (à direita).

5. Caso de Estudo

5.1. Modelo e regras a validar

O presente capítulo apresenta uma validação preliminar da metodologia proposta, bem como do *software* desenvolvido, através da verificação automática de normas técnicas presentes no Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto [13] – Regime da acessibilidade aos edifícios e estabelecimentos que recebem público, via pública e edifícios habitacionais. Este Decreto-Lei foca a melhoria da acessibilidade de pessoas com mobilidade condicionada, sendo composto por 388 regras, 128 das quais são identificadas por [14] como verificáveis em ambiente BIM.

Destas 128 regras, seleccionou-se para validação, a título de exemplo, a norma 2.2.3, presente na Secção 2.2 – Átrios. Esta indica que “as portas de entrada/saída dos edifícios e estabelecimentos devem ter uma largura útil não inferior a 0,87 m, medida entre a face da folha da porta quando aberta e o batente ou guarnição do lado oposto; se a porta for de batente ou pivotante deve considerar-se a porta na posição

aberta a 90°. A Tabela 1 apresenta a interpretação lógica desta descrição, segundo a API do *Revit*.

Tabela 1

Interpretação lógica da norma 2.2.3, segundo a API do software Autodesk *Revit*.

Nome	Parâmetro	Categoria do elemento	Tipo de comparação	Valor de comparação	Zona
Largura da porta exterior não inferior a 0,87 m	Largura	Porta exterior	Maior ou igual	0,87	Zona acessível

Como é possível observar na Tabela 1, a regra foi traduzida sobre a forma de uma comparação “maior ou igual”, entre o valor do parâmetro “largura” das “portas exteriores” e o valor 0,87 m, identificado na norma. As portas a serem examinadas têm de estar associadas a uma “zona acessível”. Esta zona pode ser criada facilmente utilizando a ferramenta *BIM Classification*, tal como referido na Secção 4.2.

No que diz respeito ao modelo BIM utilizado, optou-se pela criação de um modelo simples, que proporcionasse uma rápida análise dos resultados. O modelo assemelha-se a duas moradias geminadas de apenas um piso, sendo que cada moradia tem quatro quartos interligados por um único corredor que dá acesso à entrada/saída da habitação. A Figura 5 apresenta a planta do modelo desenvolvido, ilustrando ainda a classificação de três zonas do edifício como “zona acessível”, realizada com recurso à ferramenta *BIM Classification*.

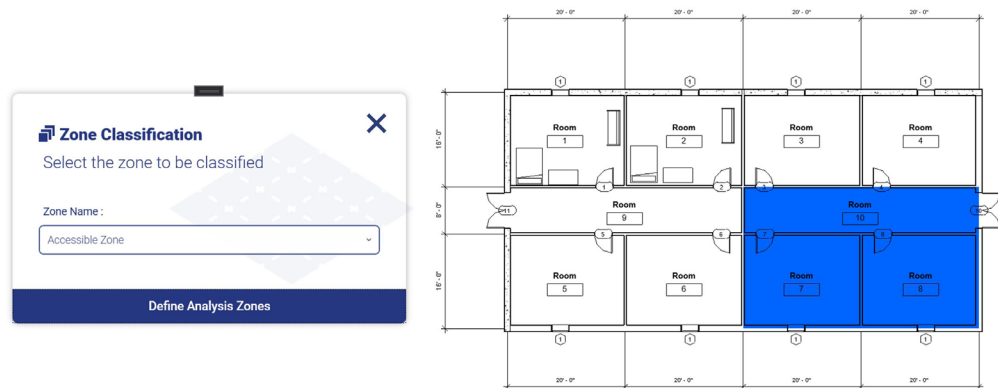


Figura 5

Vista em planta do modelo criado e classificação de zonas com recurso à ferramenta *BIM Classification*.

5.2. Cenários testados e resultado obtidos

Para validar cada um dos possíveis resultados a serem apresentados pela ferramenta *BIM Checker* (Secção 4.3), foram testados quatro cenários distintos: (1) inexistência de portas exteriores a validar na zona classificada de “zona acessível”; (2) inexistência do parâmetro “largura” na porta identificada para validação; (3) porta para validação com um valor do parâmetro “largura” inferior ao requerido pela norma; e (4) porta para validação com um valor do parâmetro “largura” superior ao requerido pela norma.

Tendo em conta estes quatro cenários, a Figura 6 apresenta os resultados obtidos pela ferramenta *BIM Checker*. Como visível nesta figura, todos os cenários apresentaram os resultados pretendidos tanto na vista 3D como na interface do *BIM Checker*. Mais especificamente, o primeiro cenário (Figura 6.A) indica uma falta de elementos (i.e., portas) a verificar – cor cinzenta; o segundo cenário (Figura 6.B) apresenta a falta de parâmetros (i.e., largura) para proceder à sua verificação – cor amarela; o terceiro cenário (Figura 6.C) apresenta um incumprimento da norma – cor vermelha; e, por fim, o quarto cenário (Figura 6.D) apresenta o correto cumprimento da norma – cor verde.



Figura 6
Visualização dos resultados obtido pelo *BIM Checker* nos cenários testados.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

Este artigo teve como objetivo disseminar e impulsionar os sistemas de validação automática de modelos BIM, no âmbito do licenciamento automático. Neste sentido, foi proposta uma metodologia para desenvolvimento e implementação deste tipo de soluções, tendo por base a literatura existente. Seguidamente, o potencial desta abordagem foi ilustrado através de um caso de estudo, no qual foi apresentada um *software de code-checking* capaz de analisar e validar um modelo BIM em conformidade com regras de regulamentos nacionais. Este *software* encontra-se dividido em duas ferramentas: *BIM Classification* e *BIM Checker*. A primeira possibilita a uniformização de modelos BIM, enquanto a segunda possibilita a validação dos modelos uniformizados tendo por base normas previamente traduzidas para uma linguagem

legível por computador (i.e., *machine-readable*). O caso de estudo teve resultados positivos, suportando a continuação deste estudo em trabalhos futuros.

Estes trabalhos vão incidir primeiramente na ampliação dos regulamentos abordados, na diversificação das tipologias de regras abrangidas e na criação de uma plataforma digital para disponibilização *online* da ferramenta desenvolvida. Um dos focos desta plataforma passa por permitir a interoperabilidade entre BIM e SIG, permitindo o alcance do nível de 3 de *e-permitting*, por parte da indústria AEC Portuguesa. Estes desenvolvimentos beneficiam já do apoio de múltiplos municípios nacionais.

7. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

- [1] T. H. Beach, J. L. Hippolyte e Y. Rezgui, “Towards the adoption of automated regulatory compliance checking in the built environment”, *Automation in Construction*, 2020.
- [2] H. Narayanswamy, H. Liu e M. Al-Hussein, “BIM-based Automated Design Checking for Building Permit in the Light-Frame Building Industry”, em *Proceedings of the 36th International Association for Automation and Robotics in Construction*, Canada, 2019.
- [3] K. Shahi, B. Y. McCabe e A. Shahi, “Framework for Automated Model-Based e-Permitting System for Municipal Jurisdictions”, *Journal of Management in Engineering*, 2019.
- [4] C. Eastman, J. M. Lee, Y. S. Jeong e J. K. Lee, “Automatic rule-based checking of building designs”, *Automation in Construction*, 2009.
- [5] AECbytes, “e-PlanCheck: Singapore’s automated code checking system”, 2005. Disponível em: <https://aecbytes.com/feature/2005/CORENETePlanCheck.html>.
- [6] A. Borrmann, M. König, C. Koch e J. Beetz, *Building information modelling: Technology foundations and industry practice*. Springer International Publishing, 2018.
- [7] Dimyadi, Johannes e Robert Amor. “Automated Building Code Compliance Checking – Where is it at?”, em *19th International CIB World Building Congress*, Australia, 2013.
- [8] Solibri, “SMC: Solibri Model Checker”, 2022. Disponível em: <http://solibri.com>.

- [9] V. Bazjanac e D. B. Crawley, “Industry foundation classes and interoperable commercial software in support of design of energy-efficient buildings”, em *Proceedings of Building Simulation’99*, Japan, 1999.
- [10] C. Preidel e A. Borrmann, “Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling”, em *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining*, Finland, 2015.
- [11] Autodesk, “Autodesk BIM Interoperability Tools – Model Checker for Revit”, 2022. Disponível em: <https://interoperability.autodesk.com/modelchecker.php>.
- [12] L. Ding, R. Drogemuller, M. Rosenman e D. Marchant, “Automating code checking for building designs – DesignCheck”, em *Proceedings of the 2nd International Conference of the CRC Construction Innovation*, Australia, 2006.
- [13] Decreto-Lei n.º 163/2006 de 8 de agosto do Ministério do Trabalho e da Solidariedade Social. Diário da República: Série I, páginas 5670-5689. Disponível em: <http://dre.pt/dre/>.
- [14] J. P. Rodrigues, “Utilização de modelos BIM para verificação automática de projetos – plano de acessibilidades”, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/79440>.

Revisão sistemática sobre a integração de smart contracts e BIM no ambiente construtivo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.14>

Vítor Esteves¹, Luís Sanhudo¹, António Aguiar Costa¹

¹ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal

Resumo

A tecnologia *Blockchain* possibilita a gestão de informação de forma descentralizada e segura, permitindo uma inovação significativa do setor da Construção. A capacidade de aliar esta tecnologia a novos sistemas de gestão de informação (e.g. *Building Information Modelling*, BIM) e novos modelos de contrato (e.g. *smart contracts*), possibilita a automatização de processos, a diminuição de dificuldades administrativas e a melhoria da segurança e do fluxo de execução de um projeto. Ainda assim, apesar do teórico impacto positivo, existem até ao momento poucos casos práticos da sua aplicação e a investigação publicada neste âmbito carece de sistematização.

Desta forma, a presente revisão sistemática tem como objetivo identificar áreas de potencial integração destas tecnologias no setor da Construção e agregar a informação existente deste domínio, motivando a sua adoção generalizada. A pesquisa conduzida utilizou as bases de dados *Scopus* e *Web of Science* para a recolha de artigos no âmbito do BIM e dos *smart contracts*. Desta recolha resultaram 20 artigos, cuja análise permitiu concluir que o atual foco desta interligação no setor da Construção relaciona-se sobretudo com aquisições, contratos ou custos. Concluiu-se ainda que esta tecnologia tem o potencial para resolver alguns dos problemas tradicionais do setor, sendo adaptável às metodologias e práticas atuais, resultando numa fácil integração nos seus processos diários.

1. Introdução

A indústria da Construção enfrenta vários desafios, incluindo baixa produtividade; fraca regulamentação; práticas de pagamento inadequadas; e falta de colaboração e partilha de informação entre intervenientes [1]. De facto, esta indústria é frequentemente rotulada como lenta no que toca à sua atualização, em grande parte devido à difícil implementação de processos inovadores, mostrando-se incapaz de integrar de forma expedita importantes avanços tecnológicos, quando comparada com outras indústrias [2]. Ainda assim, em anos recentes, algumas evidências de mudança têm sido observadas, por exemplo, através da ascensão da utilização da tecnologia BIM.

Paralelamente, outra tecnologia emergente que promete revolucionar múltiplos setores e cuja integração com o BIM aparenta ser vantajosa é a tecnologia *Blockchain*, cuja adoção no setor da Construção se encontra ainda numa fase embrionária. Assim, com o objetivo de analisar a adoção e potenciar o desenvolvimento desta tecnologia no ambiente construtivo, o presente artigo pretende examinar, em particular, a integração entre *smart contracts* e BIM.

A estrutura deste artigo é a seguinte: na Secção 2 é efetuada uma breve descrição dos conceitos chave deste estudo, como *blockchain*, tecnologia de livro-razão distribuída (*Distributed Ledger Technology*, DLT) e *smart contracts*; a Secção 3 apresenta a metodologia adotada neste artigo, detalhando o método de pesquisa e a seleção dos critérios de filtragem; a Secção 4 apresenta e discute os resultados da pesquisa; e, por fim, a Secção 5 conclui o artigo e identifica os próximos passos a seguir.

2. Conceitos Chave

A tecnologia DLT é um sistema para transações de valor numa rede distribuída de conexão ponto-a-ponto (*peer-to-peer*), na qual não existe uma autoridade central para intermediar essas transações.

Blockchain é um tipo de DLT onde existe um algoritmo de consenso entre pontos (nós) como, por exemplo, a prova de trabalho (*proof-of-work*) ou a prova de participação (*proof-of-stake*), e onde o histórico de transações é público. Esta começou como a tecnologia de suporte à primeira *Bitcoin* – criptomoeda de elevado sucesso, estabelecida em 2008, que funcionou como o impulsionador para a proliferação da DLT em diferentes indústrias e setores. De forma simplificada, uma *blockchain* é um livro-razão linear, constituído por blocos encadeados, cujo objetivo é o processamento de transações digitais, tendo provado ser uma tecnologia segura e resistente a ataques [3]. As principais características da *blockchain* são:

- descentralização, pois opera numa rede ponto-a-ponto composta por computadores na qual não existe uma autoridade central;
- imutabilidade, uma vez que os blocos que constituem a rede são encadeados e não podem ser alterados sem comprometer a validade da rede;

- confiabilidade, uma vez que todos os nós possuem uma cópia idêntica da *blockchain* que é verificada por meio de um algoritmo matemático que destaca eventuais anomalias;
- autenticação, pois, tal como referido anteriormente, mecanismos como a prova de trabalho são usados para validar transações. Este mecanismo de emissão de moeda serve para recompensar mineradores que garantem a validade das transações, sendo que o mineiro que completar a equação matemática primeiro obtém o direito de minerar o bloco para a *blockchain*, sendo recompensado pelo seu esforço com uma pequena porção da moeda.

Devido a estas características, nas *blockchains* públicas é impossível alterar um bloco devido à sua visibilidade em toda a rede e ao facto de requerer a alteração de todos os blocos que o precedem. Em suma, esta tecnologia garante segurança, utilizando criptografia e um mecanismo de consenso distribuído que oferece anonimato, persistência, auditabilidade, resiliência e tolerância a falhas [4]. A Figura 1 ilustra o funcionamento de uma *blockchain*.

Por sua vez, *smart contracts* são programas que estão armazenados numa *blockchain* e que são executados quando certas condições são satisfeitas, realizando, de forma automática, transações sem a necessidade de intermediários. *Ethereum* é a *blockchain* mais popular para este propósito. Para que seja considerado um *smart contract*, esta transação deve envolver duas ou mais partes, uma transferência de valor e uma implementação não sujeita a envolvimento humano direto [5]. A sua utilização é vantajosa pois elimina a necessidade de confiança entre ambas as partes sem a necessidade de um intermediário.

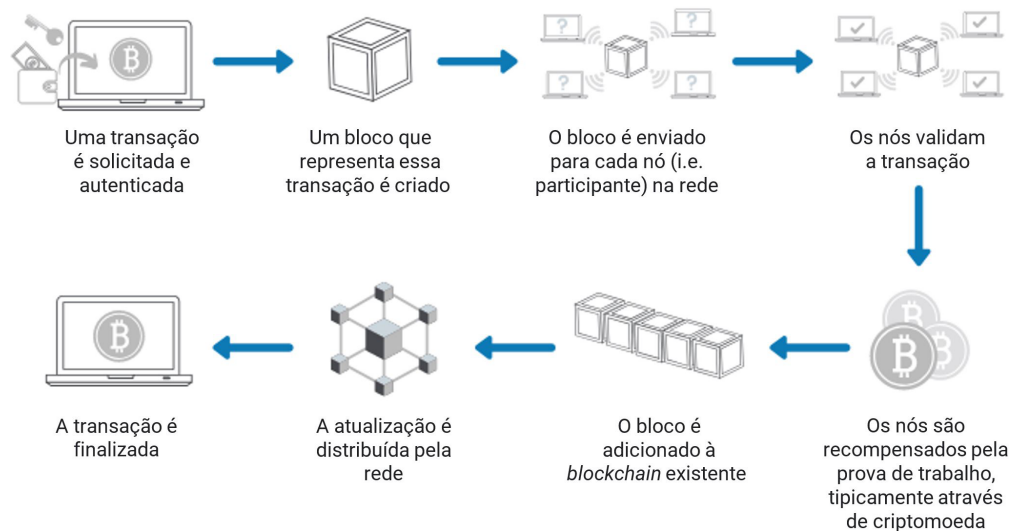


Figura 1
Funcionamento de uma *blockchain*. Adaptado de [6].

3. Metodologia de Estudo

As revisões sistemáticas têm como objetivo encontrar lacunas nas pesquisas atuais, a fim de direcionar as próximas etapas da investigação. Esta secção descreve o

processo utilizado para realizar a revisão sistemática da literatura, fornecendo uma breve descrição dos resultados obtidos, do processo de filtragem de informação e das dificuldades encontradas.

Começando pela obtenção de informação, a literatura relevante sobre o presente tópico foi recolhida através de pesquisas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A *string* de pesquisa utilizada consistiu numa combinação de palavras-chave relacionadas com o setor da Construção:

*TITLE-ABS-KEY = (("blockchain" OR "DLT" OR "smart contracts") AND ("construction environment" OR "built environment" OR "building industry" OR "construction compan**" OR "in construction" OR "construction industry" OR "civil engineering" OR "construction sector" OR "building information modelling" OR "BIM"))*

Desta pesquisa resultou um total de 233 documentos que, após remoção de duplicados, tipologias de artigos não relevantes (e.g. revisões) e artigos fora de âmbito, foi reduzido a 18 artigos. Consequentes pesquisas para identificação de mais artigos relevantes foram realizadas manualmente, através da análise de citações dos artigos já identificados. Este esforço adicional resultou na identificação de mais dois artigos, perfazendo um total de 20 artigos relevantes para análise. Na Tabela 1, estão identificados e caracterizados os artigos resultantes desta pesquisa, agregados por autor, temática principal abrangida e principal *output*. É também incluída informação relativa ao número de citações de modo a perceber o impacto de cada artigo. Esta informação foi recolhida através do *Google Scholar*.

Tabela 1
Sumário de revisão de literatura.

Autor(es)	Citações	Temática principal	Output	Âmbito
N. Moretti et al., 2020 [7]	11	Digital Twin	Caso de Estudo	Utilização de <i>smart contracts</i> e BIM na implementação de um <i>digital twin</i>
Y. Celik et al., 2021 [8]	-		Caso de Estudo	
J. Hunhevicz et al., 2022 [9]	3		Caso Prático	<i>Digital twin</i> com integração de <i>blockchain</i> para pagamentos automatizados
E. Seghezzi et al., 2020 [10]	-	Gestão de Edifícios	Análise Metodológica	Análise do potencial de BIM e <i>smart contracts</i> para gestão de edifícios através de sensorização
A. Amaludin and M. Taharin, 2018 [11]	7		Caso de Estudo	Autenticação em tempo real
A. Shojaei et al., 2020 [12]	28	Gestão de Projeto	Caso de Estudo	Integração do modelo BIM no contrato inteligente para administração de projetos no mundo virtual
Y. Ni et al., 2021 [13]	-		Caso de Estudo	Plataforma de gestão de projeto baseada em BIM e <i>smart contracts</i>

J. Li et al., 2019 [14]	36		Simulação	Pagamentos automatizados mediante análise do progresso através de um modelo BIM
X. Ye et al., 2020 [15]	11	Pagamentos	Framework	Conexão de modelo BIM com mapas de quantidades e, por sua vez, com <i>blockchain</i> através do BCC (BIM Change Contract) para pagamento automatizado através de <i>smart contracts</i>
H. Hamledari and M. Fischer, 2022 [16]	12		Caso Prático	Pagamentos automatizados mediante análise robótica do progresso em tempo real
Z. Liu et al., 2019 [17]	40	Sustentabilidade	Framework	Gestão de informação baseada em BIM e <i>smart contracts</i> com o objetivo de validar a sustentabilidade dos materiais usados
A. Fitriawijaya et al., 2019 [18]	11		Caso de Estudo	
A. Erri Pradeep et al., 2021 [19]	7		Caso de Estudo	Framework CDE (Common Data Environment) de transferência e armazenamento de informação de arquivos relativos a projeto baseado em <i>smart contracts</i>
K. Sigalov et al., 2021 [20] [21]	3/17		Caso de Estudo	
V. Ciotta et al., 2021 [22]	3		Prova de Conceito	
X. Tao et al., 2021 [23]	4	Transferência de Informação	Caso de Estudo	
F. Elghaish et al., 2020 [24]	72		Caso de Estudo	Framework projetada para integrar os três processos de IPD (Integrated Project Delivery), <i>blockchain</i> e BIM, com o objetivo de visualizar o fluxo de informações
T. Dounas et al., 2020 [25] [26]	4/22		Prova de Conceito/ Framework	Infraestrutura descentralizada de BIM para partilha de informação assente em IPFS (InterPlanetary File System) e <i>smart contracts</i>

4. Análise de Resultados e Discussão

Analisando a Tabela 1 é possível perceber que, dos 20 artigos analisados, apenas dois se referem a casos de aplicação prática [16] [9], o que confirma a incerteza dos investigadores em relação à aplicação da tecnologia *blockchain* no setor. Em termos de temáticas abordadas, ambas as utilizações práticas focam a automatização de pagamentos. No que se refere aos estudos teóricos, é de ressaltar a dominância do tópico de transferência de informação, presente em sete dos 18 artigos teóricos. A Figura 2 permite visualizar a dispersão de temáticas ao longo dos últimos anos.

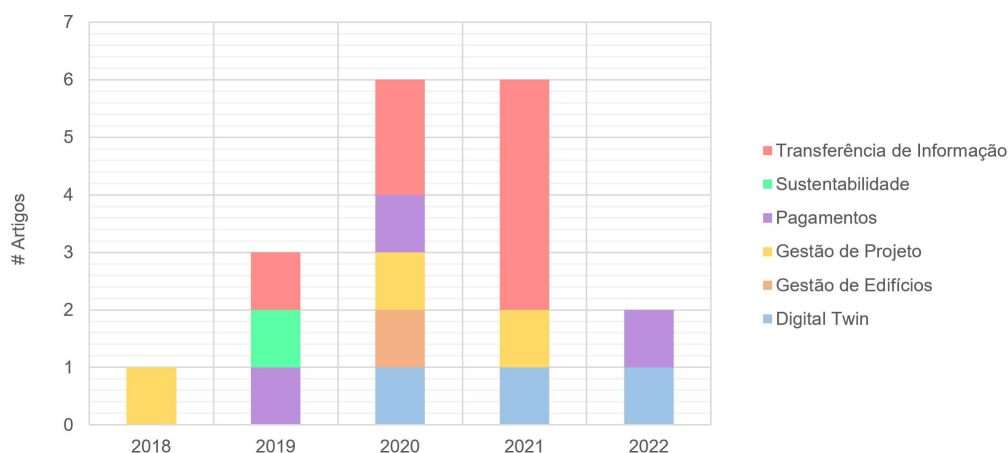


Figura 2
Dispersão de temáticas abordadas pelos artigos recolhidos.

É também possível identificar que, apesar da literatura com foco na integração de *smart contracts* e BIM ser ainda limitada, existem já vários casos de uso distintos, sendo possível salientar três grandes grupos: (1) pagamentos automatizados; (2) gestão de informação e pagamentos sob a forma de CDE; e (3) interligação com tecnologias *Internet-of-Things* (IoT) para gestão de edifícios.

Focando os pagamentos automatizados (1), o mecanismo de ação passa por utilizar dispositivos de captura de realidade, como por exemplo, *robots* equipados com câmaras ou *laser scanners*, que comunicam com o modelo BIM e o atualizam em tempo real. Por sua vez, um *smart contract* é programado e conectado com o modelo BIM, seguindo um conjunto de regras pré-estabelecidas antes do projeto iniciar. Nesse contrato deve constar informação relativa à tarefa, ao valor acordado e aos intervenientes. Quando a tarefa for terminada e o modelo BIM atualizado, os mecanismos de ação do contrato ativam-se automaticamente sem a necessidade de intermediários ou existência de um mecanismo de confiança. Questões de transparência e confiança são destacadas pelo Banco Mundial, na sua visão geral das principais vantagens de integrar esta tecnologia [27]. A questão da confiança no sistema torna-se, no entanto, um tópico debatível no setor pois, por um lado, a tecnologia pode remover ou reduzir os custos de transação tradicionalmente associados a projetos de construção (tanto ao nível da sua elaboração, negociação e execução), resultando assim em reduções de custos e em ganhos de eficiência. Por outro lado, se generalizada, esta tecnologia teria um impacto massivo no funcionamento base de várias empresas, muitas das quais dependem financeiramente do *status quo* e das mecânicas contratuais vigentes [28].

No que diz respeito à gestão de informação (2), este grupo de artigos visa promover tópicos que têm atrasado o desenvolvimento do setor construtivo, como colaboração e partilha de informações limitadas. Para isso, a informação relativa ao projeto é assegurada num CDE, definido na norma ISO 19650-1:2019 como um “ambiente confiável de partilha de informações para qualquer projeto ou ativo, onde é possível colecionar, administrar e disseminá-las por meio de um processo regulado”. Neste CDE podem ser armazenados diversos tipos de conteúdos, desde documentação técnica, como mapas de quantidade e análises de estimativas de custo, até modelos BIM.

O CDE é incorporado numa rede que utiliza a tecnologia de *smart contracts* para realizar partilhas de informação de forma segura e garantir que questões legais, como as responsabilidades, obrigações e direitos de propriedades intelectual associados a um modelo BIM compartilhado, possam ser tornadas explícitas e transparentes para todas as partes do projeto – aumentando na sua generalidade a confiança no sistema [29].

Relativamente à interligação com tecnologias IoT (3), este grupo de artigos tem como objetivo promover a interação entre o mundo real e o mundo digital. Para isso, após instalação de sensores num edifício e ligação dos mesmos ao modelo BIM e/ou ao *Digital Twin*, uma rede de *smart contracts* pode ser associada a este sistema para, por exemplo, controlar a qualidade do ar ou recompensar o utilizador por tomar determinadas ações que promovam a sustentabilidade e longevidade dos ativos (e.g. baixos consumos de água e energia).

Por fim, foi ainda possível evidenciar a existência de múltiplos desafios à adoção em massa de *smart contracts* na Construção. Alguns dos desafios incluem [30]:

- o custo de implementação da tecnologia *blockchain*, nomeadamente no que se refere à ligação com o IoT, uma vez que cada sistema ou componente do edifício precisa de estar habilitado para este propósito;
- a falta de desenvolvedores da tecnologia que tenham o setor da Construção em mente, levando à inexistência de produtos e serviços personalizados para este setor;
- a já referida lenta adoção de novas tecnologias por parte da indústria, que cria uma diminuta procura e, conseqüentemente, também uma reduzida oferta;
- e o escasso conhecimento e compreensão dos benefícios desta tecnologia para o setor, que originam uma falta de investimento na investigação de novas tecnologias.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

O sector da Construção tem vindo a digitalizar os processos de trabalho de forma globalmente mais lenta do que outras indústrias. Apesar da tecnologia *blockchain* se encontrar ainda numa fase inicial de adoção, esta demonstra já vários benefícios que podem ter um impacto significativo no setor da Construção, nomeadamente ao nível da colaboração e partilha de informação digital. Assim, com o objetivo de impulsionar a sua adoção e identificar recentes trabalhos focados nesta tecnologia, o presente artigo examinou a integração entre *smart contracts* e BIM.

Ao longo da revisão, foi possível concluir que a adoção desta tecnologia no setor se encontra ainda numa fase embrionária, com poucas publicações teóricas (tipicamente focadas no desenvolvimento de modelos conceptuais) e ainda menos exemplos práticos. Contudo, os exemplos existentes apontam já para múltiplos casos de uso, como: suporte à gestão de material e finalização de tarefas através de pagamentos

automáticos; suporte à documentação e administração de contratos; desintermediação; aumento da transparência e confiança entre intervenientes, através de uma robusta gestão de dados e propriedade; entre outros. No entanto, foram também identificadas múltiplas barreiras que suportam a carência de investimento na tecnologia, como: os custos iniciais a ela associados (tanto ao nível da infraestrutura de suporte como ao nível da obtenção de conhecimento técnico); a ausência de procura por parte dos clientes; e a incerteza quanto ao retorno do investimento.

Os resultados encontrados sugerem que os próximos passos de pesquisa para a comunidade científica passam pela aplicação prática dos modelos conceptuais desenvolvidos, a fim de explorar em pormenor os benefícios e malefícios previstos desta associação. Deverão ser realizados investimentos em sistemas tecnológicos e testes de estudo em projetos piloto para que seja realmente possível perceber a adequabilidade da tecnologia e a sua capacidade em impactar o ecossistema construtivo.

6. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

- [1] G. Robles, A. Stifi, J. L. Ponz-Tienda e S. Gentes, “Labor productivity in the construction industry-factors influencing the Spanish construction labor productivity”, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, vol. 8, nº 10, pp. 1061-1070, 2014.
- [2] S. Changali, A. Mohammad e M. Nieuwland, “The construction productivity imperative”, Mckinsey, 2015.
- [3] S. Nakamoto, “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”, 2008.
- [4] N. Kannengießner, S. Lins, T. Dehling e A. Sunyaev, “Trade-offs between Distributed Ledger Technology Characteristics”, *ACM Computing Surveys*, vol. 53, nº 2, pp. 1-37, 2021.
- [5] B. Vitalik, “A next-generation smart contract and decentralized application platform”, 2013.
- [6] “Investopedia”, [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/b/blockchain.asp>. [Acedido em 14 December 2021].

- [7] N. Moretti, J. D. Blanco Cadena, A. Mannino, T. Poli e F. Re Cecconi, "Maintenance service optimization in smart buildings through ultrasonic sensors network", *Intelligent Buildings International*, vol. 13, nº 1, pp. 4-16, 2020.
- [8] Y. Celik, Y. Petri e Y. Rezgui, "Leveraging BIM and blockchain for digital twins", em *IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)*, 2021.
- [9] J. J. Hunhevicz, M. Motie e D. M. Hall, "Digital building twins and blockchain for performance-based (smart) contracts", *Automation in Construction*, vol. 133, 2022.
- [10] E. Seghezzi, G. Di Giuda, M. Schievano e F. Paleari, "Bim-enabled facility management optimization based on post-occupancy evaluations and building monitoring: Framework and first results", em *International Structural Engineering and Construction*, Limassol, 2020.
- [11] A. Amaludin e M. Taharin, "Prospect of Blockchain Technology for Construction Project Management in Malaysia", *ASM Science Journal*, vol. 11, pp. 199-205, 2018.
- [12] A. Shojaei, I. Flood, H. Moud, M. Hatami e X. Zhang, "An Implementation of Smart Contracts by Integrating BIM and Blockchain", em *Advances in Intelligent Systems and Computing*, San Francisco, 2020.
- [13] Y. Ni, B. Sun e Y. Wang, "Blockchain-based BIM Digital Project Management Mechanism Research", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 161342-161351, 2021.
- [14] J. Li, M. Kassem, A. Ciribini e M. Bolpagni, "A proposed approach integrating DLT, BIM, IOT and smart contracts: Demonstration using a simulated installation task", em *International Conference on Smart Infrastructure and Construction*, Cambridge, 2019.
- [15] X. Ye, K. Sigalov e M. König, "Integrating BIM- and Cost-included Information Container with Blockchain for Construction Automated Payment using Billing Model and Smart Contracts", em *Symposium on Automation and Robotics in Construction*, Kitakyushu, Online, 2020.
- [16] H. Hamledari e M. Fischer, "Construction payment automation using blockchain-enabled smart contracts and robotic reality capture technologies", *Automation in Construction*, vol. 132, 2021.
- [17] Z. Liu, L. Jiang, M. Osmani e P. Demian, "Building information management (BIM) and blockchain (BC) for sustainable building design information management framework", *Electronics (Switzerland)*, vol. 8, nº 7, 2019.
- [18] A. Fitriawijaya, T. Hsin-Hsuan e J. Taysheng, "A blockchain approach to supply chain management in a BIM-enabled environment", em *International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia*, Wellington, 2019.

- [19] A. Erri Pradeep, T. Yiu, Y. Zou e R. Amor, "Blockchain-aided information exchange records for design liability control and improved security", *Automation in Construction*, vol. 126, 2021.
- [20] K. Sigalov, X. Ye, M. König, Hagedorn, B. F. P., B. Severin, M. Hettmer, P. Hückinghaus, J. Wölkerling e D. Groß, "Automated payment and contract management in the construction industry by integrating building information modeling and blockchain-based smart contracts", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, 2021.
- [21] X. Ye e M. König, "Framework for Automated Billing in the Construction Industry Using BIM and Smart Contracts", em *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98, 2021, pp. 824-838.
- [22] V. Ciotta, G. Mariniello, D. Asprone, A. Botta e G. Manfredi, "Integration of blockchains and smart contracts into construction information flows: Proof-of-concept", *Automation in Construction*, vol. 132, 2021.
- [23] X. Tao, M. Das, Y. Liu e J. Cheng, "Distributed common data environment using blockchain and Interplanetary File System for secure BIM-based collaborative design", *Automation in Construction*, vol. 130, 2021.
- [24] F. Elghaish, S. Abrishami e M. Hosseini, "Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system," *Automation in Construction*, vol. 114, 2020.
- [25] T. Dounas, W. Jabi e D. Lombardi, "Smart Contracts for Decentralised Building Information Modelling", em *Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe)*, Berlin, 2020.
- [26] T. Dounas, D. Lombardi e W. Jabi, "Framework for decentralised architectural design, BIM and Blockchain integration", *International Journal of Architectural Computing*, vol. 19, nº 2, pp. 157-173, 2020.
- [27] H. Natarajan, S. Krause e H. Gradstein, "Distributed Ledger Technology and Blockchain. FinTech Note", World Bank, Washington, DC, 2017.
- [28] P. Davis, J. Ellis e S. Cheung, "Dispute causation: Identification of pathogenic influences in construction", *Engineering Construction & Architectural Management*, vol. 17, nº 4, pp. 404-423, 2010.
- [29] C. Kinnaird, M. Geipel e M. Bew, "How the Inventions Behind Bitcoin are Enabling a Network of Trust for the Built Environment", Arup, London, 2017.
- [30] J. Li, D. Greenwood e M. Kassem, "Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases," *Automation in Construction*, pp. 288-307, 2019.

Análise da plataforma de verificação de regras de salvador, A Metropolis

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.15>

Jessica Aida¹, Bruna Bitencourt², Érica Checcucci³

¹ Universidade Federal da Bahia, Salvador, ID ORCID 0000-0002-7077-1236

² Universidade Federal da Bahia, Salvador, ID ORCID 0000-0001-9935-8923

³ Universidade Federal da Bahia, Salvador, ID ORCID 0000-0002-3950-413X

Resumo

As novas práticas trazidas com a modelagem da informação da construção vêm revolucionando os processos da indústria da construção civil. Um dos importantes usos dos modelos BIM é a possibilidade de verificação automatizada de requisitos de projetos, comumente chamada de verificação de regra (*code checking*). A prefeitura da cidade de Salvador, na Bahia/Brasil, em parceria com a Torch Engenharia, apresentou aos arquitetos e engenheiros uma plataforma de verificação de regras com uso de modelos BIM para submissão de projetos residenciais multi familiares, a Metropolis. Nesse novo modelo de submissão, são verificadas algumas legislações municipais, como a Lei de Uso Ordenamento e Ocupação do Solo, o Plano Diretor e o Código de Obras da cidade. A análise é feita partir do modelo BIM enviado em formato proprietário e em Industry Foundation Classes (IFC). O objetivo deste artigo é apresentar uma análise acerca dessa plataforma, confrontando-a com a literatura existente sobre *code checking*. A metodologia utilizada para desenvolvimento desse trabalho foi a de pesquisa exploratória, e, como resultado, o trabalho identifica algumas lacunas existentes na plataforma, assim como sinaliza mudanças que podem ser realizadas para atender a requisitos de *code checking* apontados na literatura. Desta forma, pretende-se contribuir para o avanço da adoção do BIM, especialmente no que concerne à verificação de regras.

1. Introdução

A modelagem da informação da construção é um dos mais promissores desenvolvimentos da indústria da construção civil [1] Um modelo BIM “[...] contém a geometria exata e os dados relevantes” [2] para as diversas etapas de todo o ciclo de vida da edificação. Uma das fases iniciais desse ciclo de vida é o projeto onde pode ser explorada a verificação automática de regra. Esse uso que se pode fazer dos modelos BIM é descrito como “[...] verificar ou provar a exatidão das informações do edifício, se é lógico e coerente” [3]. Em contraposição às verificações automáticas de regra, existem os processos manuais de verificação. Ismail [4]. afirma que a “[...] o processo de checagem de projeto de acordo com as regulamentações e códigos é demorado e propenso a erros”, e, por isso, alguns países, como EUA, Singapura, Noruega e Austrália vêm investindo em automatizar seus processos, implementando verificações automáticas de regras, isto é, *code checking*, *automated rule checking* ou *code compliance*.

Eastman et al. [2] apresentam a estrutura de quatro etapas para uma implementação de verificação automática de regra. Essas etapas são: (1) interpretação da regra, isto é, transformar as legislações ou normas em regras computacionais que possam ser entendidas pelo sistema verificador; (2) preparação do modelo BIM, que significa inserir as informações que precisam ser verificadas; (3) execução da regra, a verificação computacional propriamente dita e (4) exportação de relatórios, fase em que o sistema de verificação entrega os resultados da verificação efetuada.

A prefeitura da cidade de Salvador, através da Secretaria de Desenvolvimento Urbano (SEDUR), em parceria com a empresa Torch Engenharia, apresentou aos arquitetos e engenheiros, em novembro de 2020, a nova plataforma para aprovação de projetos em BIM, a Metropolis. Nessa nova forma de verificação dos requisitos para aprovação de projetos residenciais multi familiares, os arquitetos devem classificar os elementos no *software* Autodesk Revit, de acordo com o documento chamado “Manual Boas Práticas do Sistema Metropolis”, analisar se todas as informações estão corretas através do “Metropolis Viewer” e submeter os arquivos em extensão RVT, IFC (2x3) e PDF no Portal Salvador Simplifica [5].

A implementação que está sendo feita em Salvador é similar à feita em outros países que começaram seus processos de aprovação de projeto com verificações automáticas a partir dos anos 2000. Existem cinco experiências consolidadas de verificação automática de regra, a saber: (1) CORENET e-Plan Check (Singapura); (2) HITOS Project (Noruega); (3) SmartCodes (USA); (4) General Services Administration (USA) e, (5) Australia Building Codes Board (Austrália).

A maior parte dessas experiências automatiza códigos que dizem respeito à disciplina de arquitetura. A primeira delas, e-Plan Checker de Singapura, começou em 1995, verificando projetos em 2D. Posteriormente adotaram-se os modelos BIM através do IFC para a automatização das suas verificações. A legislação que foi automatizada no e-Plan Checker foram os códigos de construção que englobam

também regulamentações de combate a incêndio, projetos complementares, projetos de habitação social e de estacionamentos.

A experiência norueguesa, HITOS Project, começou em 2005, fruto de uma parceria entre a universidade Tromso College e a instituição responsável pelos edifícios governamentais, a Statsbygg. Essa iniciativa direciona-se à verificação dos espaços e da acessibilidade universal [2]. Assim como a norueguesa, a experiência australiana também se direciona às verificações de acessibilidade, automatizando parte do código australiano de construção, o Australian Standart (AS) 1428.1 para “projetos para acessibilidade e mobilidade” [2].

Os Estados Unidos são o único país com duas experiências de verificação automática de regras, a SmartCodes e a iniciativa do General Services Administration (GSA). A SmartCodes é uma iniciativa capitaneada pelo International Code Council (ICC), uma organização internacional voltada ao desenvolvimento de soluções para segurança da edificação. Essa verificação de regra é focada na automatização dos códigos de acessibilidade, similar à australiana. Já a GSA, por ser o órgão responsável pela segurança do acesso e circulação nos edifícios federais dos Estados Unidos, desenvolveu uma verificação de regra direcionada à essa demanda. A experiência foi chamada de Design Assessment Tool (DAT) e foi desenvolvida pela universidade da Georgia, no Georgia Institute of Technology.

O presente artigo visa analisar, com base nas etapas propostas por Eastman et al [2], a estrutura e o funcionamento da verificação automática de regras das legislações municipais de Salvador através da plataforma Metropolis.

2. Verificação automática de regra

A verificação automática de regra pode ser implementada através de *plug-ins* em ferramentas de projeto, em *softwares stand-alone* ou em aplicações *web* [1]. Segundo Eastman *et al.* [2], a verificação automática de regras é o processo em que “[...] um *software* não modifica um projeto, mas sim o avalia com base na configuração de objetos, suas relações ou atributos”, ou seja, são processos que não constroem o modelo virtual, somente o analisam.

Nawari [6] afirma que “[...] modelos BIM devem ter a informação necessária para operar a checagem dos códigos”. Por isso, se faz necessário o estudo das possibilidades de modelagem para entrada correta das informações pertinentes. O formato de dados mais utilizado para esta troca de informações entre modelos BIM é o IFC (*Industry Foundation Classes*). Além disso, o mesmo autor salienta uma questão importante para verificação automática de regras - a informatização dos sistemas – “[...] é fundamental perceber as limitações de qualquer informatização de sistemas, indicando claramente qual parte dos códigos e padrões não podem ser informatizados.” [6]. Não somente se faz imprescindível inserir as informações corretas em formato adequado para operar as verificações como entender a limitação de cada sistema a fim de aprimorá-lo de forma crescente.

Dentre as vantagens do uso da verificação automática de requisitos de projeto, é possível citar a automatização de processos, a melhor compatibilidade dos projetos e a qualidade desses enquanto produto final frente aos órgãos reguladores. Moço [7] ainda salienta a possibilidade da verificação automática de regra não se “limitar à substituição de um processo administrativo, para se tornar numa ferramenta de apoio à decisão durante a fase de projeto”.

3. A plataforma Metropolis

A Plataforma Metropolis foi desenvolvida através de uma parceria da empresa Torch Engenharia com a Secretaria Municipal de Desenvolvimento e Urbanismo (SEDUR) da Prefeitura de Salvador. Esta plataforma se propõe a ser uma forma dos arquitetos analisarem seus projetos para aprovação antes de submetê-los à SEDUR. A forma de submissão também é parte do sistema e agora está sendo feita através do Portal Salvador Simplifica, dispensando a necessidade da entrega presencial do projeto de licenciamento impresso. Inicialmente, a análise poderá ser feita apenas para projetos multi residenciais e somente no *software* Autodesk Revit. A Figura 1 apresenta as etapas necessárias para submissão dos projetos no portal.

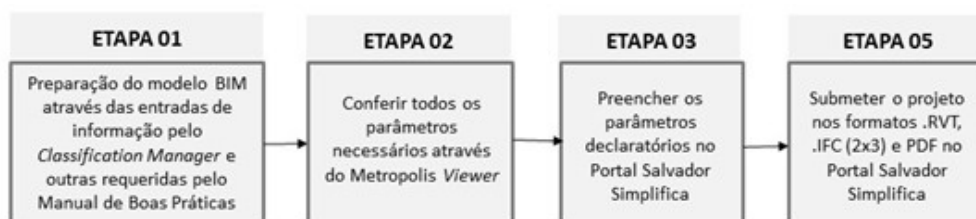


Figura 1
Framework para
submissão dos projetos
no Portal Salvador
Simplifica.

As legislações que serão analisadas na plataforma são: Lei de Ordenamento, Uso e Ocupação do Solo (LOUOS) N° 9.148/2016, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) N° 9.0669/2016 e o Código de Obras de Salvador, Lei N° 9281/2017 [4]. Nawari [6] afirma que “é crucial perceber as limitações de automatização de sistemas, indicando claramente qual parte dos códigos e padrões não pode ser automatizado”. No entanto, nota-se que o documento de explicação da plataforma, o Manual de Boas Práticas, entrega a informação contrária ; apenas os parâmetros que foram automatizados, a saber : Restrições de Espaço Aéreo, Índice de Permeabilidade, Gabarito de Altura, Limite de Vedação, Recuos, Índice de Ocupação, Quota Máxima de Garagem e Coeficiente de Aproveitamento [5].

Para submissão de projeto BIM através da plataforma Metropolis e Portal Salvador Simplifica, o projeto precisa necessariamente ser multi residencial, pois ainda não são aceitas outras tipologias para esse tipo de verificação. Também foram excluídas as reformas e ampliações, sendo a submissão exclusivamente para edificações novas. Além disso, somente os projetos desenvolvidos através do Autodesk Revit podem ser submetidos.

As plataformas de verificação de regra são desenvolvimentos que podem ser *plug-ins* em ferramentas de projeto, permitindo que o projetista faça conferência do projeto quando quiser, podem ser *softwares stand-alone*, aqueles que são instalados e usados nos computadores sem precisar de um outro software, ou aplicações hospedadas online [2]. A plataforma Metropolis se caracteriza como o último caso citado, àquelas que são hospedadas online, entretanto foi disponibilizado o Metropolis Viewer RT que é um software stand-alone para conferência de informações antes da submissão final. Além disso, acrescenta-se que os visualizadores usados foram open source (XBIM Toolkit), que suporta o padrão IFC, e as linguagens de programação foram JAVASCRIPT, JAVA, C# e C/C++ [8].

Solihin e Eastman [9]. dividiram as possibilidades de verificação de regra em quatro classes: (1) a primeira classe verifica atributos ou referências explícitas no modelo BIM; (2) a segunda classe verifica valores únicos ou um pequeno conjunto de valores derivados do modelo BIM, como a geometria; (3) a terceira classe é composta de verificações que requerem uma extensa estrutura de dados para seu funcionamento (para verificação dessa regra são usados vários tipos de dados como geometria, propriedades e dados topológicos); (4) a quarta e última classe é composta por verificações que sugerem uma solução após serem finalizadas. A plataforma Metropolis se encaixa na terceira classe identificada pelos autores, ou seja, realiza verificações que requerem extensa estrutura de dados utilizando do modelo BIM as informações explicitamente inseridas nele.

4. Análise da plataforma Metropolis de acordo com as etapas descritas por Eastman et al. [2]

A primeira etapa descrita por Eastman et al. [2] é a interpretação da regra que os mesmos descrevem como sendo a interpretação da tradução feita pelo programador do texto escrito nas legislações em códigos de computacionais. Essa etapa pode ser identificada no processo de verificação da Plataforma Metropolis como a fase em que a equipe da Torch Engenharia com apoio da SEDUR selecionaram os requisitos urbanísticos que seriam analisados de forma automatizada e os informatizaram através de algoritmos desenvolvidos pela empresa. Na Tabela 1, é possível ver todos os parâmetros urbanísticos que serão checados com seus respectivos itens a serem classificados no modelo BIM. A classificação desses itens do modelo é escopo da “Preparação do modelo BIM” que será explicada mais adiante.

Itens a serem classificados	
Índice de permeabilidade	Elementos construtivos de terreno, permeabilidade dos componentes, gabarito máximo de altura, reservatório de água pluvial, cota de nível do pavimento térreo e acesso principal, cota de nível do último pavimento (platibanda), casa de máquinas e reservatórios superiores, telhado, cota de nível da cobertura, cota de nível PBZPA, cota de nível do hall de entrada, testada
Unidades tipo	Grupos dos pavimentos-tipo em unidades habitacionais
Vagas de garagem	Ambiente das vagas de garagem como vaga de estacionamento, PCD, bicicletas, idosos, motocicletas, veículos elétricos, vagas de estacionamento externo
Coefficiente de aproveitamento	Paredes internas, áreas de uso comum, áreas cobertas destinadas à circulação, manobra e estacionamento de veículos; áreas técnicas de uso comum ou especializado; sala de gás; área de circulação vertical de uso comum; rampas; área de bilheteria/portaria/guarita; área de depósitos privativos de até 5m ² ; áreas de jardins e jardineiras; circulação horizontal comum; hall de acesso e de elevadores; varandas
Índice de ocupação	Necessário classificar todos os elementos não forem computáveis para esse parâmetro com o texto "Exceção para o cálculo de índice de ocupação"
Confrontantes	Ambientes como lote, propriedade, gleba, curso hídrico, área verde de parcelamento ou de urbanização integrada, área institucional de parcelamento ou de urbanização integrada, área reservada ao proprietário (ARP), encosta, área de preservação permanente (APP), área de remanescente de sistema viário, talude, outros limites de propriedades, lateral do terreno, fundo do terreno
Limite de vedação	Elementos permeáveis ou não que estejam na testada como "Elemento de fechamento com permeabilidade" ou "Elemento de fechamento sem permeabilidade"

Tabela 1
Parâmetros urbanísticos e Classificação Metropolis.

A Plataforma Metropolis foi desenvolvida em módulos e assim é apresentada no Manual de Boas Práticas disponibilizado pela Torch Engenharia. Desta forma, o módulo responsável pela Interpretação da Regra é o Metropolis BIM Engine. Esse módulo não é de acesso público ; está apenas explicitado no Manual de Boas Práticas como "módulo para análise dos arquivos BIM e estratificação dos parâmetros que serão utilizados para validação normativa" [5].

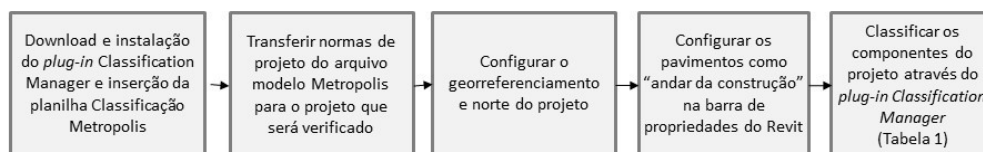
A segunda etapa descrita por Eastman et al [21] é a preparação do modelo BIM. No processo de verificação de regra apresentado na plataforma Metropolis esta é a primeira etapa : a "Preparação do Modelo" (Figura 1). Eastman et al. [2] afirmam que o principal requisito do modelo nessa etapa é "[...] conter todas as informações necessárias à verificação". Os passos necessários para inserção das informações para preparar o modelo BIM corretamente podem ser entendidos através da Figura 2. Ainda sobre essa etapa, Nawari [6] afirma que é "necessário desenvolver modelos BIM adequados para a verificação automatizada de requisitos, uma vez que as necessidades de um modelo para este fim são mais específicas do que para os demais".

As entradas de informações consistem na inserção de códigos nas propriedades dos elementos. Para inserção dessas informações, o projetista precisa instalar o plug-in Classification Manager e fazer o download da tabela desenvolvida pela Metropolis, a Classificação Metropolis. Após instalado o plug-in, é necessário fazer a inserção da Classificação Metropolis dentro do mesmo.

Além da classificação outros ajustes no modelo são necessários para que a verificação possa acontecer. Na Figura 2, é possível ver cada passo necessário.

Figura 2

Étapas para preparação do modelo BIM.



Além da fase de Preparação do Modelo BIM, é necessário que o projetista insira também informações no Portal Salvador Simplifica: os parâmetros declaratórios. Os parâmetros declaratórios (Tabela 2) só precisam ser preenchidos no portal no momento da submissão dos arquivos de projeto, ou seja, depois que o modelo BIM já estiver pronto para ser enviado à prefeitura de Salvador. São requeridos como parâmetros declaratórios: localização do empreendimento; dados do requerente; inclinação do terreno; perímetro e categorização dos confrontantes do terreno; informações sobre a área construída de cada pavimento; informações relativas às garagens, unidades habitacionais, submissão de licenciamentos complementares como movimentações de terra ou autorizações ambientais; informações sobre uso do espaço aéreo, informações sobre permeabilidade da edificação, gabarito de altura, proteção passiva, limites de vedação, recuos, índice de ocupação, área construída computável e coeficiente de aproveitamento. Os limites de vedação do empreendimento são “os elementos que possuem ou não permeabilidade e que estejam em frente à testada do edifício” [5].

Tabela 2

Parâmetros declaratórios.

Informações a serem declaradas	
Informações sobre o terreno	Tipo de inclinação do terreno, localização do terreno (desenhando a poligonal ou importando arquivo DXF com a poligonal do terreno), declaração de cada aresta da terreno como logradouro, lote, propriedade, gleba, curso hídrico, encosta, talude, servidão, dentre outros.
Declaração de afloramento	Declaração do tipo SIM/NÃO.
Declaração de área construída por pavimento	Declaração do tipo de pavimento (se é de garagem, pavimento-tipo, etc) e sua respectiva área.
Descrição das unidades habitacionais	Descrição dos tipos de unidades habitacionais e suas áreas úteis.
Declaração de unidades habitacionais preparadas para deficientes	Parâmetro do tipo SIM/NÃO e, se houve, inserir o DWG da unidade adaptável pessoas com deficiência.
Licenciamentos complementares	Inserção de documentos referentes à movimentação de terra, autorizações ambientais e/ou parcelamento, somente quando existirem.

A terceira etapa proposta por Eastman et al. [2] é a execução da regra. Na Plataforma Metropolis, a etapa de execução da regra é operada pela SEDUR através dos módulos Metropolis Viewer para Analistas e Metropolis Regulator. O primeiro módulo se destina às análises visuais e o segundo, para a tramitação e análise dos projetos.

Eastman et al. [2] comentam ainda sobre essa etapa que “a pré-verificação deve ser realizada para validar se os dados necessários estão disponíveis no modelo”. Na plataforma Metropolis, essa pré-verificação pode ser operada através do Metropolis Viewer RT, dando a possibilidade ao projetista de verificar a conformidade antes de submissão final ao sistema operada pela SEDUR no Portal Salvador Simplifica. Essa verificação anterior é feita no Metropolis Viewer RT através da aba “Inspetor” (Figura 3) que possibilita a visualização de “diversas informações que foram extraídas após a estratificação dos parâmetros urbanísticos do modelo BIM” [5].

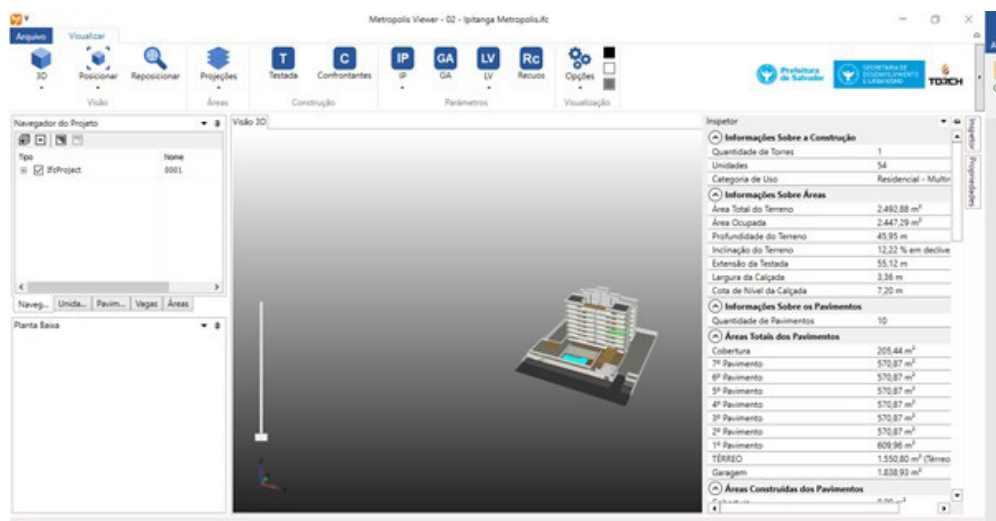


Figura 2
Metropolis Viewer RT e aba Inspetor com informações do projeto.

A exportação de relatórios é a última etapa descrita por Eastman et al [2]. Nessa etapa, Eastman et al. [2] afirmam que as “condições de projeto que são satisfatórias – aquelas que são VÁLIDAS – precisam ser relatadas como parte de uma auditoria que valida a totalidade do processo de checagem” e também que, no caso de haver identificação de erro ou inconsistência na regra, “associado ao local do erro deve estar explícita a regra aplicável”. Essa etapa não foi contemplada no fluxo de trabalho da Plataforma Metropolis, que não emite um relatório ao final do processo

5. Conclusão

O desenvolvimento da plataforma Metropolis foi um importante marco para a indústria da construção civil brasileira, sendo a primeira iniciativa de verificação automática de regras no âmbito do mercado nacional, visto que as demais se restringem às experiências acadêmicas. Experiências análogas de *code checking* somente foram desenvolvidas em países em que o nível de maturidade BIM encontrava-se muito mais elevado que o brasileiro, o que pode ser um indicador desse crescimento.

Entretanto, alguns pormenores foram observados. Desses, o que mais se evidencia é a necessidade de maior desenvolvimento de um projeto quando feito em BIM. Nesses casos, há uma grande quantidade de informações que o projetista precisará inserir para que o *software* e o portal verifiquem as informações de forma automatizada,

enquanto em verificações manuais em 2D essas informações não são requeridas de forma explícita, mas sim lidas pelos técnicos da SEDUR, tornando o desenvolvimento de projeto de licenciamento em BIM mais laborioso ao projetista caso ele ainda não trabalhe com este tipo modelo. É sabido que a inserção de informações explícitas é imprescindível na “preparação do modelo BIM”, e, para a verificação na Metropolis, acrescentam-se os dados que precisam ser inseridos no Portal Salvador Simplifica, muitos deles já inseridos no modelo. Entretanto, esse tipo de verificação, além de incentivar à adoção BIM pelos projetistas, traz consigo uma assertividade muito maior que a tradicional, feita através de projetos em 2D.

A ausência de uma exportação de relatórios não poderia deixar de ser salientada, uma vez que tanto Eastman et al. [2] quanto Soliman [10] entendem como a exportação de um documento é imprescindível a uma completa verificação automática de regras. Não apenas é necessário incorporar uma exportação de relatórios: é importante que esta seja visual e não somente técnica, assim como consiga referenciar que parte da legislação foi infringida pelo projeto. Sobre essa ausência, é possível citar Soliman [10], que afirma que “qualquer verificação automatizada de um modelo de edificação deve ser capaz de referenciar a seção do código que está sendo violado, como um indicador de regra definida por código”.

A limitação do do tipo de *software* a ser utilizado na Plataforma Metropolis e do tipo de projeto (apenas multi residencial) também são restrições que precisam ser transpostas. Se os códigos informatizados foram os municipais, não faz sentido aplicá-los somente a um tipo de projeto. Outro entrave que não é condizente com a literatura estudada é a necessidade de submissão do arquivo proprietário e em PDF, visto que o arquivo IFC já está sendo enviado. O envio dos tradicionais arquivos em PDF torna o processo mais lento, considerando que o número de pranchas para um empreendimento multi residencial é extenso. Já o envio do arquivo proprietário pode ser questionado por conflitos de propriedade intelectual, pois esse tipo de arquivo é um importante desenvolvimento dos escritórios de projeto.

Apesar das limitações encontradas, é importante salientar o pioneirismo da SEDUR e da TORCH Engenharia ao implementar a verificação automática de regra com uso de modelos BIM em território nacional. Espera-se que essa ação impulse outras prefeituras e demais organizações a informatizar seus sistemas com base em modelos BIM.

Referências

- [1] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, NJ.: Wiley, 2008.
- [2] C. Eastman et al. "Automatic rule-based checking of building designs". *Automation in Construction*, v. 18, n. 8, p. 1011-1033, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580509001198?casa_token=p8yv

DcvDkkgAAAAA:2NoS6Q7whXZiJgNfSYHUNXcMsbZhNO439hOYYWnCdYXbrlHalF5KZ7KF3N4qb0sb-5HDBYpCdo. Acesso em: 26 ago. 2020.

- [3] R. G Kreider and J. I. Messner. The uses of BIM. Classifying and Selecting BIM, Pennsylvania State University, v. 9. 2013. Disponível em: <https://www.bim.psu.edu/uses-of-bim.html>. Acesso em: 26 ago. 2020.
- [4] A. S. Ismail, K. N. Ali. and N.A Iahad. "A review on BIM-based automated code compliance checking system". In: 2017 International Conference on Research and Innovation in Information Systems (ICRIIS). IEEE, 2017. p. 1-6.
- [5] R. Torreão and L. Novais. *Manual de Boas Práticas Plataforma Metropolis*. 2020. Disponível em: <http://metropolis.solutions/>. Acesso em: 2 de abril de 2021.
- [6] N. O. Nawari. BIM-Model Checking in Building Design. Structures Congress 2012. Anais... Reston,VA: American Society of Civil Engineers, 29 marçx. 2012b. Disponível em: <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784412367.084>
- [7] R. M. M. Moço. "Verificação automática de modelos BIM-aplicação à avaliação de qualidade de projetos de edifícios de habitação". 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Especialização em Construções) – Universidade do Porto, Porto, 2015.
- [8] Torch Engenharia, Salvador, BRASIL. Apresentação Plataforma Metropolis - Módulo Viewer, Simplifica, Regulator e Classificação Revit. (Maio, 2021) Acessado: Mar. 7, 2022. [Online Vídeo]. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=6BrKpqehMog&t=1376s>
- [9] W. Solihin. and C. M. Eastman. Classification of rules for automated BIM rule checking development. Automation in construction, Georgia, v. 53, p. 69-82, 2015. Disponível em: [10] J. Soliman Junior, "*Framework para Suporte À Verificação Automatizada de Requisitos Regulamentares Em Projetos Hospitalares*", Dissertação de Mestrado, Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil, 2018.

Estrutura conceitual para verificação automatizada de requisitos em projetos aeroportuários no Brasil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.16>

**Ítalo Guedes¹, Max Andrade², Adriana Rolim³,
Emmanoel Neri⁴, Mariana Cavalcanti⁵, Rafaela Gabrielle⁶**

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0003-4071-246X

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0003-0717-1251

³ Secretaria Nacional de Aviação Civil – SAC, Distrito Federal, 0000-0003-0499-2660

⁴ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0002-8370-1042

⁵ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0001-8166-4391

⁶ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0001-6753-016X

Resumo

Projetos Aeroportuários (PA) por sua natureza são complexos em função de uma série de exigências e requisitos normativos a serem atendidos. O transporte aéreo no Brasil, tendo em vista suas dimensões continentais, desempenha uma função estratégica no que diz respeito ao desenvolvimento econômico do país. Atualmente o processo de avaliação e aprovação dos PA públicos no Brasil é realizado pela Secretaria Nacional de Aviação Civil e Empresa Pública Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. O processo atual de avaliação e aprovação de PA é realizado de maneira analógica. As representações gráficas de projetos são concebidas com base em desenhos 2D desenvolvidos em CAD. Tais processos tendem a ter duração prolongada de avaliação para aprovação. Em alguns casos perdurando meses e até anos, considerando todo o processo de revisão e correção. Em resposta a esse problema, este artigo apresenta os resultados de uma pesquisa de mestrado que propõe o uso de uma Estrutura Conceitual (EC) para verificação automatizada de requisitos de PA com base na abordagem metodológica do *Design Science Research* (DSR). Por meio da codificação de um conjunto de regras transcritas do Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC nº154), com base na EC, foi possível realizar a avaliação de um projeto aeroportuário usando a plataforma BIM de avaliação Solibri Model Checker. Os resultados apresentados neste artigo demonstram que o uso da EC facilita o entendimento do problema, permitindo estabelecer um recorte preciso para a Verificação Automatizada de Requisitos (*Code Checking e Validation*) que melhor expresse o problema recorrente nas avaliações de PA.

1. Projetos Aeroportuários no Brasil

O projeto de um aeroporto era concebido no passado especificamente conforme as exigências das aeronaves que iriam operar naquele empreendimento. Este demandava um limitado programa de necessidades. Atualmente, em consequência de diversos fatores, como a proximidade com centros geradores de demanda, multifuncionalidade de serviços, surgimento de novos materiais e processos construtivos, surgimento de novos conceitos, tais como: cidades-aeroporto [1], aero shopping, aeroporto industrial [2], aeroporto cidade, dentre outros, fez necessitar de conhecimento especializado para a concepção e desenvolvimento dessa categoria de projetos.

O alto nível de complexidade desse perfil de empreendimento pode ser visto na estrutura funcional do edifício, que é dotado de vida própria, na complexidade nas relações com o seu entorno imediato, bem como, na adequação a diversos parâmetros, tais como, níveis de serviço, níveis de segurança, processo de certificação.

No Brasil, o desenvolvimento de um projeto aeroportuário (PA), demanda uma série de pré-requisitos normativos que norteiam o projetista no momento de seu desenvolvimento. Dentre os documentos, pode-se destacar: RBAC (Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil), Portaria 1141/GM5, Anexo 14, Manual de Projetos Aeroportuários [10], além dos demais documentos internacionais. A avaliação e aprovação dos projetos aeroportuários desenvolvidos pelas equipes de projetistas são realizadas pela Empresa Pública Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária (INFRAERO), Secretaria Nacional de Aviação Civil (SAC), dentre outros órgãos competentes responsáveis pela administração dos aeroportos em solo brasileiro.

Este artigo visa apresentar uma estrutura conceitual (EC) que permite auxiliar os analistas de PA no momento da avaliação dessa categoria de projeto, tais processos tendem a ter uma elevada duração (perdurando meses ou até anos) tendo em vista que o processo atual de validação acontece de maneira analógica (projetos impressos em papéis), além de depender das expertises de conhecimentos específicos de cada analista de PA no momento da avaliação. É nesse contexto que o presente artigo se insere, propondo a utilização de uma EC visando o aprimoramento do processo de avaliação de PA no Brasil.

2. BIM e Projetos Aeroportuários

De acordo com Sacks *et al.* (2018, p.14), o *Building Information Modeling* (BIM), em português, Modelagem da Informação da Construção é “...uma tecnologia de modelagem e conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção” [3]. Segundo Succar (2009), o BIM refere-se a um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem, gerando uma metodologia para gerenciar os dados essenciais do projeto de construção e do projeto em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício [4]. Até muito recentemente, a concepção e desenvolvimento do projeto de arquitetura eram realizados por meio de um exercício mental

que gerava várias concepções espaciais e as avaliava de forma intuitiva, baseada no conhecimento do projetista e na experiência acumulada. Com as tecnologias que suportam o BIM, especificamente a interoperabilidade e modelagem paramétrica, é possível verificar se o modelo de construção (protótipo virtual do edifício apresentado pela equipe de projetistas) possui objetos corretos, convenções, proporções e outras estruturas necessárias para avaliação completa.

2.1. Usos do Modelo BIM

Com relação aos usos do modelo BIM [5], existem três principais tipos de uso da informação, sendo: 1) informações baseadas no modelo, 2) informações baseadas nos documentos e 3) informações baseadas nos dados. A primeira categoria refere-se às informações coletadas nos modelos para fins funcionais. A segunda refere-se às informações coletadas em documentos. A terceira trata dos dados do projeto. Dessa maneira [6] concebeu uma taxonomia de Usos do Modelo incluindo três categorias: categoria I (usos gerais do modelo), categoria II (usos de domínio do modelo) e categoria III (usos personalizados do modelo). Tendo em vista a variedade de possíveis usos do modelo na categoria II, o autor desenvolveu uma tabela listando os 72 usos possíveis do modelo de domínio, tendo o uso associado a *Code Cheking e Validation* (código 4050) situado na série 4000-4990 referente a Simulação e Quantificação [6].

3. Verificação Automatizada de Requisitos

O uso do BIM vinculado a Verificação Automatizada de Requisitos é denominado de *Code Checking* (CC). CC é definido como um processo de avaliação de relacionamentos ou atributos de projeto com base em suas configurações de objetos [7]. O BIM combinado com CC pode possibilitar um novo cenário para os analistas de Projetos Aeroportuários automatizarem o processo de avaliação, reduzindo o tempo de análise e aumentando a eficiência em relação ao processo de validação tradicional [7].

A Verificação Automatizada de Requisitos é uma das diversas formas de usos do modelo BIM. O CC pode ser viabilizado a partir dos três tipos de usos: I) uma aplicação desenvolvida para funcionar em outra plataforma, como um plug-in, permitindo a verificação em qualquer momento que o projetista desejar, II) como um software de computador, paralelo ao software de projeto, III) como aplicativo baseado na web, que aceita o projeto derivado de diversas plataformas [7].

Para esse trabalho foram consideradas as quatro classes gerais de regras baseadas no uso do BIM aliado ao processo de CC [8], sendo: classe 01 – regras que requerem um único ou um pequeno número de dados explícitos; classe 02 – regras que requerem valores de atributos derivados simples; classe 03 – regras que requerem estrutura de dados estendida; e, classe 04 – regras que requerem uma “prova de solução”. Com base no uso de uma dessas quatro classes de regras o processo de Verificação Automatizada de Requisitos do projeto é delineado nas seguintes etapas, 1) Interpretação das regras e sua estruturação lógica de regras para sua aplicação,

2) Preparação do modelo de construção, 3) Fase de execução da regra e 4) Relato dos resultados de verificação [7].

4. Metodologia

Conhecida também como *Constructive Research*, a Design Science Research (DSR) trata-se de uma abordagem metodológica direcionada para a solução de problemas. A DSR refere-se a um processo rigoroso de projetar artefatos para solucionar problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos.

O método DSR, constitui-se em duas macros etapas: I) Construção, etapa destinada ao desenvolvimento do artefato; e, II) Avaliação do Artefato [9]. Este artigo fez o uso da DSR, com ênfase da macro etapa 1 (construção do artefato).

5. Estrutura Conceitual (EC)

Este tópico do artigo apresenta a Estrutura Conceitual (EC) concebida visando o uso sistematizado de Verificação Automatizada de Requisitos em Projetos Aeroportuários baseado no uso do modelo BIM relacionado a CC. Com base nas quatro etapas de uso de CC [7] foi possível conceber a modulação proposta da EC.

A EC foi concebida com base em 04 módulos, o módulo 01 refere-se a etapa de interpretação das regras e a estruturação lógica de regras para sua aplicação. Para este módulo foram concebidas 03 sub etapas, sendo: I) sub etapa de formação da combinação estabelecida (CE), II) sub etapa da criação dos quadros de análise (QA) e III) sub etapa de criação do quadro síntese das regras (QS). O módulo 02 refere-se a etapa de preparação do modelo BIM. Para este módulo foi concebida 01 sub etapa destinada ao quadro de diretrizes de modelagem (QD) a ser disponibilizado para os projetistas que irão desenvolver o projeto. O módulo 03 refere-se a etapa da execução da regra. Para este módulo foi concebida 01 sub etapa referente ao quadro de análise dos dados (QAD) associados as regras. O Módulo 04 refere-se a etapa do relato dos resultados de verificação. Para este módulo foi concebida 01 sub etapa referente ao quadro de resultado (QR) da verificação automatizada de requisitos a ser emitido pela equipe de analistas de projeto aeroportuário para a equipe de projetistas. A Figura 1 apresenta a modulação proposta da estrutura conceitual desenvolvida.

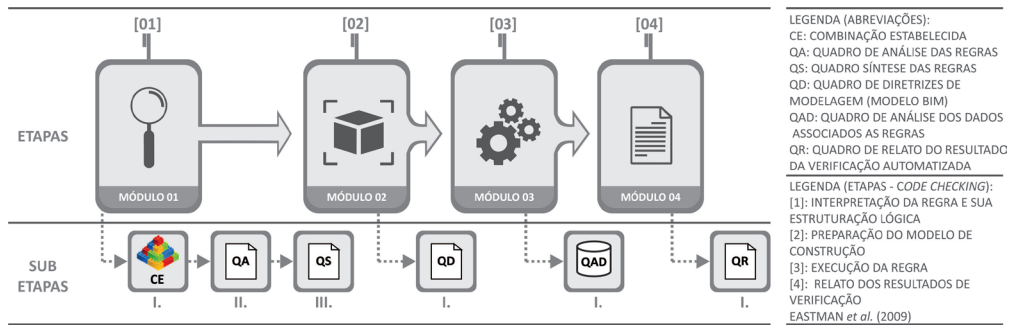


Figura 1
Modulação Estrutura Conceitual (EC).

5.1. Estruturação lógica (EC)

A estruturação lógica estabelecida da EC apresentada na Figura 2, tem o uso de CC como “base” constante no nível 01, 06 grupos no nível 02, sendo, G.1) documentos de referências utilizados para criação das regras (normas, manuais, etc), G.2) disciplina na qual a regra se enquadra, ex.: arquitetura, estruturas, infraestrutura, etc., G.3) categoria na qual a regra se insere, ex.: espaço, acessibilidade, integridade do modelo, etc., G.4) classificação da regra [8], G.5) esquema de dados e G.6) informações referente ao sistema ou software de análise utilizado para realizar a verificação automatizada. No nível 03 contem as informações pertinentes aos subgrupos. No nível 04, contem as informações pertinentes às descrições e parâmetros específicos de cada subgrupo.

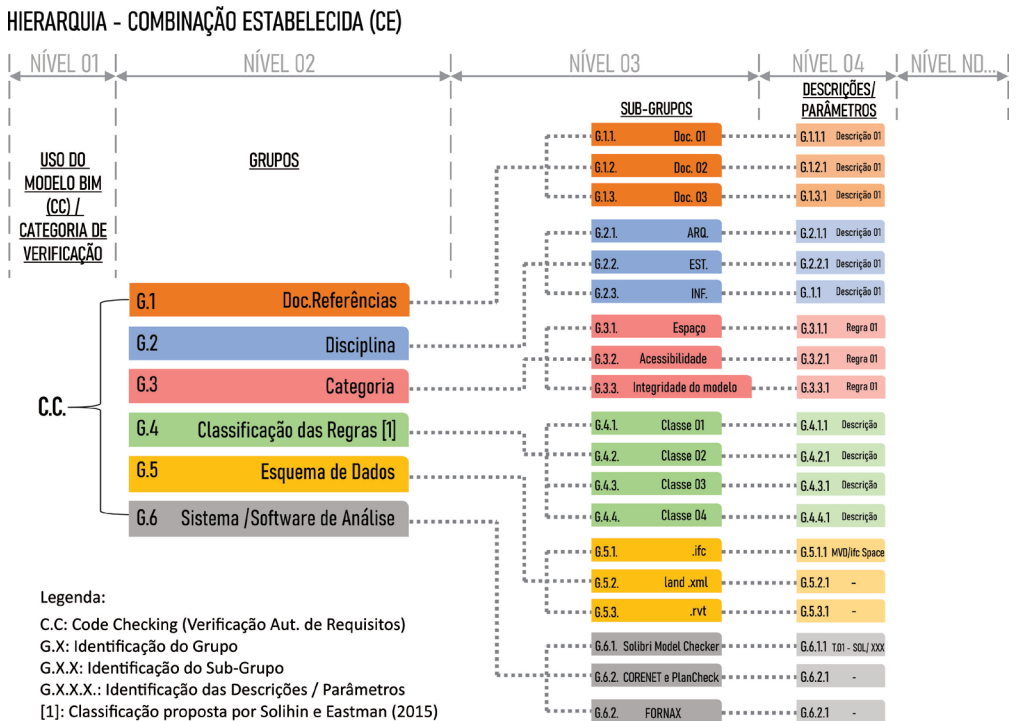


Figura 2
Lógica Hierarquica (EC).

5.2. Lógica de montagem (EC)

Uma vez estabelecida a hierarquia da EC, foi possível conceber a lógica de montagem baseada em um “lego” (Figura 03), tendo a base do lego composta pelo uso do modelo BIM referente ao CC representado pelo nível 01, os grupos representados pelo nível 02, os subgrupos caracterizados pelo nível 03 e as descrições e parâmetros dos subgrupos representados pelo nível 04, bastando apenas que a equipe de analista de PA preencha os dados contidos na coluna A de uma planilha no excel com os requisitos a serem avaliados, de maneira que a CE seja criada automaticamente na coluna B/Combinação Estabelecida (lego).

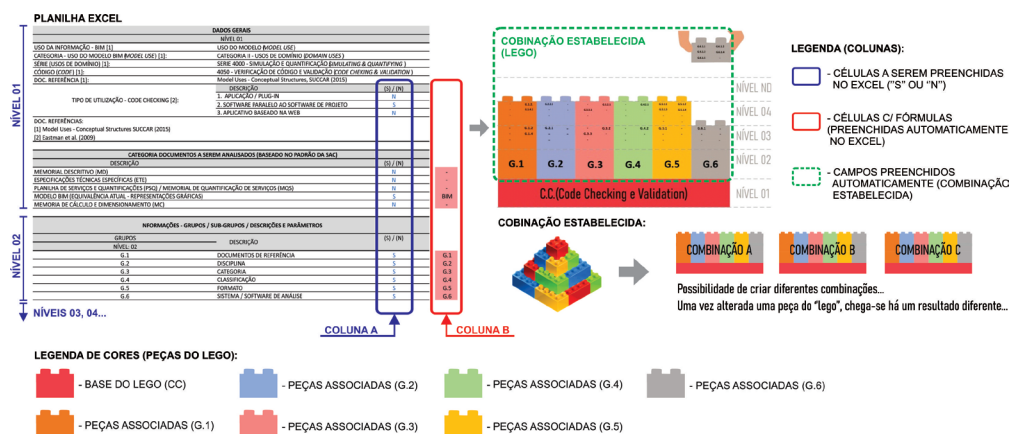


Figura 3
Combinação Estabelecida (CE).

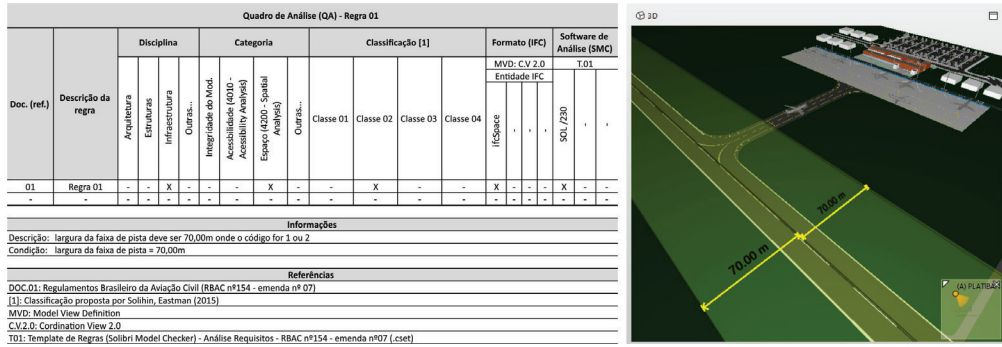
Esta lógica de montagem baseada em um “lego” representa de maneira figurativa a possibilidade da EC ser “montada” com intuito de obter diversos resultados. Uma vez que um código associado a uma peça do “lego” é alterada, consequentemente será possível obter resultados diferentes, ou seja, os Quadros de Análise das Regras (QA) e Quadro Síntese das Regras (QS) apresentarão novos resultados. Isso faz com que seja possível criar diferentes combinações a fim de obter resultados específicos. Neste artigo foram utilizadas “peças” com intuito de obter resultados exclusivos ao uso de CC em projetos de aeroportos relacionado a requisitos no Lado Ar (pista de pouso e decolagem, pátio de aeronaves, taxiway, etc), porém, a EC não se limita apenas a estas áreas. A Figura 3 apresentou um exemplo de combinação estabelecida (CE) mediante o preenchimento das informações.

6. Resultados

Uma vez realizada a combinação estabelecida (CE) mediante as necessidades requeridas pela equipe de analistas, foi possível criar os QA e QS (módulo 01) referente as 2 regras a serem intanciadas em um modelo BIM de um aeroporto. Com base no QS, foi possível conceber o Quadro de Diretrizes de Modelagem – QD (módulo 02) com intuito de instruir os projetistas de PA. O intuito desse quadro é auxiliar os projetistas no momento da confecção do modelo BIM com base nos requisitos mínimos necessários para que seja possível viabilizar a execução das regras no módulo 03.

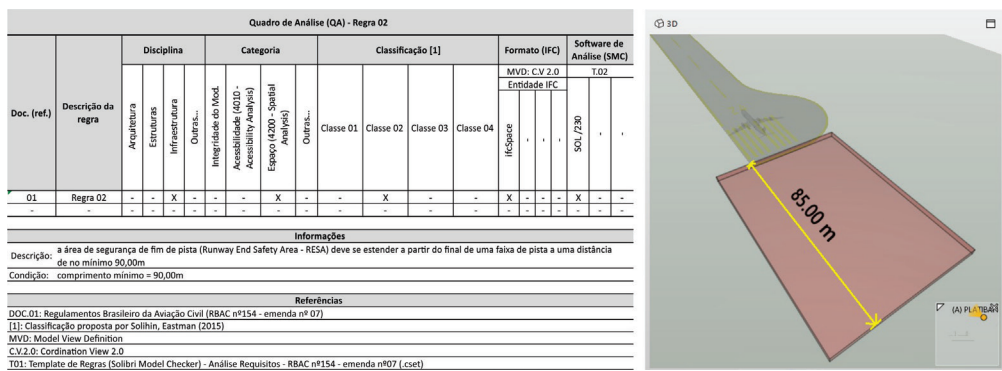
A Figura 4 apresenta o QA criado e o resultado da simulação da regra 01 executada no Solibri Model Checker (SMC). A condição de aceitação desta regra é: a largura da faixa de pista deve ser = 70,00m (onde o código for 1 ou 2). Se o modelo IFC for compatível, a plataforma BIM de análise SMC mostrará o resultado como “ok” na aba de checagem, caso contrário, apresentará automaticamente o resultado gráfico representando o não atendimento do requisito. Para a regra 01, a condição estava em conformidade, o SMC identificou o atendimento com a condição pré estabelecida.

Figura 4
Quadro de Análise da Regra 01 – QA (lado esquerdo)/Verificação Automatizada Regra 01 no SMC (lado direito) – módulo 01 e 03 da EC.



A Figura 5 apresenta o QA criado e o resultado da simulação da regra 02 executada no SMC. A condição de aceitação desta regra é: a área de segurança de fim de pista *Runway End Safety Area* (RESA) deve se estender a partir do final de uma faixa de pista a uma distância de no mínimo 90,00m. Se o modelo IFC for compatível, a plataforma BIM de análise SMC mostrará o resultado como “ok” na aba de checagem, caso contrário, apresentará automaticamente o resultado gráfico em vermelho representando o não atendimento do requisito. Para a regra 02, a condição não estava em conformidade, o SMC identificou o não atendimento com a condição pré estabelecida, havendo a necessidade que os projetistas revisem o projeto.

Figura 5
Quadro de Análise da Regra 02 – QA (lado esquerdo)/Verificação Automatizada Regra 02 no SMC (lado direito) – módulo 01 e 03 da EC.



Com base na verificação automatizada das regras 01 e 02, foi possível criar os respectivos Quadros de Análise das Regras (QA), assim como o Quadro Síntese das Regras (QS) referente a sub etapa 1 associada ao módulo 01. A Figura 6 apresenta o QS relacionado as 2 regras concebidas.

Quadro Síntese das Regras (QS)																									
Doc. (ref.)	Descrição	Disciplina				Categoria				Classificação [1]				Formato							Software de Análise (SMC)				
		Arquitetura	Estruturas	Infraestrutura	Outras...	Integridade do Mod.	Acessibilidade (4010 - Accessibility Analysis)	Espaço (4200 - Spatial Analysis)	Outras...	Classe 01	Classe 02	Classe 03	Classe 04	Entidade IFC (IFC Entity)							T.01				
														MVD: C.V. 2.0											
													ifcSpace	ifcSlab	ifcRoof	ifcFurniture	ifcDoor	ifcWindow	ifcWall	ifcCurtainWall	ifcObject	ifcFlowTerminal	ifcCovering	SOL/230	
01	Regra 01	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-
	Regra 02	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X	-

Referências

DOC.01: Regulamentos Brasileiro da Aviação Civil (RBAC nº154 - emenda nº 07)

[1]: Classificação proposta por Solihin, Eastman (2015)

MVD: Model View Definition

C.V.2.0: Coordination View 2.0

T01: Template de Regras (Solibri Model Checker) - Análise Requisitos - RBAC nº154 - emenda nº07 (.cset)

Figura 6
Quadro Síntese das Regras (QS) – módulo 01 da EC.

Mediante a criação do QS foi possível seguir para o módulo 02 referente a etapa de preparação do modelo BIM, para esta etapa foi concebida a sub etapa 01 que refere-se ao quadro de diretrizes de modelagem (QD), a Figura 7 apresenta os dados contidos no QD (módulo 02).

Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD) - Informações Gerais																						
Descrição	Plataforma BIM (modelagem)					Formato nativo				Versão (Plataforma BIM)				Nível de Desenvolvimento								
	Revit	Archicad	Building Design	Allplan	QI Builder	Outras Plataformas...	.rvt	.pln	.dgn	Outros Formatos...	2018	2019	2020	2021	Outras versões...	LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400	LOD 500	
	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-	-	-	X	-	-	-	-

Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD) - Conjunto de Requisitos							
Informações Gerais (regras)			Informações (Plataforma BIM)				Diretrizes de Modelagem
Regras	Descrição	Condição	Família de Componentes utilizados (Plataforma BIM)	Família de Sistema utilizada (Plataforma BIM)	Família Modelada no Local (Plataforma BIM)		
Regra 01	largura da faixa de pista deve ser 70,00m onde o código for 1 ou 2	largura da faixa de pista = 70,00m	-	Room / Space	-	1. Utilizar separador de ambientes 2. Criar ambientes no modelo com o nome "FAIXA DE PISTA" (Room) 2. Criar Spaces no modelo com o nome "FAIXA DE PISTA" (Space)	
Regra 02	a área de segurança de fim de pista (Runway End Safety Area - RESA) deve se estender a partir do final de uma faixa de pista a uma distância de no mínimo 90,00m	comprimento mínimo = 90,00m	Slab	Room / Space	-	1. Criar piso no modelo com o nome "RESA" 2. Utilizar separador de ambientes 3. Criar ambientes no modelo com o nome "RESA" (Room) 4. Criar Spaces no modelo com o nome "RESA" (Space)	

Figura 7
Quadro de Diretrizes de Modelagem (QD) – Informações Gerais/ Conjunto de Requisitos – módulo 02 da EC.

O QD possui dois quadros a serem preenchidos, o primeiro refere-se as informações gerais associadas a Plataforma BIM a ser utilizada para desenvolvimento do modelo, neste quadro haverá as seguintes informações: 1) Plataforma BIM utilizada, 2) Formato nativo da Plataforma BIM, 3) Versão utilizada para desenvolvimento do modelo e 4) Nível de Desenvolvimento do modelo BIM (LOD). Já o segundo quadro, refere-se as informações relacionadas ao conjunto de requisitos a serem verificados através da verificação automatizada de requisitos, neste quadro haverá as seguinte informações: 1) Listagem das regras, 2) Descrição das regras, 3) Condição para desenvolvimento das regras, 4) Família de componentes utilizados (Plataforma BIM), 5) Família de sistemas utilizada (Plataforma BIM), 6) Família modelada no local (Plataforma BIM) e 7) Diretrizes para desenvolvimento do modelo. A partir do preenchimento das

informações contidas no QD, foi desenvolvido um modelo BIM autorral multidisciplinar (Figura 8) de um aeroporto fictício na Plataforma BIM Autodesk Revit e exportado via IFC para o Solibri Model Checker (SMC) com intuito de realizar a instanciação das regras apresentadas nas Figuras 4 e 5.



Figura 8
Modelo BIM multidisciplinar (aeroporto).

Mediante o desenvolvimento do modelo BIM, foi possível seguir para o módulo 03 que refere-se a etapa de execução das regras, para este módulo foi concebida uma sub etapa destinada ao quadro de análise dos dados associados as regras (QAD). Mediante a transposição dos dados do QS criou-se um ambiente de análise de dados baseado em *business intelligence* no qual fosse possível analisar os dados através de relatórios e dashboards interativos, possibilitando que a equipe de analistas de PA identifique o perfil dos problemas associados aos requisitos contidos na EC, a Figura 9 apresenta um exemplo de QAD com as informações obtidas de um QS através do software Microsoft Power BI.

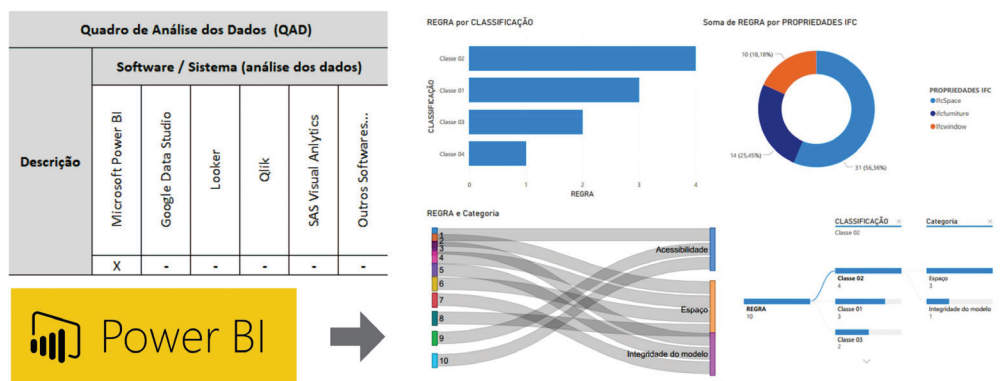


Figura 9
Quadro de Análise dos Dados (QAD)/Exemplo de um Dashboard interativo criado no Power BI – módulo 03 da EC.

Mediante a criação do QAD foi possível seguir para o módulo 04 que refere-se a etapa de relato do resultado de verificação automatizada de requisitos, para esta etapa foi concebida a sub etapa 01 que refere-se ao Quadro de Relato das regras verificadas (QR), o intuito desse quadro apresentado na Figura 10 é de poder instruir os projetistas a respeito dos itens atendidos e não atendidos. Para este artigo, foi

escolhido a exportação do relatório de verificação do SMC via formato *BIM Collaboration Format* (BCF) para o BIMcollab Cloud. É nesta etapa onde a equipe de analistas de PA deve disponibilizar o resultado da verificação automatizada para a equipe de projetistas de PA.

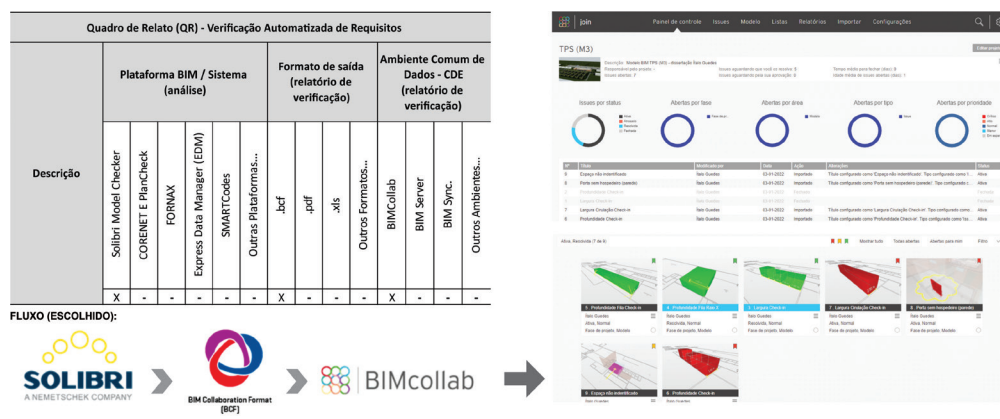


Figura 10
Quadro de Relato – QR (lado esquerdo)/ Resultado da verificação automatizada no SMC exportado via BCF para o BIMcollab Cloud (lado direito) – módulo 04 da EC.

Mediante a análise do documento de referência selecionado para desenvolvimento deste artigo (RBAC nº154) foi possível identificar uma série de requisitos dispostos nas 07 subpartes, e seus 08 apêndices distribuídos nas 258 páginas do documento de referência. É importante salientar que, no que se refere ao desenvolvimento de um projeto aeroportuário no Brasil, existe uma série de documentos e pré-requisitos normativos que norteiam os projetistas no momento do desenvolvimento de um projeto aeroportuário além do documento de referência analisado neste artigo.

5. Discussões

Os resultados apresentados neste artigo demonstram, de maneira prática, a viabilidade de uso da EC no processo de verificação automatizada de requisitos em projetos aeroportuários. A Figura 1 expôs a modulação proposta pelos autores, já a Figura 3 demonstrou a capacidade de adaptabilidade da EC para formar diferentes combinações através dos 04 níveis estabelecidos, permitindo que a EC possa ser instanciada em diferentes cenários, uma vez alterado o código associado a uma peça do “lego” é possível formar diferentes combinações da EC. A respeito da abrangência e flexibilidade da EC, conforme as 2 regras apresentadas nas Figuras 4 e 5 criadas a partir de uma combinação estabelecida (CE), foi possível demonstrar a aplicabilidade da EC em um projeto aeroportuário através da verificação automatizada de 2 requisitos no SMC. Os autores recomendam que a EC possa ser utilizada em pesquisas futuras considerando outros Documentos de referências (G.1), Disciplinas (G.2), Categorias de análise (G.3), Classificação de Regras [8] (G.4), Esquemas de Dados (G.5) e Sistemas / Softwares de análise (G.6). A EC concebida neste artigo visou beneficiar tanto as equipes de analistas de projeto aeroportuário quanto as equipes de projetistas promovendo a verificação automatizada de requisitos em modelos BIM de PA visando reduzir o tempo de análise, assim como, possibilitando uma maior padronização no processo de análise e aprovação de PA no Brasil.

Referências

- [1] J. Kasarda, New Urban Development at Around Airports. Presentation to CIFAL - Liverragind Airports for Economic Development Atlanta, EUA, 2006.
- [2] INFRAERO, Aeroportos Brasileiros. Aeroporto Industrial. Apresentação realizada pela Superintendência de Logística de Cargas da Diretoria Comercial – 1º Fórum Infraero de Logística para o Desenvolvimento, Goiânia, 2002.
- [3] R. Sacks, C. Eastman, G. Lee and P. Teicholz, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N. J.: Wiley, 2018.
- [4] B. Succar . Building Information Modelling Framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, v. 18, n. 3, pp. 357-375, 2009.
- [5] B. Succar. Episode 24 – Understanding Model Uses. BIM ThinkSpace, 2015. Disponível em:<<https://www.bimthinkspacECom/2015/09/episode-24-understandingmodel-uses.html>>. Acesso em: 10, janeiro 2022.
- [6] B. Succar, N. Saleb and W. Sher. Model Uses: Foundations for Modular Requirements Clarification Language, Australasian Universities Building Education (AUBEA 2016), Cairns, Australia, July 6-8, 2016. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/303013287_Model_Uses_Foundations_for_a_Modular_Requirements_Clarification_Language> Acesso em 10 janeiro, 2021.
- [7] C. Eastman, *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. Automation in Construction, v. 18, n. 8, pp. 1011-1033, 2009.
- [8] W. Solihim and C. Eastman. Classification of rules for automated BIM rule checking development. Automation in Construction 53, pp. 69-82, 2015.
- [9] T. March and F. Smith. Design and natural science research in Information Technology. Decision Suport Systems, v. 15, pp. 251-266 , 1995.
- [10] Manual de projetos aeroportuários [livro eletrônico]: volume único/[organização Marcio Mafli Fernandes, Leila Cristina Miateli Pires, Adriana Lima Rolim; ilustração Gabriel Córdova]. – 1. ed. – Brasília, DF: Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2021.

Revisão sistemática de guias BIM internacionais com vista à sua aplicação numa organização

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.17>

Seyedeh Aida Mirniazmandan¹,
José Carlos Lino², Miguel Azenha³

¹ BIMA+ Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-2820-370X

² BIMMS BIM Management Solutions, Porto, ID ORCID 0000-0002-1227-600X

³ ISISE – Universidade do Minho, Guimarães, ID ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo

O *Building Information Modelling* (BIM) tem provado trazer inúmeras vantagens à indústria da construção dentre as quais se pode mencionar a redução do custo e duração do projeto, bem como melhorias de desempenho em geral.

O aumento da disseminação da metodologia BIM e a necessidade de uma gestão de dados estruturada levou, conseqüentemente, à proliferação de publicações centradas no BIM. Foram desenvolvidos vários guias e normas em todo o mundo para facilitar a adoção e implementação BIM nas organizações. Estes documentos BIM abertos ao público contêm diretrizes, protocolos e requisitos que se concentram nos produtos, processos e fluxos de trabalho BIM e que podem minimizar as barreiras da implementação.

O foco deste trabalho consistiu em compilar os principais documentos de orientação BIM publicados ao longo da última década e apresentar uma avaliação qualitativa de 19 desses guias BIM, identificando os seus pontos comuns. Estes documentos são analisados ao longo de 17 tópicos principais que são na sua maioria cobertos pelos guias BIM, com vista à sua aplicação numa organização.

Palavras-Chave: Manual BIM; Guia BIM; Implementação BIM; Modelação de Informação na Construção (BIM)

1. Introdução

O BIM surge como resposta às crescentes exigências de interoperabilidade [1] e de maior eficiência na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) [2]. Existem, porém, ainda vários desafios e barreiras à adoção e implementação do BIM e vários estudos têm discutido estes obstáculos. Bui et al. [3] investigaram os obstáculos que impedem a implementação do BIM nos países em desenvolvimento e descobriram que a falta de normas e de especialistas é um dos principais entraves. Além disso, Ahmed et al. [4] salientaram, nas suas análises sobre o desempenho do BIM nas empresas AEC, a ausência de orientação para as organizações como um obstáculo à adoção e implementação BIM. Num outro estudo, Jamal et al. [5] categorizaram as barreiras BIM mais proeminentes em quatro fatores: Pessoas, Tecnologias, Processos e Políticas. A falta de padronização e protocolos e a falta de especialização estão entre as barreiras mais significativas contra a adoção do BIM em todo o mundo [6] [7].

Para ultrapassar estes obstáculos, têm sido publicados vários documentos contendo protocolos BIM indicando como os prestadores de serviços devem utilizar BIM e maximizar os benefícios desta metodologia. A adoção de protocolos irá criar uma visão partilhada dos processos de entrega de projetos e aumentar a consistência dos processos e a qualidade da informação e dos resultados do BIM para as partes envolvidas [8]. Vários investigadores listaram e analisaram os Guias BIM em todo o mundo. [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17]

O foco do presente trabalho é a análise crítica e sistemática de uma série de documentos BIM. Esta análise fornece recursos a entidades e profissionais que se encontrem em processo de desenvolvimento de documentos de orientação para o BIM.

2. Práticas atuais nos GUIAS BIM

A ISO/TS 12911 define o guia BIM como um documento que ajuda os utilizadores a alcançar os resultados pretendidos através da utilização de BIM [11]. Estes tipos de documentos são desenvolvidos para uma variedade de fins a diferentes níveis, como ilustrado na Figura 1. Em termos de autoria, são geralmente desenvolvidos em contexto governamental, organizacional ou de *software house*, com nível de detalhe crescente.

Os documentos que contêm protocolos e diretrizes BIM não têm uma definição única e consistente entre si. Estas disparidades resultam dos distintos contextos empresariais, dos seus objetivos e âmbitos de aplicação consoante a organização [12].

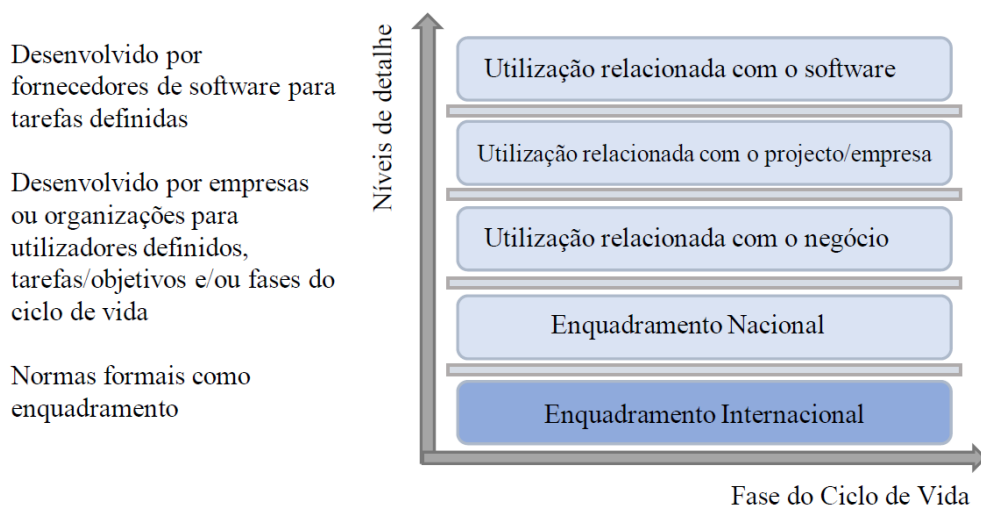


Figura 1
Desenvolvimento dos Guias BIM em contextos distintos [11].

Mesmo a designação para caracterizar estes documentos surge com distinta nomenclatura. A ISO/TS 12911 [11] menciona 'guia', 'diretriz', 'manual' como nomes para o documento de orientação BIM. Os nomes mais utilizados para os documentos de orientação publicados são guia, diretrizes, manual, protocolo, requisitos, norma, mandato e especificações do projeto. Estes termos são utilizados em conjugação com o acrónimo BIM e a maioria deles são permutáveis. Como exemplo, Kassem et al. [8] definiram os protocolos BIM como documentos ou instruções em formato textual ou gráfico (por exemplo, mapas de processo, fluxogramas, etc.), em papel ou em formato digital que fornecem passos ou condições detalhadas para alcançar um objetivo ou fornecer um resultado mensurável.

3. Revisão sistemática dos Guias BIM

3.1. Documentos analisados

O número de documentos de orientação para o BIM tem vindo a aumentar significativamente ao longo da última década. Para este estudo, foi compilado e revisto um conjunto de documentos de fontes internacionais, sendo que todos os documentos estão livremente disponíveis online. Na fase inicial da investigação, foi recolhida uma vasta gama de recursos principalmente da base de dados do buildingSMART '*BIM Guide Project*' que listava 126 documentos BIM à data de setembro de 2021 [18]. Estes documentos foram revistos e foram elaborados alguns critérios de análise para a identificação de um conjunto específico destes documentos. Os documentos que não se adequavam aos critérios de análise foram removidos.

O primeiro critério para a seleção da lista final de recursos para análise detalhada foi a sua data de publicação, que foi considerada a partir de 2012, para cobrir as publicações mais recentes no mundo BIM. Outro critério foi o tipo de documento, de forma a ser ao mesmo tempo descritivo e instrutivo. Muitas das diretrizes disponíveis apenas cobrem as partes estratégicas e de gestão do processo BIM, de modo

que não foram selecionadas para análise, uma vez que também se pretendia que o guia incluísse instruções específicas. Como último critério, o documento selecionado deveria cobrir os vários tópicos e não se concentrar apenas em questões limitadas, por exemplo, alguns guias estão centrados em objetos BIM, verificação de qualidade ou outros tópicos específicos, de modo que foram excluídos da lista. Foi aplicado um nível limite mínimo de 5 tópicos contemplados, excluindo-se todos os documentos que lidavam com menos de 5 tópicos.

No final, a partir destes 126 documentos listados pela buildingSMART [18] e outras fontes disponíveis online foi efetuada uma seleção de 19 guias publicados em 9 países diferentes para análise. A Figura 2 mostra a cronologia dos guias BIM selecionados que foram analisados em detalhe neste estudo.

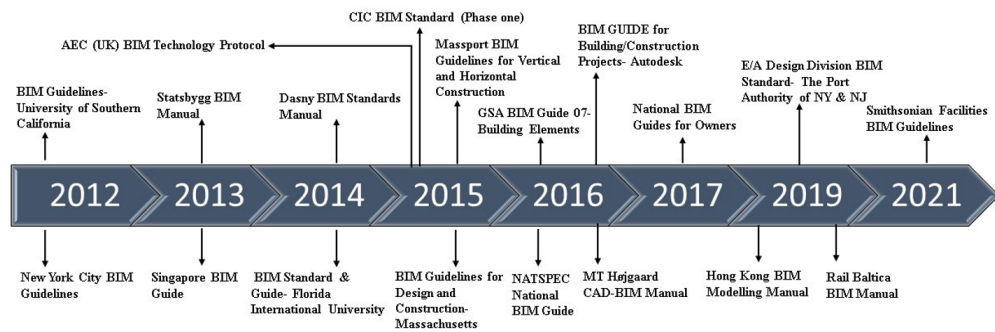


Figura 2
Cronologia dos guias BIM analisados.

A Tabela 1 apresenta os guias selecionados para a análise por ordem cronológica de publicação, juntamente com informações sobre a organização e o país de publicação.

	Título do Documento	Abreviatura	Organização que publicou	País	Ano
1	BIM Guidelines	USC	University of Southern California Capital Construction Development and Facilities Management services	EUA	2012
2	BIM Guidelines	New York	New York City Department of Design+ construction	EUA	2012
3	Statsbygg BIM Manual	Statsbygg	Statsbygg	Noruega	2013
4	Singapore BIM Guide	Singapore	Building and Construction Authority	Singapura	2013
5	Dasny Building Information Model (BIM) Standards Manual	Dasny	Dormitory Authority State of New York	EUA	2014
6	BIM Standard & Guide	FIU	FIU- Florida International University	EUA	2014
7	BIM Guidelines for Design and Construction	Massachusetts	Commonwealth of Massachusetts	EUA	2015
8	BIM Guidelines for Vertical and Horizontal Construction	Massport	Massachusetts Port Authority- Massport	EUA	2015
9	AEC (UK) BIM Technology Protocol	AEC (UK)	AEC (UK)	Reino Unido	2015
10	CIC BIM Standard (Phase one)	CIC	Construction Industry Council	Hong Kong	2015
11	CAD-BIM Manual - General Part	MT Højgaard	MT Højgaard	Dinamarca	2016
12	NATSPEC National BIM Guide	NATSPEC	Construction Information Systems	Austrália	2016
13	BIM GUIDE for Building/Construction Projects	Autodesk	Moscow Autodesk Consulting	Rússia	2016
14	GSA BIM Guide 07- Building Elements	GSA	U.S. General Services Administration	EUA	2016
15	National BIM Guides for Owners	NBGO	National Institute of Building Sciences	EUA	2017
16	BIM MODELLING MANUAL	DSD	Government of the Hong Kong Special Administrative Region	Hong Kong	2019
17	E/A Design Division BIM Standard	PANYNJ	The Port Authority of NY & NJ Engineering Department	EUA	2019
18	Design Guidelines BIM Manual	Rail Baltica	Rail Baltica	UE	2019
19	Smithsonian Facilities BIM Guidelines	SF	The Smithsonian Institution	EUA	2021

Tabela 1
Informação sobre os Guias BIM analisados.

3.2. Tópicos para Análise de Conteúdos

Em geral, os documentos selecionados cobrem um amplo espectro de tópicos. Esta amplitude está principalmente relacionada com as organizações que publicaram os guias e os seus requisitos. No entanto, foram observados vários pontos comuns, e alguns tópicos principais são cobertos em muitos deles, embora, em alguns documentos, sejam utilizados termos diferentes para se referir aos mesmos tópicos. Após cuidadosa revisão do conteúdo dos documentos, foram selecionados 17 tópicos para análise detalhada neste estudo, em que alguns são os tópicos principais e outros apareceram como subtópicos nos recursos estudados.

Os critérios de seleção destes tópicos foram a presença consistente dos tópicos na maioria dos documentos analisados. A inclusão de toda a gama de temas, desde os estratégicos aos mais técnicos, foi outro critério que foi considerado. (ver Tabela 2)

Tabela 2
Listagem e descrição
dos Tópicos
selecionados para a
revisão.

	TÓPICO	DESCRIÇÃO
1.	Procedimentos de modelação	Os procedimentos e passos necessários para modelar adequadamente no software e como estabelecer requisitos de modelação para assegurar modelos de alta qualidade.
2.	Normas e Classificações	Introdução das normas e classificações a serem seguidas ao longo de todo o projecto.
3.	Nomenclatura	Fornecendo directrizes para uma série de convenções de nomenclatura importantes, tais como nomenclatura de ficheiros, nomenclatura de pastas, nomenclatura de objectos, entre outras.
4.	Procedimentos de Colaboração CDE	Fornecer as estratégias para uma colaboração eficaz ao longo de todo o projecto.
5.	Plano de Execução BIM (PEB)	Define Plano de Execução BIM muitas vezes abreviado na literatura em inglês como BEP ou BxP como um "plano preparado pelos fornecedores para explicar como serão realizados os aspectos de modelação de informação de um projecto". [19]
6.	Lox	Lox é utilizado para referir os diferentes termos relacionados com os níveis de informação, de detalhe ou de desenvolvimento. Serve para estabelecer a quantidade adequada de detalhes dos modelos a fim de satisfazer os objectivos do projecto.
7.	Software e formatos de ficheiros	A introdução das ferramentas e formatos que são utilizados no projecto BIM.
8.	Estrutura de pastas	Fornecer uma estrutura exemplo para evitar confusão e poupar tempo.
9.	Objectos BIM	O objecto BIM é uma combinação de geometria 3D com os dados que descrevem esse objeto.
10.	Funções e Responsabilidades BIM	Definições e explicações para os papéis e funções necessárias num projecto BIM.
11.	Entregáveis	Os resultados que são esperados de um processo BIM.
12.	COBie	COBie é uma norma internacional que representa a Troca de Informações de Construção de Operações de Construção. É utilizado para a entrega de dados de produtos desde a construção até às operações.
13.	Deteção de Conflitos	É o processo de identificar se os elementos do edifício ou do ativo estão em conflito entre si.
14.	Usos BIM	Uma Uso BIM é definido como "um método de aplicação do BIM durante o ciclo de vida de um ativo para atingir um ou mais objetivos específicos" [20].
15.	Controlo de Qualidade	Os controlos de qualidade que asseguram modelos BIM precisos e completos.
16.	Estilos de apresentação	Este tópico está relacionado com a produção final de desenhos e a sua aparência para assegurar a sua consistência e qualidade.
17.	Software Template	Software template ajuda a padronizar as práticas de modelação ao longo de um projecto ou mesmo múltiplos projectos para uma organização, a fim de assegurar que o produto final se alinhe com os padrões industriais e organizacionais.

3.3. Análise dos dados

Os documentos analisados incluem uma quantidade significativa de conhecimentos especializados em BIM. A tabela 3 apresenta a matriz de comparação a cobertura e distribuição dos tópicos entre os guias BIM analisados. A intenção foi a de comparar com que frequência os tópicos são incluídos e com que grau de detalhe. Os tópicos analisados foram categorizados em 3 níveis: **Mencionado** significa que o tópico é meramente mencionado, mas sem detalhes específicos; **Detalhado** significa que o tópico é bem explicado; **Altamente detalhado** significa que o tópico é apresentado e detalhado de forma bastante profunda.

Para classificar a cobertura e grau de detalhe de cada tópico, em cada guia, foi atribuída uma pontuação para cada nível: Altamente detalhado = 5, Detalhado = 3, e Mencionado = 1.

Tópicos analisados		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Guias BIM		Normas e Classificações	PEB	Funções BIM & Responsabilidades	Usos BIM	Entregáveis	Lox	Controlo da Qualidade	Procedimentos de Colaboração	Deteção de Conflitos	COBie	Estrutura de Pastas	Nomenclatura	Estilos de Apresentação	Software e Formatos de Ficheiros	Software Template	Objetos BIM	Procedimentos de Modelação
1	BIM Guidelines- University of Southern California		3			3	1	1		1	3				1			1
2	New York City BIM Guidelines	1	1	1	5	3	3			1			3		1		1	
3	Statsbygg BIM Manual	1				3		3		5			3					5
4	Singapore BIM Guide		1	3	3	3		5	3									5
5	Dasny Building Information Model (BIM)Standards Manual		1			1	1			3		3	5		1		1	
6	BIM Standard & Guide- Florida International University	1	3	3	5	3	1				5	1	1		1			3
7	BIM Guidelines for Design and Construction- Massachusetts	3	3	5	5	1	3	1	3	3		3	3	1	3		1	5
8	Massport BIM Guidelines for Vertical and Horizontal Construction	1	3	3	3	1	3	1	3	1		3	3	1	1		3	3
9	AEC (UK) BIM Technology Protocol		1	3			3		3			5	5	3				5
10	CIC BIM Standard (Phase one)		1	3	3	5	1	1	1	1		3	3	1	1			3
11	MT Højgaard CAD-BIM Manual- General Part	1					1						3	3		3		5
12	NATSPEC National BIM Guide			5	5	3	3		3	1	1	1	1		1			1
13	BIM GUIDE for Building/Construction Projects- Russia Autodesk		3	3			5	3	3	5		3	5		3	1		5
14	GSA BIM Guide 07- Building Elements		5	1	1	1	3	5		3			3		1			3
15	National BIM Guides for Owners	3	1	1	5	3	1	1				1	1					1
16	Hong Kong BIM Modelling Manual						5	5			5	5	5	3	5			3
17	E/A Design Division BIM Standard- The Port Authority of NY & NJ		5	3	1	3	3	3	3	5		5	5		3	5		
18	Rail Baltica BIM Manual	1	3	5	5	5	3	5	5	5					5		3	
19	Smithsonian Facilities BIM Guidelines		5		3	5	3			1		1	5	5	3	3		5

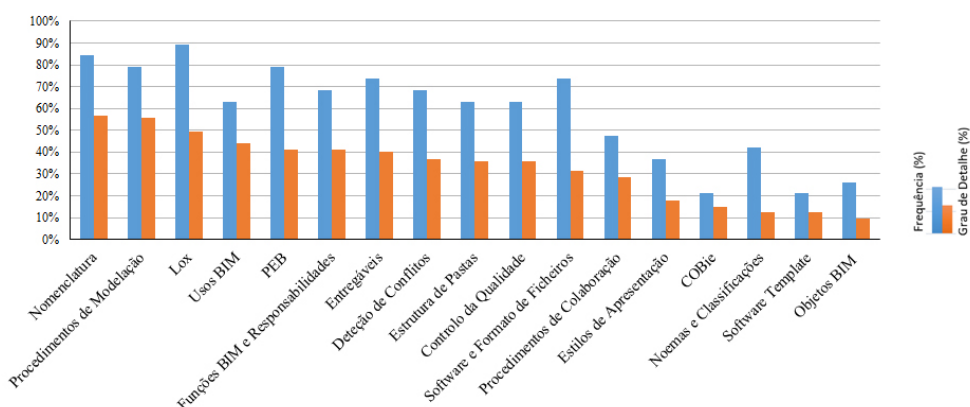
Tabela 3
Guias BIM e matriz de comparação de tópicos de revisão.

O resultado da investigação revela quantas vezes cada tópico foi coberto entre todos os guias BIM analisados e quão detalhada foi a menção a esse tópico. A Tabela 4 é o resultado da análise da matriz de comparação apresentada na Tabela 3 e mostra a Frequência e Grau de Detalhe de cada tópico. A Frequência corresponde ao número de guias em que o tópico é mencionado (máximo poderia ser 19 correspondente ao número de Guias). O Grau de detalhe foi calculado através da adição das respetivas pontuações (máximo poderia ser 95 correspondente a pontuação 5 em todos os 19 Guias).

Tabela 4

Frequência e grau de especificidade dos tópicos nos documentos analisados.

Tópicos	Frequência (0-19)	Frequência (Porcentagem)	Grau de Detalhe (0-95)	Graus de Detalhe (Porcentagem)
Nomenclatura	16	84	54	57
Procedimentos de Modelação	15	79	53	56
Lox	17	89	47	49
Usos BIM	12	63	42	44
PEB	15	79	39	41
Funções BIM e Responsabilidades	13	68	39	41
Entregáveis	14	74	38	40
Deteção de Conflitos	13	68	35	37
Estrutura de Pastas	12	63	34	36
Controlo da Qualidade	12	63	34	36
Software e Formato de Ficheiros	14	74	30	32
Procedimentos de Colaboração	9	47	27	28
Estilos de Apresentação	7	37	17	18
COBie	4	21	14	15
Noemas e Classificações	8	42	12	13
Software Template	4	21	12	13
Objetos BIM	5	26	9	9

**Figura 3**

Frequência e Grau de Detalhe de cada tópico (%).

Na Figura 3 apresenta-se num gráfico de barras, os resultados da Frequência e Grau de Detalhe, em percentagem, para melhor comparação.

De acordo com o resultado da análise, "Nomenclatura" e "Lox" foram os mais mencionados e apareceram em mais de 80% dos documentos revistos. Além disso, "Nomenclatura" e "Procedimentos de Modelação" com mais de 50%, são os tópicos que foram abordados com maior grau de detalhe.

Dos 17 tópicos analisados, 11 apareceram em mais de metade dos guias o que enfatiza a importância destes tópicos. Alguns tópicos incluindo "Objetos BIM" e "Software Template" apenas existiam em menos de 5 documentos. Isto pode ser justificado pela existência de documentos que se concentram exclusivamente nestes tópicos, como por exemplo a NBS BIM Object Standard [21]. A maioria dos guias não cobre vários tópicos técnicos e práticos em detalhe, limitando-se a mencioná-los.

4. Conclusões

Este artigo revê e analisa um conjunto de documentos relevantes emitidos a nível mundial durante a última década, para encorajar a adoção do BIM sob o formato de guias. Com este objetivo, foram revistas 19 publicações de Guias BIM de 9 países diferentes. Esta análise foi feita através da derivação de uma lista de 17 tópicos que aparecem em muitos dos guias. A partir da análise destes documentos, discutiu-se quais os tópicos que mais foram mencionados nos guias e se foram cobertos em pormenor ou não. O resultado da análise mostrou que "Lox", "Nomenclatura", "Procedimentos de Modelação" e "PEB" são os tópicos mencionados com mais frequência. Também revelou que "Nomenclatura", "Procedimentos de Modelação" e "Lox" são os tópicos que são abordados de forma mais detalhada nos 19 guias analisados.

Estes guias BIM são necessários para facilitar a compreensão e implementação do BIM. Esta é uma peça documental muito solicitada pelas organizações para poderem normalizar os seus processos internos e alinhar os conhecimentos e a aprendizagem dos seus recursos humanos em BIM.

Esta investigação apresenta uma compreensão ampla e estruturada desses Guias BIM disponíveis. Os resultados deste estudo fornecem uma visão para apoiar o desenvolvimento das futuras diretrizes BIM de organizações ou entidades, através da análise dos últimos guias BIM publicados em todo o mundo.

Agradecimentos

Agradece-se o apoio da Comissão Europeia através da Agência EACEA pelo apoio financeiro ao Mestrado Europeu BIM A+ que permitiu o financiamento de bolsa de estudo à primeira autora. Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de investigação "Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering" (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020.

Referências

- [1] NIBS, (2015). US National Building Information Modelling Standard, version 3. <https://www.nationalbimstandard.org/>
- [2] Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons. Third Edition.
- [3] Bui, N., Merschbrock, C., & Munkvold, B. E. (2016). A review of Building Information Modelling for construction in developing countries. *Procedia Engineering*, 164, 487-494.

- [4] Ahmed, S., Dlask, P., Selim, O. and Elhendawi, A., (2018). BIM Performance Improvement Framework for Syrian AEC Companies. *International Journal of BIM and Engineering Science*, 1(1), pp.21-41.
- [5] Jamal, K.A.A., Mohammad, M.F., Hashim, N., Mohamed, M.R. and Ramli, M.A., (2019). Challenges of Building Information Modelling (BIM) from the Malaysian architect's perspective. In *MATEC web of conferences* (Vol. 266, p. 05003). EDP Sciences.
- [6] Hamma-adama, M., Kouider, T. and Salman, H., (2020). Analysis of barriers and drivers for BIM adoption. *International journal of BIMa and engineering science*, 3(1).
- [7] Leśniak, A., Górka, M. and Skrzypczak, I., (2021). Barriers to BIM Implementation in Architecture, Construction, and Engineering Projects – The Polish Study. *Energies*, 14(8), p.2090.
- [8] Kassem, M., Iqbal, N., Kelly, G., Lockley, S., & Dawood, N. (2014). Building information modelling: protocols for collaborative design processes. *Journal of Information Technology in Construction*, 19, 126-149.
- [9] Cheng, J.C. and Lu, Q. (2015), "A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide", *Journal of Information Technology in Construction*, Vol. 20, pp. 442-478.
- [10] Kassem, M., Succar, B. and Dawood, N., (2015). Building Information Modeling: Analyzing Noteworthy Publications of Eight Countries Using a Knowledge Content Taxonomy. *Building Information Modeling*, pp. 329-371.
- [11] ISO/TS 12911, (2012). Framework for building information modelling (BIM) guidance. <https://www.iso.org/standard/52155.html>
- [12] Sacks, R., Gurevich, U., & Shrestha, P. (2016). A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 21(29), 479-503.
- [13] Edirisinghe, R. and London, K. (2015), "Comparative analysis of international and national level BIM standardization efforts and BIM adoption", 32nd International Conference of CIB W78, Oct 27-29, 2015, CIB, Eindhoven, The Netherlands, pp. 149-158.
- [14] Chae, L.S. and Kang, J. (2015), "Understanding of Essential BIM Skills through BIM Guidelines", in Tulio, Sulbaran (Ed.), 51st ASC Annual International Conference Proceedings, The Associated Schools Construction, April 22-25, 2015. p. 8, Texas A&M University.
- [15] Lea, G., Ganah, A., Goulding, J. S., & Ainsworth, N. (2015). Identification and analysis of UK and US BIM standards to aid collaboration.

- [16] Barkokebas, B., Hamdan, S. B., Alwisy, A., Bouferguene, A., & Al-Hussein, M. (2018). BIM Guidelines Review for Public Post-secondary Institutions. In ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (Vol. 35, pp. 1-8). IAARC Publications.
- [17] Ho, H. H. (2019). BIM standards in Hong Kong: Development, impact and future. In Proceedings of the Annual International Conference on Architecture and Civil Engineering.
- [18] BuildingSMART, 2021. BIM Guides Project. [online] Available at: <<http://bim-guides.vtreem.com/bin/view/Main/>> [Accessed 13 September 2021].
- [19] BSI, 2013. PAS 1992-2:2013: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- [20] Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). The uses of BIM. Classifying and Selecting BIM, Pennsylvania State University (9th version).
- [21] National BIM Standards (2019) NBS BIM Object Standard Version 2.1

Análise do uso da metodologia BIM nos órgãos públicos do estado do Ceará/Brasil

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.18>

**Geórgia Jereissati¹, José Cavalcante²,
José Oliveira³, Francisco Oliveira⁴**

¹ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2683-2748

² CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2205-9241

³ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0002-2417-9653

⁴ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-0089-3112

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto Estratégico com a referência UIDB/04008/2020.

Resumo

O Governo Brasileiro é o maior contratante de obras do setor e com o Decreto 10.306/20, estabeleceu a utilização do “Building Information Modelling” (BIM) na execução de obras e serviços de engenharia realizadas pelos órgãos e entidades da Administração Pública. Conseqüentemente, a Lei 14.133/21 estabeleceu a preferência pela utilização do BIM ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados, que venham a substituí-la nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, assim os profissionais do setor precisam se adequar. Este artigo visa apresentar um panorama da utilização do BIM nos órgãos públicos do estado do Ceará (Brasil), para minimizar os aditivos contratuais de preço e prazo. Realizou-se uma pesquisa bibliográfica e entrevistas em órgãos públicos do estado. Como resultado, apresenta-se que a maioria dos órgãos não estão preparados, mas se capacitando, comprando softwares para implantar o BIM e, conseqüentemente, cumprindo esta exigência legal. É notório que o setor de projectos, tanto do setor privado quanto público, não se encontra preparado, fazendo com que sejam criados inúmeros programas, que dizem utilizar BIM, sem fazê-lo e profissionais que são apenas desenhistas e não modelam, porém tem que se atualizar, a alavancar o setor.

1. Introdução

O “Building Information Modeling” (BIM) tem vindo a assumir o papel principal dentro do sector da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC). As suas vantagens têm sido descritas tanto por profissionais como por académicos, sendo que estas culminam num aumento de produtividade durante a execução do projecto e na diminuição de custos ao longo do ciclo de vida do empreendimento. [1].

O uso do BIM está a impulsionar tanto o setor privado quanto o governamental, que quer institucionalizar seus benefícios de entrega de projecto mais rápida e certa, além de aprimorar a qualidade de seus projectos e obras, além de ter custos e prazos mais confiáveis, evitando os aditivos contratuais, que muitas vezes geram obras inacabadas por falta de recursos.

A atual crise económica e ambiental em diversos países, fez com que as empresas procurassem maneiras para continuar mantendo seus clientes em um excelente padrão de qualidade e satisfação, com novos métodos para uma obra mais rápida, económica e sustentável [3], não sendo diferente no setor de obras públicas.

Inovações, como a metodologia BIM, surgem como uma solução, mas é apenas parte do processo de melhoria e sua sinergia com outras técnicas como o “Lean Construction” pode resultar em melhorias significativas no desempenho da indústria da construção. [4].(SANTOS ET AL, 2021)

Assim, o uso do BIM surge como um dos recursos para auxiliar empresas de engenharia e arquitectura a projectar e executar obras com maior índice de acertos, menor custo e menos imprevistos ao longo do processo, por isso o uso da metodologia BIM cresce a cada dia. [5].

A melhoria da qualidade dos projectos, com o auxílio do uso da tecnologia BIM, tem sido relatada em diversas pesquisas, tal fato motiva a sua adoção em vários países do mundo. [6]

Com o reconhecimento das potencialidades do BIM em obras públicas, o Governo Brasileiro desde 2018, com seu Decreto Nº 9.377, inicia a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM.

Portanto, este artigo tem como objetivo apresentar um panorama da implementação do BIM nos órgãos públicos do estado do Ceará. Para tanto, uma revisão de literatura foi somada à entrevistas com gestores de órgãos públicos do estado, a fim de mostrar a realidade do setor no Ceará.

2. Estado da Arte

2.1. "Building Information Modelling" (BIM)

O BIM é compreendido como um modelo virtual preciso de uma edificação, contendo dados relevantes e necessários para dar suporte à construção e incorporando funções necessárias para o ciclo de vida de uma edificação [7]. Também é o conjunto de ferramentas, tecnologias e processos que são auxiliadas por meio de uma máquina digital de leitura de documentação sobre um empreendimento, sua performance, seu planejamento, sua construção e seu funcionamento [8].

Na Figura 1, é possível observar o ciclo de vida de uma edificação, a partir da implantação de um modelo BIM. Pode-se concluir que a ideia inicial do ciclo começa com o conceito do empreendimento. Após esta etapa existe o estudo de viabilidade, na qual realizam-se análises críticas e possíveis alterações, definido dessa forma o conceito do projecto. Depois são geradas as documentações, com base nas informações já previamente parametrizadas, seguindo para a produção industrial e construção, que terá um acompanhamento com gerenciamento do tempo e do custo. Assim, é prevista a melhor logística para um eficiente andamento da construção. Finalizado a obra, segue o BIM orientando as operações e manutenções, que prosseguirão por toda vida útil do empreendimento, que pode passar por atualização, ou demolição, iniciando um novo ciclo de vida do projecto.

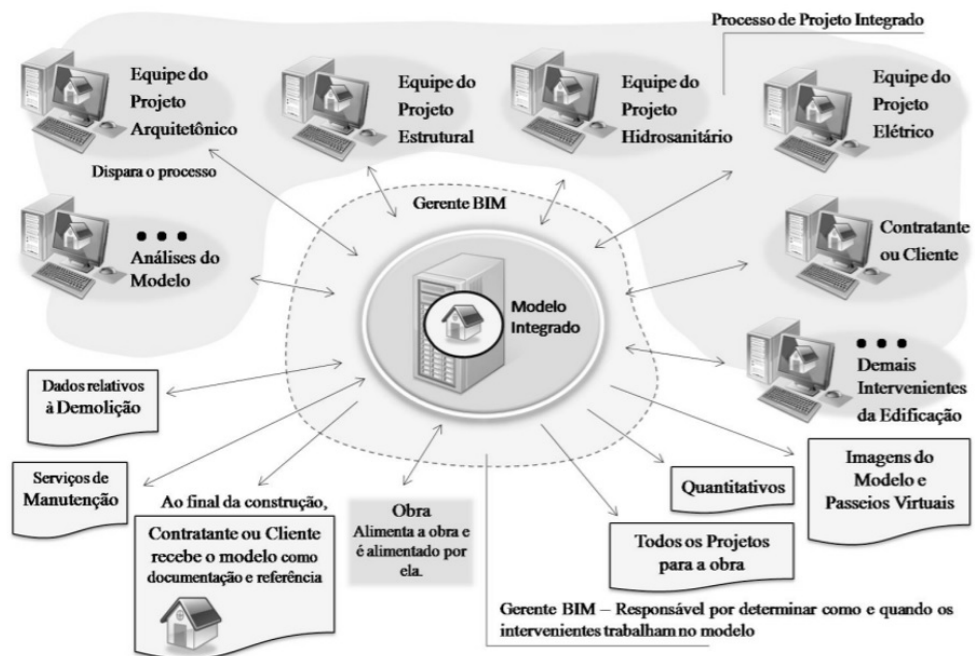


Figura 1
Uso e abrangência geral do Conceito BIM [9].

O uso do BIM traz benefícios desde a fase de concepção do empreendimento até a operação, por possibilitar uma visualização mais precisa do projecto, correções automáticas das mudanças feitas nele, geração automática dos desenhos 2D,

compatibilização das diversas disciplinas do projecto, extração automática dos quantitativos, sincronização com o planeamento e melhor gerenciamento e operação das edificações. [7].

Segundo [10], as dimensões do BIM são classificadas a seguir (Figura 2):

- **3D Modelagem:** acrescenta dimensão espacial à representação plana, permite visualizar os objetos em perspectiva. Pode-se detetar de interferências e conflitos entre as várias disciplinas de um projecto;
- **4D Cronograma:** informações referentes ao tempo são adicionadas. Permite definir datas de compra, armazenamento, preparação, instalação, utilização, etc. Possibilita planejar o canteiro de obras quanto à movimentação das equipas de trabalho, equipamentos, etc;
- **5D Orçamento:** essa dimensão trata de informações de custo de cada etapa da obra, alocação de recursos e o impacto no orçamento;
- **6D Sustentabilidade:** ajuda a realizar análises energéticas. É nesta dimensão que se introduz os aspetos que se referem ao gerenciamento de energia. Aqui se utilizam os *softwares* de simulações energéticas para assessorar nos ajustes dos modelos BIM, a fim de possibilitar aferições de atendimento às normas, ou certificações de edificações sustentáveis. [11].
- **7D Gestão das Instalações:** adiciona a dimensão de pós ocupação ao modelo. Permite ao usuário do empreendimento extrair informações de funcionalidade e características dos elementos para eventuais manutenções.
- **8D Segurança:** segundo [12].nesta dimensão é possível identificar os riscos oferecidos pelo ambiente de trabalho por ações individuais do trabalhador, sendo assim possível elaborar um local seguro, onde é possível seguir protocolos contra acidentes.
- **9D Lean Construction:** A produção enxuta, na qual tem-se a redução das perdas com a continuidade do fluxo de produção, além da padronização, alto nível de organização do trabalho, mecanização, dentre outros;
- **10D Construção Industrializada:** é a industrialização da construção, que permite a execução de produtos padronizados, com alta qualidade, na qual cria-se um ritmo de produção que propicia ordem ao ambiente de trabalho. O trabalho manual é substituído pelas máquinas, a fim de se obter uma maior produtividade. [13].



Figura 2
Dimensões do BIM [14].

Observa-se que para alcançar essas dimensões é preciso que ocorra a colaboração, parametrização e interoperabilidade, como requisito e o BIM seja entendido tal qual um processo. [13].

Os dados obtidos dos estudos de caso por [6] sugerem que o BIM é uma ferramenta eficaz em melhorar aspectos-chave da entrega dos projectos de construção, com benefícios positivos e negativos, conforme é apresentado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1
“Ranking” de critérios de sucesso do uso do BIM. Adaptado de [6].

Critérios de sucesso	Benefícios Positivos			Benefícios Negativos		
	Nº de Ocorrência	Nº Total de projectos	% Total de Projectos	Nº de Ocorrência	Nº Total de projectos	% Total de Projectos
Redução de custos ou controle	29	21	60,00	2	2	5,7
Redução de tempo ou controle	17	12	34,3	3	3	8,6
Melhoria da comunicação	15	3	37,1	0	0	0,0
Melhoria de coordenação	14	12	34,3	3	3	8,6
Aumento de qualidade ou controle	13	12	34,3	0	0	0,0
Redução dos riscos negativos	8	6	17,1	1	1	2,9
Esclarecimento do escopo	3	3	8,6	0	0	0,0
Melhorias da Organização	2	2	5,7	2	2	5,7
Problemas de <i>software</i>	0	0	0,0	7	7	20,0

2.2. Aplicação do BIM em obras públicas

O Governo Brasileiro, conforme retro citado, iniciou em 2018 a disseminação do BIM, através do Decreto nº 9.377, estabelecendo a Estratégia BIM, revogado posteriormente pelo Decreto nº 9.983/19, criando a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling no Brasil* - Estratégia BIM BR. instituída com a finalidade de promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no país.

Estabeleceu ainda, por meio do Decreto nº 10.306/20, a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da Administração Pública Federal. A nova Lei de Licitações Brasileira (Lei Federal nº. 14.133/21) ratifica o já colocado no programa anterior previsto na Estratégia BIM BR.

A Figura 3 apresenta o fluxo de implantação da Estratégia BIM Br, já a Tabela 1, o que foi estabelecido no Decreto no. 10.306/20.

**Figura 3**

Fluxo da implantação oficial.

1ª FASE	2ª. FASE	3ª. FASE
A PARTIR DE JAN/2021	A PARTIR DE JAN/2024	A PARTIR DE JAN/2028
<ul style="list-style-type: none"> Foco em projectos de arquitetura e engenharia para construções novas, ampliações ou reabilitações de grande relevância. Disciplinas estrutura, instalações hidráulicas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e elétricas. Extração de quantitativos e geração de documentação gráfica. Detecção de interferências e compatibilização. 	<ul style="list-style-type: none"> Execução direta e indireta de projectos e arquitetura e engenharia e na gestão de obras, reformas e ampliações ou reabilitações de grande relevância. Mesmas disciplinas e usos da etapa anterior. Orçamentação, controle da execução de obras e planejamento. Atualização do modelo e de suas informações como construído. 	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de projectos de arquitetura e engenharia e gestão de obras referentes a construção novas, reformas, ampliações e reabilitações de média ou grande relevância. Mesmos usos das etapas anteriores. O gerenciamento e a manifestação do empreendimento após a sua construção.

Tabela 2

Fase de Implantação Obrigatória do BIM no Brasil, com Decreto no. 10.306/20 Adaptado de [15].

Em termos de utilização na Administração Pública Federal, tem-se o Exército Brasileiro e a Petrobras, que têm empregado o uso do BIM em alguns de seus projectos. Além desses exemplos, o Banco do Brasil realizou, desde 2013, diversas licitações de projectos em BIM dentro do Programa Regional de Aviação. [6].

Quanto aos estados federados, vários já estão aplicando, tendo em vista que para receberem recursos públicos, precisam obedecer as diretrizes do Governo Federal.

Santa Catarina foi o pioneiro, publicou o Caderno de Apresentação do Projecto BIM, aborda os procedimentos adotados nas licitações para contratação de projectos e “As Built” em BIM.

Atualmente os estados de São Paulo, Rio Grande do Sul, Distrito Federal estão bem avançados no uso da metodologia nas obras públicas.

3. Metodologia

Inicialmente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica, a fim de embasar teoricamente o artigo. estudou-se a respeito das definições, decretos e Leis que regulam o ordenamento jurídico no que diz respeito às licitações de obras e serviços de engenharia, extraindo-se informações necessárias a realização da pesquisa.

Para atingir o objetivo principal deste, foram entrevistados representantes de 5 órgãos/empresas públicas, que atuam no estado do Ceará, a saber:

- Superintendência de Infra estrutura da Universidade Federal do Ceará (UFC),
- Tribunal Regional Eleitoral do Ceará (TRE/CE),
- Caixa Económica Federal (CEF),
- Controladoria Geral do Estado Ceará (CGE/CE) e
- Secretaria de Obras do Estado do Ceará (SOP/CE).

Na realização da pesquisa, foi utilizado um questionário, para conhecer o atual cenário do setor de projectos dos Órgãos Públicos, federais e estaduais, em relação à sua adaptação frente a implementação da metodologia BIM, onde aplicaram-se os seguintes questionamentos:

- a) Seu órgão utiliza a metodologia BIM em suas auditorias/projectos?
- b) Caso tenha respondido não, seu órgão pretende utilizar o BIM, se adequando ao pretendido pelo Governo Federal, e porquê?
- c) O funcionário técnico do setor tem conhecimento do BIM?
- d) Os funcionários que tratam com projectos estão sendo capacitados para utilizar programas como o Revit, Archicad, dentre outros?
- e) O(a) senhor(a) conhece algum órgão do estado do Ceará que já utiliza a metodologia BIM em seus projectos/obras?
- f) Existem expectativas por parte do seu órgão para as primeiras experiências de utilização do BIM a partir de 2022?

Ressalta-se que alguns projectos de Obras Públicas Estaduais possuem financiamentos oriundos de fontes (BID, BIRD, DNIT, dentre outros), que igualmente recomendam e em breve exigirão a adoção da Metodologia BIM para efeito de Prestação de Contas, por isso que foram entrevistados ocupantes de cargos públicos das esferas estaduais e municipais.

Com base nos resultados obtidos, realizou-se uma discussão sobre a implementação e aplicação da metodologia BIM, tendo em vista os benefícios deste na concepção de projectos e no ciclo de vida das edificações.

4. Resultados e Discussões

Após a aplicação do questionário, realizou-se a análise conjunta das informações. Salienta-se que em todos os órgãos entrevistados, as respostas em geral se repetem, como é apresentado na Tabela 3, a seguir:

Tabela 3
Resposta dos questionários aplicados.

Perguntas	Órgão 1	Órgão 2	Órgão 3	Órgão 4	Órgão 5
Pergunta a	Não	Não	Não	Não	Não
Pergunta b	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pergunta c	Sim, básico	Sim, básico	Sim, superficial	Sim, Superficial	Sim
Pergunta d	Sim, desde 2018	Sim, desde 2020	Sim, desde 2021	Sim	Sim
Pergunta e	Não	Não, mas já foram recebidos projetos de combate a incêndio de uma edificação em dezembro/2021	Não	Não	Não
Pergunta f	Sim 2022	Sim, 2022	Sim, 2022	Não	Não

Vale ressaltar que a SOP faz uso de licenças do pacote Autodesk AEC - Suite *Autodesk Architecture, Engineering & Construction Collection*, a CGE não possui nenhum *software*, as demais não informaram.

O TRE/CE cita que já receberam um projecto em BIM, de combate a incendio do Fórum Eleitoral de Fortaleza, salienta que não foi um projecto contratado com exigência em BIM, porém a empresa vencedora é formada por jovens engenheiros, que já trabalham dessa forma, corroborando o que é notório, as universidades atualmente, já utilizam majoritariamente os *softwares* BIM, como é o caso da UFC, em seu curso de arquitetura, no qual nem ensina mais os alunos o AutoCAD, em suas cadeiras de desenho por computador, que é o programa mais usado entre os projetistas mais antigos, que só utilizam.

Os cinco órgãos entrevistados nenhum utiliza a metodologia, porém todos estão em fase de implantação da metodologia BIM em seus setores de projectos e fiscalização de obras, conforme apresentado na Figura 4.

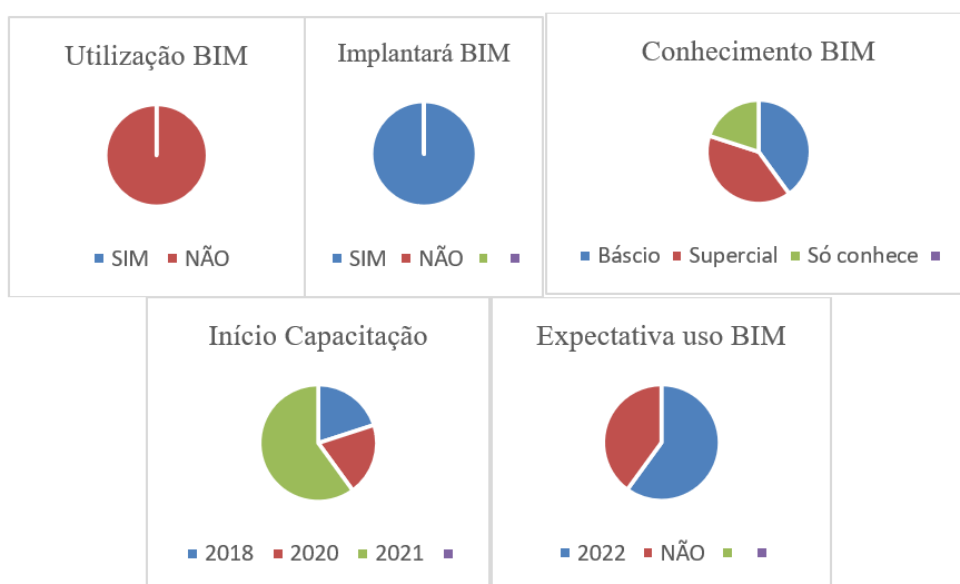


Figura 4
Gráficos apresentando as respostas dos entrevistados.

De todos os órgãos estudados, o que mais está avançado é a UFC, tendo em vista que desde 2018 está a capacitar seus servidores, como apresenta [17], a universidade que possui mais de 250 imóveis, estabeleceu no Plano de Desenvolvimento Institucional o objetivo estratégico de implantar o BIM nos processos de elaboração de projectos e orçamento para ampliar a colaboração e precisão das informações entre projecto/obra. O setor responsável pela infraestrutura da UFC é a UFCInfra, a qual pertence um destes autores, desde 2016 vem tentando aplicar iniciativas para a implementação do BIM, através da parceria entre o seu setor de Coordenadoria de Projetos e Obras (CPO) e o Laboratório de Experiências Digitais da LED-UFC [17].

5. Conclusão

O Governo Federal por se tratar de um dos maiores contratantes de obras públicas do Brasil, passando a exigir em seus projectos de obras e serviços de engenharia o uso de softwares com a metodologia BIM, incentivará a sua disseminação, de modo que todos os agentes do setor, como fiscais, projetistas de engenharia e arquitectura terão que capacitar-se, tornando-se um instrumento de fomento de novos mercados, servindo ainda para preparar o setor nacional para a competição internacional em uma área considerada estratégica no novo cenário econômico mundial.

Através do desenvolvimento do presente estudo, foi possível entender os conceitos envolvidos no uso da metodologia BIM em projectos dos órgãos públicos do estado do Ceará. Além disso, torna-se perceptível a forma com que o poder público está tentando adaptar-se as evoluções que ocorrem e transformam a realidade da cadeia produtiva da construção civil, demandando assim a busca por conhecimento e adaptação por parte dos profissionais responsáveis, principalmente dos gestores.

Salienta-se que todos os órgãos estudados compatibilizam seus projectos, porém manualmente. Percebe-se a importância da etapa de compatibilização para evitar retrabalho e desperdícios na fase de construção/reforma. Contudo, tal etapa utilizando o método tradicional 2D torna-se um processo exaustivo e complexo, e com o uso da metodologia BIM o processo se torna mais rápido, preciso, trazendo assim vários benefícios para o setor.

A metodologia BIM tem potencial para auxiliar nas principais atividades de toda a vida útil da edificação, seja ela pública ou privada, pois proporciona informações mais qualificadas, que auxiliam o controle e exigências, conforme salienta [6], para controlar e exigir o cumprimento de contratos, aumentando a probabilidade de executar obras com melhor qualidade e aderentes a preço e prazo contratados.

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I. P., no âmbito do Projeto Estratégico com a referência UIDB/04008/2020.

Referências

- [1] TABORDA, Paulo; CACHADINHA, Nuno. BIM nas obras públicas em Portugal: Condicionantes para uma implementação com sucesso. In: Congresso Construção 2012. ITeCons, 2012. pp. 1-14.
- [2] D. C. Barbosa, E. A. Gomes, H. S. Fermino, I. E. Morais, I., J. F. Simões, V. M. Vieira, V, “ Construção Modular em Estrutura Metálica com Adequação ao BIM 10D”, Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Judas Tadeu, Minas Gerais, Brasil, 2021.

- [3] J. B. P. D. Filho, L. F. Cândido e J. P. Barros Neto, "Sinergia entre construção verde, construção enxuta e BIM para internacionalização da construção: Uma revisão sistemática da literatura", in *XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, São Paulo: ANTAC, São Paulo, Brasil, 2016, pp. 74-85.
- [4] D. M. Santos, F. J. Piacente, J. M. S. das Neves, M. M. de Azevedo. "Estudo comparativo da implementação da Modelagem da Informação da construção em obras públicas no Brasil e no Reino Unido". *Research, Society and Developmen*, vol. 10, n. 1, pp. 1-13, 2021, doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11686>.
- [5] A. C. M. Barbosa, "A metodologia BIM 4D e BIM 5D aplicada a um caso prático Construção de uma ETAR na Argélia", Tese de Mestrado, Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2014.
- [6] A. C. O. Miranda, and C. R. de Matos, "Potencial uso do BIM na fiscalização de obras públicas". *Revista do TCU*, vol. 133, pp. 22-31, Maio/Agosto 2015. url: <https://revista.tcu.gov.br/ojs/index.php/RTCU/article/view/1302>.
- [7] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação*. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2014.
- [8] E. R. Santos, T. M. P. Duarte e M. S. Salgado, "Gestão de equipes no processo de legalização de projectos de edificações utilizando a plataforma BIM", in *XVI ENTAC (2016)*, ANTAC, São Paulo, Brasil, 2016, pp. 3255-3264.
- [9] M. A. S. HIPPERT, T.T. Araujo, "A contribuição do BIM para representação do ambiente construído", in: *ENANPARQ (2010)*, Rio de Janeiro, Brasil, 2010, pp.1-20, url: <https://www.anparq.org.br/dvd-enanparq/simposios/173/173-739-1-SP.pdf>.
- [10] C. W. Comarella, E. V. Ferreira, R. K. Silva, "Níveis de Desenvolvimento BIM de Guias Nacionais e Internacionais – Estudo De Caso", Trabalho de conclusão de curso, Curitiba, Universidade Positivo, Curitiba, Paraná, Brasil, 2016.
- [11] M. E. Amorim, R. T. H. Feuerharmel, A. L. P. Abreu, "Avaliação do desempenho energético nas etapas iniciais de um processo BIM de um projecto público", in IX ENSUS, UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 2021, pp. 470-481.
- [12] I. Kamardeen, "8D BIM modeling tool for accident prevention through design", in *26th annual ARCOM conference. Leeds: Association of Researchers in Construction Management (2010)*, Leeds, UK, 2010, pp. 281-289.
- [13] C. E. M. Gomes; A. L. Vivan; E. P. Sichieri e J. C. Paliari. "Light Steel Frame: Construção industrializada a seco para habitação popular: Práticas sustentáveis", in *Encontro Latino Americano de edificações e comunidades sustentáveis (2013)*, Curitiba, Paraná, Brasil, 2013. doi: 10.12702/978-85-89478-40-3-a022.
- [14] J. Dairós, "Guia Completo: BIM 10D construção industrializada", *Utilizando BIM, Building Information Modelling: D's do BIM*. Florianópolis, 24 julho 2019.

- [15] BRASIL. Decreto nº 10.306 de 2 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – Estratégia BIM BR. Brasília, DF, 2020. url: <http://www.in.gov.br/web/dou/-/decreto-n-10.306-de-2-de-abril-de-2020-251068946>.
- [16] SANTA CATARINA, *Caderno de especificações de projectos em bim*, 2018, Governo do Estado de Santa Catarina, Brasil. 2018, url: https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/labim/Caderno%20de%20Especificaca%C3%A7%C3%B5es%20de%20Projectos%20em%20BIM_102018.pdf.
- [17] N. M. S. Romcy, D. R. Cardoso e M. M. X. de Lima, “Implementação do BIM em obras públicas: a experiência na UFCInfra”. In: *Encontro Nacional Sobre O Ensino De BIM* (2019), Fortaleza, CE, Brasil, 2019, p.1-1, url: <https://eventos.antac.org.br/index.php/enebim/article/view/246>.

Transformação do processo de Clash Detection em Clash Avoidance

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.19>

Vasco Castro¹, Carlos Moreira¹

¹ A400 Consultores e Projetistas de Engenharia, Porto

Resumo

A solidificação da metodologia BIM na indústria da construção depara-se cada vez mais com novos desafios. À medida que a atual diversificação de processos e ferramentas conferem uma maturidade digital mais eficiente do que com métodos tradicionais, permitem igualmente o reconhecimento das vantagens da metodologia nas diferentes partes interessadas, envolvidas nas diferentes fases do projeto de construção. Estes intervenientes são na generalidade dos casos, diferentes equipas responsáveis por diferentes disciplinas com construção de informação em *softwares* distintos. O BIM é o elemento agregador de informação nesta multidisciplinaridade dinâmica onde se processa e troca, durante o período de projeto, grandes amplitudes de informação diversificada entre os diversos intervenientes. Esta dinâmica reclama um processo de comunicação eficiente, centralizado e em constante atualização para comunicar de forma eficaz as questões a todos os *stakeholders* em tempo útil.

Neste contexto de coordenação de projetos entre as várias disciplinas, softwares com capacidade de verificação de colisões, ajudam-nos a identificar e rever conflitos, no entanto num contexto de produção multidisciplinar é necessário mitigar a entropia e sobrecustos desajustados inerentes à centralização da comunicação das mesmas no seio da coordenação e promover condições internas de intercomunicação e resolução de conflitos no contexto de produção.

No seguinte documento vamos acompanhar a evolução do processo de deteção de incompatibilidades na organização, que sofreu uma profunda transformação ao longo do tempo, desde a criação de processos automatizados em *Dynamo*, que transformam a informação do *Navisworks* em elementos localizáveis em *Revit*, até à implementação de programas que centralizam a comunicação entre os vários intervenientes de projeto, auxiliando na identificação de *issues*, permitindo um campo de ação mais ativo.

1. Introdução

Com a solidificação da metodologia BIM e otimização dos processos torna-se premente a simplificação dos procedimentos em geral. Embora as atividades de compatibilização de especialidades e coordenação pautados em BIM sejam manifestamente mais eficientes quando comparados com os métodos tradicionais, há ainda um espaço a ser percorrido para que eles atinjam um maior nível de digitalização. Os processos de comunicação não são completamente integrados e automatizados, o que origina que a informação navegue por diferentes plataformas, cruze diversos intervenientes, com intervenções manuais suscetíveis a erros e que podem consumir muito tempo.

Esta necessidade reclamava pela otimização de *workflow* e recursos para a compatibilização de projetos tanto entre as engenharias assim como com a Arquitetura.

No arranque de cada projeto, do processo implementado, era coordenado entre as várias especialidades uma matriz de prioridades. Nesta matriz são esclarecidas as necessidades de cada especialidade assim como a relação de prioridades entre cada uma delas. Estas premissas iniciais, aliadas ao elevado grau de maturidade na modelação, onde os modelos estão em constante partilha e “visíveis” durante todo o processo de modelação, permite a construção de modelos com os cuidados a evitar colisões com as restantes especialidades integradas.

Com o desenvolvimento do projeto é também amplificada a imposição de uma boa integração entre todas as especialidades de engenharia e arquitetura. Esta exigência, que é variável em função da complexidade do projeto e aumenta com as diferentes fases de desenvolvimento do mesmo, recai sobre a coordenação.

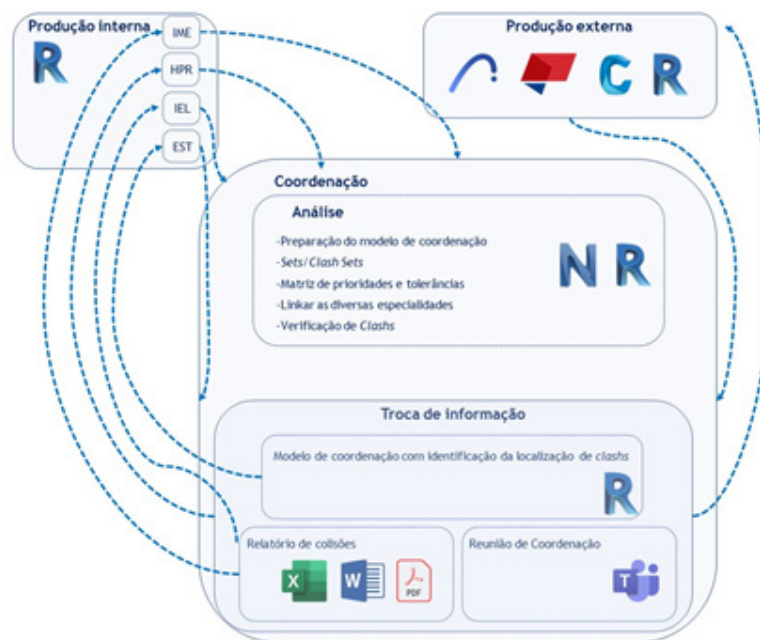


Figura 1
Workflow inicial aplicado na organização.

O departamento de coordenação, na ótica da garantia da boa integração e deteção de incompatibilidades, determinou 3 níveis de verificação, estando cada um orientado em diferentes pontos e aumentado o critério com o desenvolvimento do mesmo.

O processo implementado era centralizado em um único departamento (Coordenação), capaz de realizar uma deteção eficaz e massiva das incompatibilidades, no entanto, aí também residia um dos problemas detetados neste processo. A atividade materializada das colisões, assente na metodologia de realização do *clash detection*, era comunicada unicamente a partir do departamento de coordenação, por vezes em fases demasiado tardias para o processo. A partilha de informação e as correções associadas ao trabalho de *clash detection* era pouco ágil, demorada e ineficaz, já que não conseguia acompanhar as necessidades do projeto. A comunicação interna era bastante complexa e ainda mais dificultada quando realizada com equipas externas.

Em projetos com colaboração externa, os principais problemas eram discutidos nas reuniões multidisciplinares entre arquitetos, engenheiros, dono de obra de onde resultavam os registos e as soluções dos macroproblemas identificados. Ora, questões menores eram deixadas de fora do alcance da reunião. Essas questões têm o potencial de criar inércia ao desenvolvimento do projeto e têm impactos significativos nos fatores tempo, custo e qualidade do projeto. Mesmo para os problemas principais, para projetos de escala significativa, poderá tornar-se praticamente impossível abordar e manter um registo de todos os *issues*. Além disso, localizar esses problemas num modelo tridimensional era uma tarefa complicada.

Outro assunto identificado centrava-se no reconhecimento de algumas questões sistémicas para quem analisava os *clashes*, mas estes não eram perceptíveis nem quantificados por quem desenvolvia o projeto.

Assim, ficou claro que existiam três necessidades que deveriam ter resposta:

- 1 – Melhorar a capacidade de processar informação.
- 2 – Como comunicar de forma ágil, facilitada e obter resultados em relação a mesma.
- 3 – Como mitigar a sistematização das colisões (*clash avoidance*).

A estratégia adotada permite comunicar mais cedo, mais rápido, mais facilmente e levando à resolução e resposta de modo ágil e facilitada ao projetista. A ferramenta adotada é capaz de comunicar através de protocolo aberto (BCF para a comunicação de informação), resolvendo uma contrariedade, uma vez que a utilização de vários programas de modelação é cada vez mais generalizada no forro interno assim como com as arquiteturas e demais participantes externos. Esta informação passou a ser partilhada de maneira bidirecional, expedita e descentralizada do departamento de coordenação. Permite que adversidades iniciais ao projeto sejam identificadas e comunicadas entre especialidades numa plataforma centralizada. Esta informação está agora disponível desde a fase inicial para os projetistas, gestores do projeto e/ou cliente que podem também usar a plataforma para visualização e aferição.

Consideramos que o nível de maturidade da informação processada por 3 níveis de verificação era o ideal e decidiu-se que seria mantido o *Navisworks* como principal ferramenta para a deteção dos *clash detections*. A comunicação é constante e imediata entre a coordenação que realiza o *clash* e os dois ou mais intervenientes, estando todas as situações devidamente registadas, priorizadas e com responsáveis atribuídos.

Os principais *deliverables* deste processo são partilhados numa plataforma de comunicação centralizada, estimulando a agilidade na identificação dos *issues* e respetiva localização no programa de modelação (abrangente a praticamente todas as softwares houses por ser baseada em BCF), facilitando a sua resolução, sem necessidade de sair do ambiente de modelação do software usado e, a partir deste, reportar diretamente junto de todos os outros intervenientes. Assim, o processo para o projetista/modelador fica acessível no seu software de modelação e não em vários programas e rotinas assim como emails, versões de relatórios e reuniões usados para a comunicação.

Adicionalmente, o amadurecimento deste processo permitiu iniciar uma rotura com a estratégia meramente corretiva do processo de *clash detection* e direcionou-se o foco para implementação de uma estratégia de prevenção assente no *clash avoidance*. Esta estratégia assenta em data *analysis* dos dados obtidos nas análises em diferentes fases de inúmeros projetos para perceber quais as problemáticas mais frequentes e relevantes para desenvolver mecanismos para as antecipar e evitar em projetos futuros, através de sessões de formação e revisão dos processos colaborativos.

2. Clash detection – processo inicial

Os processos de clash detection na A400 assentam em mecanismos de organização entre ficheiros preparados única e exclusivamente para coordenação. Esta metodologia assenta em Revit, Navisworks e aplicativos Dynamo para assegurar a localização e trocas de informação. Processo que se revelou inflexível quando existiam outros formatos.

De modo a garantir uma análise coerente, constante e transversal em todos os projetos foi necessário a implementação de uma matriz de colisões, assim como templates que definem os momentos de importância entre as várias fases de projeto e relação entre as várias especialidades, garantindo uma análise pragmática dos modelos. A matriz de colisões utilizada foi desenvolvida em três níveis que variam desde os elementos a analisar até o grau de detalhe/tolerância a que se propõem.

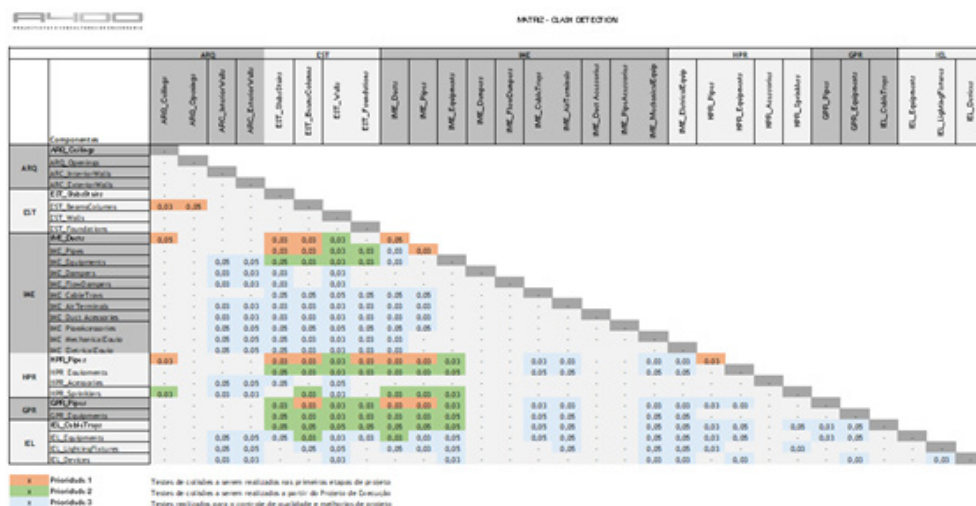


Figura 2 Matriz – Clash Detection.

A atividade de análise e compatibilização implementado, é um processo executado isoladamente e apenas com um interveniente até à partilha/final e distribui-se por três fases distintas: Fase de preparação, fase de análise e fase final. Findado este período e existindo correções volta a repetir-se o ciclo, mostrando-se pouco eficiente na gestão da informação e recursos. Nos capítulos seguintes, descreve-se o processo inicial para demonstração e uma melhor compreensão do que existia.

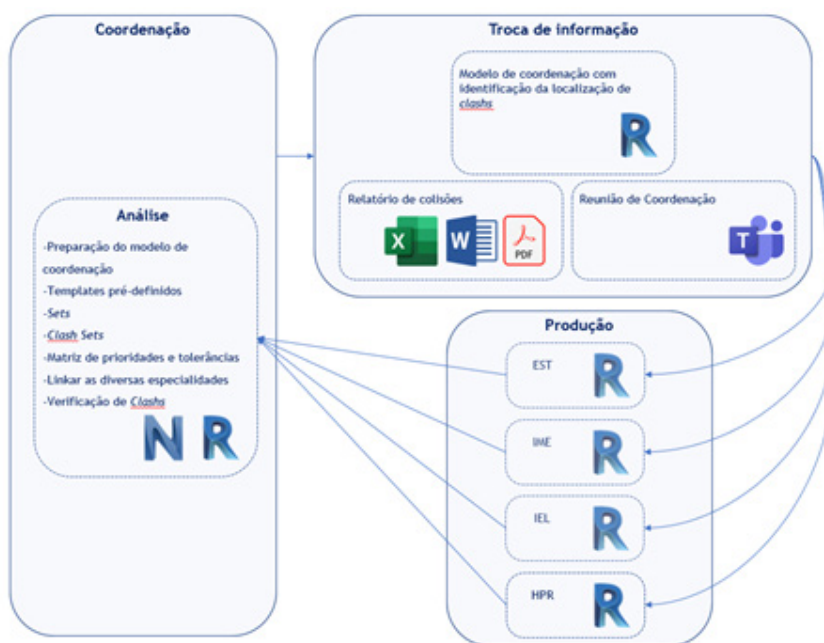


Figura 3 Imagem da troca de informação inicial.

2.1. Fase de preparação

Na fase de preparação é necessário isolar cada especialidade, a partir do modelo de coordenação, e exportar para um ficheiro NWC (Navisworks Cache File) que serve de leitura para o programa. De seguida é criado um ficheiro NWF (Navisworks File Set),

onde são inseridos os links NWC criados a partir do *REVIT* e importados os *templates* necessários para realizar os testes de colisões: *Template de Clash Tests*, devidamente criados e verificados pela A400, a partir de uma matriz meticulosamente estudada; *Template Sets* de cores para atribuir uma melhor visualização às especialidades.

2.2. Fase de análise

Após a realização das colisões tinha lugar a fase de análise, começando-se por uma inspeção visual ao modelo. Esta fase é maioritariamente caracterizada por verificar as colisões existentes, designando a equipa responsável por resolver a partir de comentários e imagens. No fim, é exportado um relatório de imagens (Viewpoints Report) do *Navisworks*, que é usado para a criação de um relatório com a informação final para as equipas.

2.3. Fase final/comunicação

A última fase passa pela troca de informação com as equipas numa reunião de coordenação entre especialidades e/ou Arquitetura. São apresentados, demonstrados visualmente e discutidos os principais problemas, dúvidas e indicadas possíveis resoluções.

Adicionalmente é criado e partilhado com as equipas um modelo *REVIT* onde é inserido automaticamente a localização dos *clashes* analisados. A partir de um aplicativo em *Dynamo*, são gerados uns objetos indicativos dos locais com os “clash” a serem resolvidos por cada equipa. A informação é organizada e manipulada em *tabelas* pré-concebidas e aplicação de filtros, onde são estruturadas por grau de gravidade, especialidade, se está resolvida ou em resolução.

Cada projetista ao receber o modelo link terá de filtrar as questões pela sua especialidade e limitar a sua ação às colisões que foram atribuídas, copiar para o seu modelo, aferir a boa transmissão e solucionar cada questão dando o input em cada objeto, que posteriormente envia para o coordenador BIM do *clash detection*.

Periodicamente os modelos atualizados são novamente linkados no *Navisworks*, para validar a resolução dos *clashes*.

A deteção de incompatibilidades, *Clash Detection* define-se como uma sinergia circular entre especialidades, assentes em análises metódicas de inspeção, comunicação constante e pertinente entre equipas impondo que este seja transformado num ativo significativamente melhorado e otimizado.

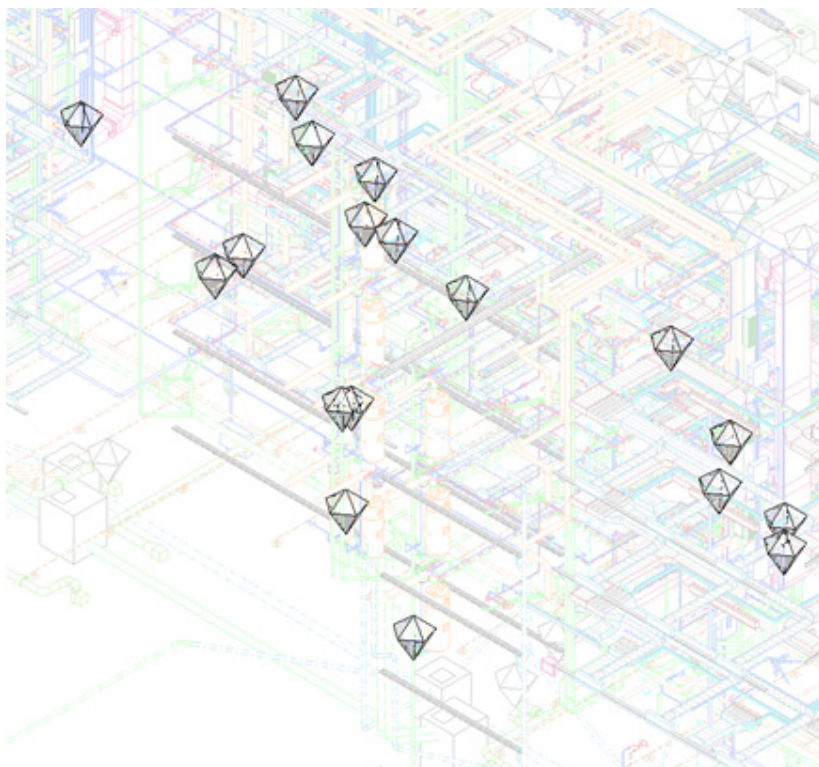


Figura 4
Imagem ilustrativa dos diamantes dentro do modelo REVIT.

2.4. Análise do processo inicial

O *back and forth* existente torna-se bastante complicado, especialmente quando as especialidades necessitam de assinalar colisões que não conseguem resolver e há necessidade de transmitir a informação horizontalmente entre os diversos departamentos. Esta comunicação é agravada quando o projeto se encontra num processo colaborativo com entidades externas.

A localização das colisões no modelo de trabalho, no caso da organização onde o *Revit* é predominante, é funcional uma vez que permite o projetista encontrar visualmente a localização das incompatibilidades. No entanto, adiciona mais elementos a ficheiros que já são massivos a nível de informação.

No desenvolvimento natural do projeto, a gestão dos ficheiros de *clashes* previamente identificados exigia uma organização pragmática de todos os departamentos envolvidos para a correta manutenção das versões dos ficheiros de colisões.

Na generalidade, existe um processo de leitura e análise extremamente desnecessário, criando uma entropia enorme entre a coordenação e os restantes intervenientes. Com isto, o tempo despendido é considerável, traduzia-se num processo árduo, inflexível na responsabilidade do registo de colisões e com informação bloqueada no departamento de coordenação, o que originava em certos momentos, o recurso a outros métodos não *standard*.

Da mesma forma, criar uma análise preventiva torna-se praticamente impossível dado o desmedido número de dados necessários a serem preenchidos manualmente para uma base de dados. Embora estes métodos automáticos construam características interessantes do ponto de vista da criação de processos, estamos limitados a criar uma gestão eficiente na prevenção da compatibilização.

3. Clash avoidance – processo atual

Sendo a coordenação uma das chaves nos processos internos de projeto da A400, a atividade de *clash detection*, orientado para a mitigação das colisões, e os processos inerentes, de transmissão competente de informação e comunicação hábil, tornam-se um elemento de trabalho capital para um projeto coordenado e eficiente. As notórias adversidades nos processos da organização nas trocas de informação e acima de tudo na comunicação entre os mais diversos participantes, tornaram-se então o principal foco na melhoria dos processos de compatibilização.

Adicionalmente, é também objetivo conseguir evitar e minimizar erros reiterativos, afinal é fulcral uma filosofia de trabalho assente em melhorar os processos de modelação, com o intuito de potenciar a cultura de *clash avoidance*. O que se entende por *clash avoidance*, é o processo proactivo colaborativo em que nas várias etapas as decisões são executadas para minimizar conflitos semânticos nos modelos das várias especialidades e fomentar uma troca mais direta de informação entre os vários departamentos.

Era notório que o foco não é atuar na capacidade de resolver inúmeras colisões em poucos dias, mas sim mitigar e priorizar as incompatibilidades para resolver ao longo do tempo de desenvolvimento do projeto. Para isto ser viável, do ponto de vista organizacional, foi necessário implementar um sistema de comunicação centralizado, mais direto, assente em premissas *openBIM*, e que acima de tudo permita prematuramente a prevenção das colisões em torno do modelo. Esta metodologia deverá ser capaz de comunicar tanto verticalmente como horizontalmente, já que anteriormente a informação estava demasiado inacessível.

As premissas para a solução necessária eram claras:

- Permitir uma comunicação direta e registada entre todos os intervenientes;
- Assente em protocolos abertos para assim permitir a comunicação independentemente do *software*;
- Comunicação a ser realizada diretamente do *software* de modelação;
- Possibilidade de visualização do modelo online de uma maneira leve, fácil e intuitiva.

3.1. Plataforma de comunicação – BIMCollab

A ferramenta escolhida para adotar a filosofia de trabalho foi o BIMcollab. Com base em BCF (Building Collaboration Format) é uma plataforma que centraliza a informação

de projeto, existindo uma versatilidade na escolha dos programas por cada interveniente, sem nos prender a determinados softwares de modelação. Se a base de trabalho (modelos) estiver georreferenciada, então conseguimos aceder desde qualquer plataforma garantindo uma fluidez de trabalho e comunicação ágil e facilitada.

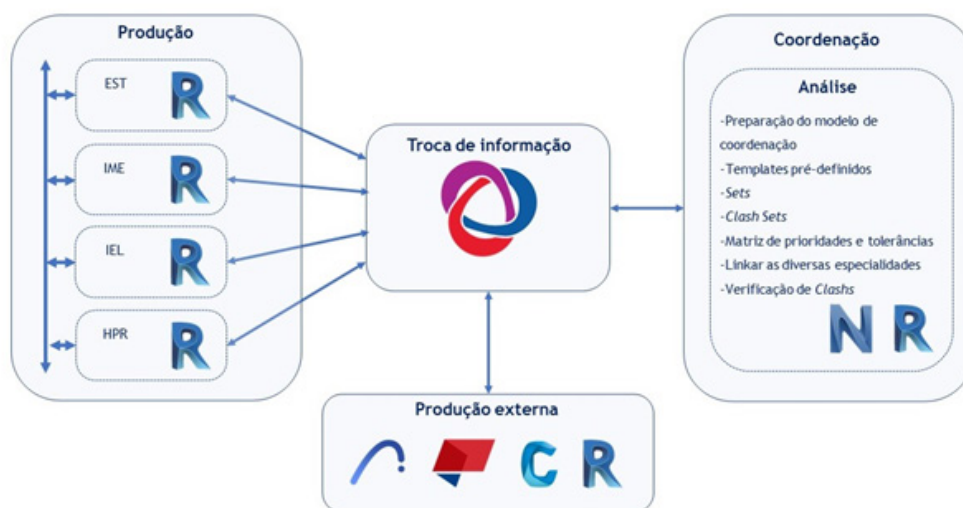


Figura 5
Troca de informação atual.

3.2. Workflow e processo implementado

Para existir um método eficaz, foi necessário implementar um *workflow* capaz de alimentar esta filosofia de trabalho.

O processo de coordenação e verificação de colisões entre os modelos das várias especialidades sofre assim ajustes profundos, mantendo-se, no entanto, inalterável a fase inicial de preparação dos vários modelos que servem de leitura, sujeitos a análise no *Navisworks*. A fase posterior começa a ser ajustada, pois nessa fase a informação gerada passa já para o *BIMcollab* onde é trabalhada e comunicada.

Este *workflow* assume-se como um *template* que vai criar uma sinergia horizontal entre a análise dos dados, partilha de informação, resolução e o processo evolutivo do ativo. Este divide-se em duas fases: Análise e resolução/comunicação.

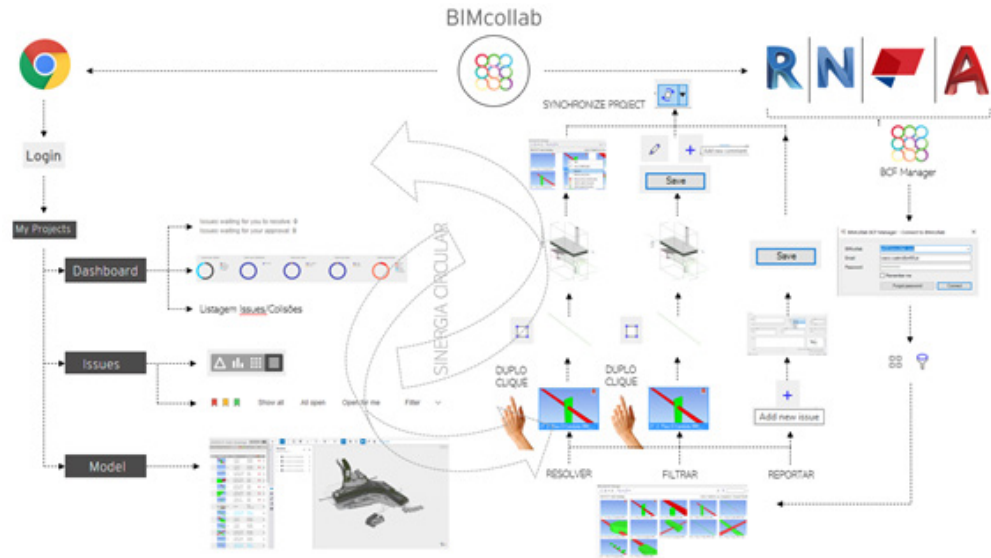


Figura 6
Workflow atual.

3.3. Fase análise

Caracterizada por três momentos de análise distintos:

O *dashboard* que analisa a quantidade de informação de todos os intervenientes. Aqui é possível de uma forma célere e sucinta realizar uma análise global do estado atual do projeto, de forma analítica e gráfica. Permitindo compreender a quantidade de situações que estão identificadas e destas, quantas estão por resolver, resolvidas ou em espera de algum tipo de informação.

A *tab* dos *issues* é demonstrativa da quantidade de informação de cada interveniente. Aqui é necessário que cada interveniente realize uma pequena análise aos problemas existentes, criando um primeiro momento de ação quanto à decisão de resolução das colisões.

A *tab* do *model* torna-se valiosa em dois aspetos. Viabilizar uma plataforma aberta onde qualquer pessoa acede aos modelos de forma rápida, com a capacidade de analisar os *issues*, tirar notas nas reuniões de trabalho e preparar passagem de informação – Os modelos neste caso são IFC's.

3.4. Fase resolução/comunicação

Utilizando o aplicativo BCF Manager dentro do programa de modelação, o *workflow* divide-se novamente em três fases distintas.

Fase de resolução – Identificamos a colisão, com recurso a uma listagem de questões preparadas pelo BIM coordinator, dentro do software de modelação que ao ser selecionada redireciona a janela de visualização para uma vista, previamente definida pelo detetor da colisão, que demonstre facilmente a questão. Existindo resolução para a questão, o BIM coordinator terá acesso a essa questão como resolvida.

Fase de filtro – Identificamos a colisão, não existe solução, é necessário desenvolver uma mecânica de resolução conjunta com outro interveniente. A informação é partilhada agilmente através de comentários e imagens sempre associadas a esta questão levantada, os diversos intervenientes são alertados automaticamente. Todos os comentários registados a esta questão ficam guardados para futura consulta.

Fase de reportar – As equipas identificam muitas vezes incompatibilidades durante o processo de modelação. Cada interveniente é capaz agora de identificar situações, criar chamadas de atenção e notificar diretamente um ou mais intervenientes, ao contrário do processo anterior em que teria de notificar o coordenador e o projetista através dos objetos. O processo fica mais ágil, rápido e com menos processos intermediários. Assim, todos estão em constante contacto.

Surge uma sinergia de trabalho interessante do ponto de vista em que o departamento de coordenação deixa de ser o único interveniente de comunicação. O trabalho assenta maioritariamente num processo de organização e historial perfeitamente datado. Claro que, embora com a sincronização dos *issues* não atualize automaticamente os modelos, fica bem registado que o problema deixou de existir. Isto é, o estado do *issue* pode não ser coerente com os modelos na rede BIM Collab até uma nova submissão dos modelos, no entanto, se a modalidade adotada para a partilha dos modelos for baseada em servidores ou *Clouds* a correr com os projetos em partilha essa coerência ocorre em paralelo com a resolução dos *issues*.

A análise é perfeitamente realizada através de imagens e comentários. Este método de trabalho, permite desta forma, começar o *clash detection* mais cedo nos projetos, facilitando a quantidade de informação a ser transmitida.

3.5. BIMCollab + PowerBI

Com o processo implementado, um grande objetivo futuro para a concretização do *clash avoidance* é fazer análise de dados. Entenda-se por *análise* verificar a quantidade de *issues* e colisões que foram acontecendo ao longo do processo do projeto, cruzando a informação entre os projetos todos, garantindo uma leitura geral homogênea da organização.

Utilizando o *PowerBI* para a análise de dados, alimenta-se a base de dados de cada projeto, com o intuito de verificar onde existem mais problemas, dificuldades e entraves. Analisar a *performance* da organização ao longo do tempo útil e refletindo sobre os obstáculos de cada departamento. Claro que, isto apenas é possível quando a própria implementação e maturidade da ferramenta *BIMcollab* e o processo inerente, atinjam uma amostra com tamanho suficiente dentro do A400 para concluir em relação aos resultados obtidos.

4. Conclusão

Com as exigências atuais do mercado, viradas para a velocidade estonteante da conclusão do projeto, a organização teve de criar processos mais ágeis e automáticos para concluir determinadas tarefas. O processo evolutivo do *clash detection* não passa despercebido, tornando-se cada vez mais importante para a coordenação, onde a comunicação eficaz é a palavra-chave para definir a evolução do processo. A resolução do problema inicial passou pela adoção de uma ferramenta capaz de comunicar em protocolo aberto, baseada em BCF, permitindo que as comunicações pudessem ser realizadas também fora dos modelos 3D sem que isso reflita um ônus para a coordenação com a interoperabilidade entre softwares. Em suma, vamos de um método funcional, pesado e carregado de informação desnecessária para um mais leve, organizado, fluído, registado e que mantenha a correspondência constante entre os intervenientes, sejam eles internos ou externos à organização.

As orientações e objetivos definidos inicialmente permitem que seja possível uma comunicação pluridirecional entre as várias disciplinas, que ajuda a visualização dos problemas desde a fase inicial e direciona o foco para a implementação de uma estratégia assente no *clash avoidance* mantendo a fluidez do projeto.

Automatização parcial da verificação regulamentar de projetos de edificação para efeitos de licenciamento urbanístico: Proposta, implementação e aplicação piloto

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.20>

**Miguel Santos¹, Lucas Vieira², José Granja³,
Taís Magalhães¹, Ricardo Mateus^{4,5}, Marco Carvalho⁶, Miguel Azenha⁷**

¹ Universidade do Minho, Guimarães

² Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1157-1362

³ Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0002-0858-4990

⁴ Universidade Lusófona, EIGeS – Centro de Investigação e Desenvolvimento em Engenharia Industrial, Gestão e Sustentabilidade, Lisboa, ORCID 0000-0003-3630-6426

⁵ Câmara Municipal de Lisboa, Lisboa

⁶ Gaiurb, Vila Nova de Gaia

⁷ Universidade do Minho, Guimarães, ISISE, ORCID 0000-0003-1374-9427

Resumo

A automatização da verificação regulamentar urbanística de projetos de edificação através de métodos BIM para efeitos de licenciamento já é realidade em alguns órgãos públicos a nível internacional e oferece perspetivas para uma maior abrangência na digitalização dos processos de apoio à decisão de licenciamento. No contexto português, tais verificações ainda dependem de intervenções manuais ou semiautomáticas morosas, propensas a erros e a interpretações diversas. Face ao exposto, este artigo apresenta uma prova conceito de um sistema de verificação regulamentar através de modelos BIM, desenvolvido em parceria com a Câmara Municipal de Lisboa e a empresa municipal Gaiurb, estruturado em tecnologias de código aberto e fundamentado num levantamento do potencial da digitalização das regulamentações urbanísticas vigentes em Portugal, a partir da análise do Plano Diretor de Vila Nova de Gaia. O método proposto abrange o desenvolvimento de uma ferramenta digital que permite verificar automaticamente a conformidade de projetos de arquitetura em relação a um grupo representativo de cláusulas da referida regulamentação. Adicionalmente, estabelece requisitos de modelação da informação que permitem a correta leitura dos modelos BIM pela ferramenta digital desenvolvida. A utilização exclusiva de tecnologias de código aberto indicia a viabilidade da sua implementação e desenvolvimento sem custos para autarquias e projetistas, bem como a sua parametrização em função das regras urbanísticas aplicáveis a cada território. O sistema proposto oferece bases para desenvolvimentos futuros que visem expandir e consolidar as suas funcionalidades, contribuindo para tornar os procedimentos de apreciação de projetos de edificação mais eficientes em Portugal.

1. Introdução

O licenciamento consiste na aprovação conferida pelas autoridades públicas para proceder à construção, reabilitação ou demolição de um determinado edifício ou infraestrutura. Os procedimentos de controlo prévio é essencial para verificar a conformidade dos respetivos projetos com as regulamentações aplicáveis, assegurando um ambiente construído ordenado e sustentável [1] e o cumprimento de requisitos mínimos relativos à sua morfologia, funcionalidade, conforto ambiental, sustentabilidade, segurança, circularidade, acessibilidade, entre outros. Dada a complexidade da análise, envolvendo vários intervenientes que dependem de um vasto conjunto de competências para avaliar todos os aspetos sob escrutínio e, por vezes, à subjetividade dos regulamentos existentes, os processos são morosos e suscetíveis a erros e a diferentes interpretações[2].

A indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), com grande impacto na economia, tem beneficiado de crescentes níveis de digitalização. O *Building Information Modelling* (BIM) apresenta-se como um dos principais expoentes dessa transformação, tornando a gestão da informação mais eficiente em todo o setor, possibilitando a melhoria de produtividade e desempenho, bem como a redução de custos através da otimização de processos [3]. O impacto positivo do BIM tem sido tão significativo que entidades governamentais a nível internacional têm apoiado sua implementação, ampliando as suas possibilidades de aplicação. Nesse contexto, o licenciamento digital de construções constitui um passo importante para que sejam implementados processos automatizados, mais eficientes e mais transparentes.

Face ao exposto, o presente trabalho, desenvolvido em parceria com a Câmara Municipal de Lisboa e a empresa municipal Gaiurb, focou-se na utilização de práticas BIM no contexto do licenciamento municipal e teve como objetivo provar a viabilidade de desenvolvimento de uma ferramenta automatizada que pudesse servir de apoio à verificação regulamentar urbanística em Portugal. Para isso, foi realizado um levantamento bibliográfico de forma a compreender os procedimentos em curso noutros países e assim adquirir informação sobre as necessidades e problemas associados ao licenciamento. Além disso, foi analisado o potencial de digitalização do Plano Diretor Municipal (PDM) de Vila Nova de Gaia. Consequentemente, foi concebida uma prova de conceito de um sistema de verificação automática de um grupo representativo de cláusulas da referida regulamentação, através de tecnologias de código aberto, após a conversão do formato textual desse regulamento para código interpretável pela máquina. Em paralelo, foram estabelecidos requisitos de modelação da informação que permitissem a correta leitura dos modelos apresentados em formato BIM pela ferramenta digital proposta.

2. Licenciamento urbanístico digital

2.1. Licenciamento urbanístico digital no mundo

Nos últimos anos, vários países têm desenvolvido esforços com o objetivo de digitalizar os processos de licenciamento urbanístico de construções. Singapura desenvolveu o serviço de verificação regulamentar automático *Construction and Real Estate Network* (CORENET) baseado em modelos BIM-IFC[4]. Apesar desta evolução, os processos de verificação residem no código do *software*, que é fechado e, por isso, os algoritmos, processos e métodos utilizados não são transparentes para o utilizador [5]. A Estónia, por sua vez, está a executar um projeto de implementação piloto em um ambiente *web* baseado em componentes de código aberto. De acordo com os desenvolvedores, a plataforma é escalável e acessível [6]. Esta ferramenta processa modelos em formato IFC que podem ser carregados, armazenados numa base de dados e visualizados na janela da aplicação (Figura 1). A prova de conceito demonstrou-se eficiente ao mitigar consideravelmente o trabalho manual anteriormente despendido no processo de verificação. Destacam-se ainda os benefícios económicos, com relatos de poupanças potenciais a ultrapassarem os 500.000 € por ano, quando comparados com as verificações habituais, para o caso da Estónia [1,7]. Também a utilizar modelos IFC como fonte principal da informação da construção a ser verificada, a Finlândia tem conduzido vários projetos a nível nacional para estruturar sistemas de verificação regulamentar automatizados [8], dos quais se destaca o piloto implantado na cidade de Vantaa [9]. Distintamente dos desenvolvimentos na Estónia, em Vantaa, os finlandeses utilizaram o *software* proprietário *Solibri Model Checker* (SMC) que, apesar de ser amplamente utilizado, tem um custo muito elevado e não é passível de customizações profundas devido ao seu caráter proprietário. Com apenas dois anos de implementação, os resultados obtidos com base neste protótipo em Vantaa levaram a uma poupança de tempo de 20% quando comparados com o processo tradicional. Ambos os sistemas, da Estónia e da Finlândia, permitem a incorporação de modelos IFC dos edifícios em modelos geoespaciais, nomeadamente *3D cities* (Figura 2), apesar de ainda precisarem de evoluir para concretizarem uma efetiva integração entre BIM e informação geoespacial.

Figura 1

Interface da prova de conceito da plataforma da Estónia [6].

Figura 2

Implementação de um modelo digital na cidade de Vantaa, Finlândia [8].



Além dos países citados, Coreia do Sul, Itália, Suécia e Nova Zelândia têm apresentado casos de estudo e investigações cujos resultados procuram alcançar e provar os aspetos práticos dos processos de automatização da verificação regulamentar.

2.2. Licenciamento urbanístico digital em Portugal

Apesar das características gerais dos sistemas de controlo prévio da edificação serem semelhantes em vários países europeus [10], há pouca literatura e trabalhos desenvolvidos sobre o licenciamento digital da construção em Portugal. Existem, no entanto, leis e regulamentos importantes que reforçam a necessidade de agilizar a emissão de licenças para a construção. O Decreto-Lei n.º 555/99, de 16 de dezembro, por exemplo, estabelece o Regime Jurídico da Urbanização e Edificação (RJUE) em Portugal. A desmaterialização dos procedimentos de licenciamento das operações urbanísticas está prevista nesta lei, propondo aos municípios a implementação de um sistema informático próprio para a entrega e receção dos elementos instrutórios de cada processo de licenciamento urbanístico por via eletrónica por parte dos requerentes. Mais recentemente, o Decreto-Lei n.º 136/2014, de 9 de setembro, veio introduzir alterações ao RJUE com vista à sua simplificação, redução dos tempos de licenciamento e aproximação ao cidadão.

A necessidade de abreviar a duração dos processos de licenciamento urbanístico no contexto português encontra alguns obstáculos. O sistema regulamentar em Portugal para a construção de edifícios é de 1951, não tem mudanças substanciais há 20 anos e as mudanças que tem recebido devem-se apenas à necessidade de adaptação às circunstâncias práticas. Além disso, faltam técnicos municipais especializados aptos a gerir informação a partir de modelos digitais [12]. Por fim, soma-se ainda a complexidade encontrada na implementação do BIM, fundamental para o licenciamento digital [13]. Ao contrário de alguns países, não existem projetos governamentais direcionados à implementação alargada do BIM em Portugal. Além disso, o mercado nacional é composto por muitas empresas de pequena dimensão, frequentemente com poucos recursos para fazer uma transição efetiva para o digital. Sistemas de licenciamento digital de projetos, para além de abreviar o tempo de licenciamento e tornar o processo mais transparente, seriam um importante argumento a favor da utilização e implementação do BIM em Portugal, beneficiando o setor da AEC como um todo [14].

3. Análise regulamentar

A análise dos regulamentos é um dos pilares na abordagem estratégica da automação dos processos de licenciamento, sendo fundamental para identificar padrões e o seu potencial de digitalização [15]. Nesse sentido, esta secção tem como objetivo apresentar a análise realizada às cláusulas presentes no Plano Diretor Municipal (PDM) de Vila Nova de Gaia, de forma a concluir quais os desafios e as oportunidades no contexto de uma potencial verificação assistida/automatizada.

3.1. Classificação das cláusulas regulamentares

Inspirado no método de Nawari [16], foi proposto um sistema de classificação de cada uma das cláusulas do PDM de Vila Nova de Gaia, para que fosse possível retirar conclusões mais detalhadas e objetivas da análise ao regulamento escolhido. Em linhas gerais, as cláusulas foram classificadas conforme ilustrado na Figura 3.

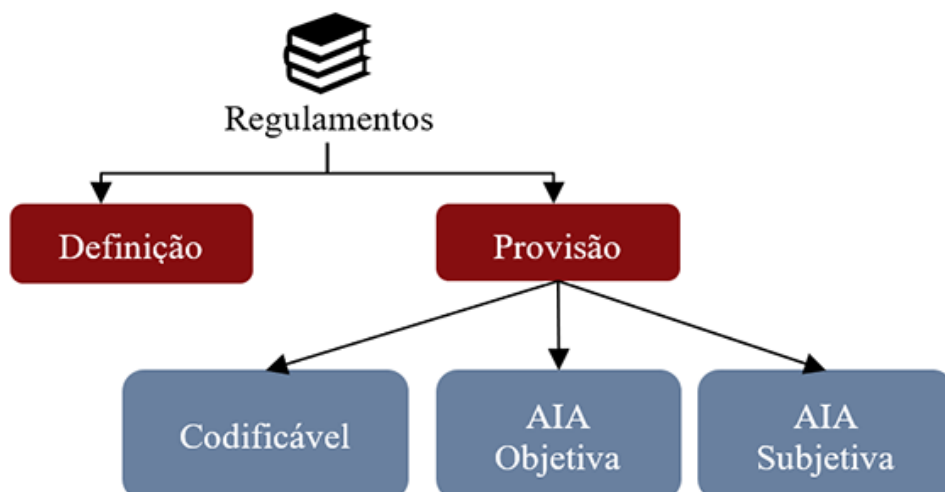


Figura 3
Classificação das cláusulas regulamentares.

De acordo com a Figura 3, cada um dos artigos ou das cláusulas em análise podem receber duas classificações distintas com o objetivo de dar a conhecer a natureza definidora e prescritiva do regulamento:

- *Definição*: referente a cláusulas/artigos que tenham conceitos, definições ou forneçam conteúdo informativo;
- *Provisão*: engloba cláusulas/artigos que providenciam limites, valores detalhados, tabelas, fórmulas ou outras formas concretas de normalizar, que deverão ser alvo de verificação de conformidade de acordo com o regulamento.

Dentro desta última classe, que é a que exhibe maior potencial no contexto de verificação automática/assistida de regulamentos, propõe-se que os artigos e cláusulas possam ser subdivididos em três subtipos diferentes, de modo a permitir compreender a possibilidade ou facilidade da sua digitalização:

- *Codificável*: para cláusulas/artigos que têm a possibilidade de ser automatizadas de forma simples, com algoritmos implementáveis diretamente em código meramente procedimental (através de técnicas clássicas de programação);
- *Algoritmo Inteligente de Aprendizagem Objetiva (AIA Objetiva)*: para cláusulas/artigos que, sendo claras e objetivas sobre aquilo que se pretende regulamentar, não são passíveis de codificar utilizando algoritmos simples, requerendo, por exemplo, algoritmos comumente conhecidos como ‘*machine learning*’;
- *Algoritmo Inteligente de Aprendizagem Subjetiva (AIA Subjetiva)*: para cláusulas/artigos que podem ser consideradas discricionárias, dando margem para diferentes interpretações por parte de peritos.

3.2. Classificação do PDM de Vila Nova de Gaia

Com o objetivo de aplicar os conceitos propostos na classificação do regulamento, foi concebida a estrutura tabelar da Figura 4 que mostra, a título exemplificativo, a classificação de alguns artigos do PDM. A tabela apresenta a identificação dos artigos/cláusulas, a classificação atribuída e uma coluna de observações destinada a detalhes específicos, encontrados no texto regulamentar, que possam constituir obstáculo à sua codificação. De seguida apresenta-se um exemplo do processo que levou à atribuição da classificação indicada às cláusulas do artigo 38.º do PDM.

Artigo	Cláusula	Classe	Subclasse	Observações
Capítulo IV – Solo Urbano				
Secção I – Disposições Gerais				
35	1	Definição	-	
	2	Provisão	Codificável	
	3	Definição	-	
36	1	Provisão	AIA Objetiva	Verificação dos “planos de pormenor”
	2	Definição	-	
37	-	Definição	-	
38	1	Provisão	Codificável	
	2a	Definição	-	
	2b	Definição	-	
	2c	Definição	-	
	2d	Provisão	AIA Subjetiva	“devidamente fundamentados”
	2e	Provisão	AIA Subjetiva	“devidamente fundamentados”
	2f	Provisão	AIA Subjetiva	“devidamente fundamentados”
39	-	Provisão	AIA Subjetiva	“permita a adequação”

Figura 4

Excerto da lista de regras com a classificação aplicada.

Artigo 38.º

§ 1: “Não é permitida a ocupação integral do prédio (...) sendo o limite máximo de área de implantação, 75% da área daquele (...)

§ 2: Exceptuam-se do número anterior, desde que devidamente fundamentados por motivos de enquadramento urbanístico:

a) Intervenção sobre imóveis isolados ou integrados em conjuntos com valor patrimonial inventariados neste Plano ou situados no Centro Histórico; (...)”

A cláusula inicial deste artigo é uma *Provisão Codificável* através de um algoritmo simples por ser uma informação regulamentar que estabelece diretamente que não é permitida uma certa ação construtiva e possui características quantitativas que podem ser codificáveis. Na segunda cláusula, a alínea a) é uma *Definição* por não se configurar como uma regra, mas apenas uma definição de contexto. Na expressão inicial da cláusula 2, a expressão “devidamente fundamentados” afeta todas as alíneas seguintes devido sua subjetividade, definindo ainda uma exceção à cláusula anterior. Para a consulta da análise integral realizada ao regulamento considerado é recomendada a leitura da dissertação de mestrado que serviu de base à criação deste artigo [17].

3.3. Resultados da Classificação

Depois de todos os artigos e cláusulas do PDM de Vila Nova de Gaia estarem classificados de acordo com o sistema proposto, a classificação atribuída foi analisada de forma integrada de modo a ter uma noção da viabilidade de automatização do regulamento. Foram preparados dois gráficos (Figura 5) que permitem analisar a proporção entre as classificações definidas na globalidade do regulamento.

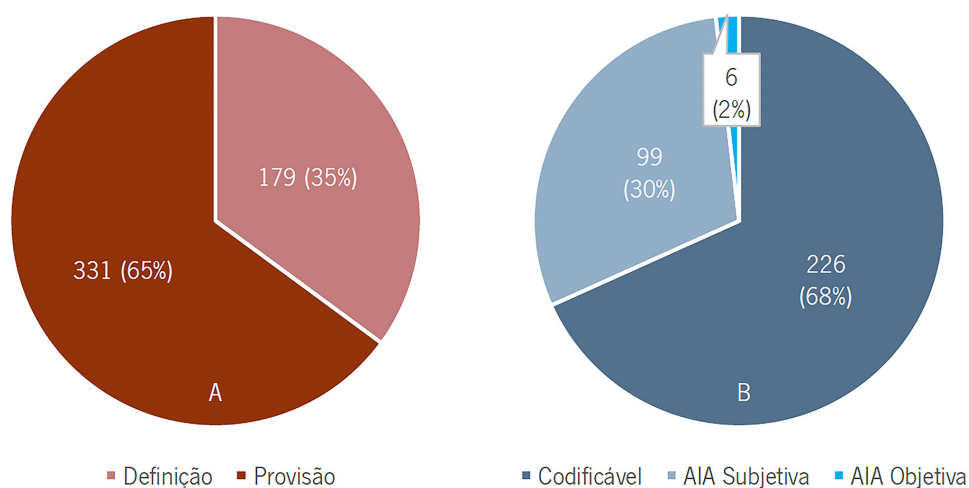


Figura 5
Resultados da atribuição das: a) classes e b) subclasses.

É possível constatar que 65% das 510 cláusulas classificadas foram consideradas como provisões (Figura 5a), sendo as restantes consideradas definições. Dentre as 331 cláusulas classificadas como provisões (Figura 5b), a maioria foi entendida como *Codificável* (68%), o que representa mais de 40% de todo o regulamento. Isto não significa que a totalidade das cláusulas codificáveis são verificáveis com base em modelos BIM-IFC. No entanto, podem ser integradas de uma forma geral em algoritmos de verificação baseados em outros modelos de dados digitais.

4. Proposta para verificação automatizada de regras

O conceito de verificação automatizada de regras urbanísticas apresentado neste artigo focou-se sobretudo no licenciamento de edifícios. Para isso, foi pensado um processo de verificação regulamentar feito a partir de modelos digitais em IFC que são interrogados por um algoritmo realizado com base num conjunto de regras provenientes dos regulamentos. Tal processo baseou-se num conjunto representativo de cláusulas com capacidade para serem codificáveis e convertidas do formato textual para uma linguagem de programação interpretável pela máquina.

O fluxo de trabalho proposto estabeleceu uma sequência de etapas para automatizar o processo de verificação regulamentar de projetos para efeitos de licenciamento. Estas etapas pretenderam assegurar a qualidade dos ficheiros IFC, diminuir a possibilidade de incompatibilidades com o sistema de verificação, através de requisitos de modelação mínimos, e melhorar a comunicação com o requerente, entre outros aspetos. Além disso, conceptualizou-se um ambiente aberto, sem custos acrescidos para os requerentes, sem dependência de investimentos em *software* de terceiros, personalizável e com baixo impacto na modelação por parte dos requerentes. O formato IFC, padrão de ficheiro consolidado para a troca de informações no mundo BIM, garante a interoperabilidade entre os modelos BIM produzidos em diferentes plataformas de modelação e o sistema de verificação proposto. A aplicação piloto desenvolvida utilizou o *xBIM Toolkit* para a extração de dados dos modelos IFC. Esta *Toolkit* apresenta-se como uma boa solução devido a ser um *software* aberto, sem custos, que permite a programação de código em C#, além de possuir bibliotecas para extração, transformação, validação e tratamento dos dados obtidos e permitir a criação de aplicações baseadas em modelos IFC [18]. A aplicação piloto conta com uma componente não-gráfica que processa as verificações e uma segunda componente que permite visualizar as representações gráficas das verificações no modelo.

4.1. Regras de modelação

Para que a verificação funcione como esperado devem ser cumpridos requisitos mínimos de modelação, tais como a atribuição do nome das diversas zonas presentes no edifício a delimitação e identificação dos espaços que pertencem a outros espaços, bem como a atribuição de uma nomenclatura adequada aos níveis correspondentes a cada piso do modelo. Na figura 6 é apresentado um excerto da lista com as regras de modelação que foram implementadas. Aqui é possível ver, a título exemplificativo, o elemento e a propriedade do IFC a denominar, qual o nome a atribuir e uma breve descrição da zona.

Elemento IFC	Propriedade IFC	Nomenclatura a usar	Descrição
Edifício e Pisos			
<i>IfcBuilding</i>	<i>IfcName</i>	EDIFÍCIO PRINCIPAL	Nome dado ao edifício
<i>IfcBuildingStorey</i>	<i>IfcName</i>	PISO 00N	Piso N acima do rés do chão
		PISO 000	Piso do rés do chão
		PISO -00N	Piso N abaixo do rés do chão
Áreas Exteriores			
<i>IfcSpace</i>	<i>IfcName</i>	AI PRINCIPAL	Área de implantação principal
		AI SECUNDÁRIA X	Enumera áreas de implantação secundárias (X sendo número)
Paredes e Muros			
<i>IfcWall</i>	<i>IfcName</i>	FACHADA PRINCIPAL	Parede frontal do edifício
		MURO FRONTAL	Muro de vedação principal

Figura 6
Excerto das regras de modelação propostas.

4.2. Implementação da componente não gráfica

Recorrendo ao *xBIM Toolkit*, foi possível implementar a componente não gráfica da aplicação, em especial um conjunto de regras verificáveis, programadas em C#, com base nas informações do modelo IFC. A Figura 7 apresenta o primeiro tipo de regra codificado que é relativo ao artigo 38.º do PDM de Vila Nova de Gaia.

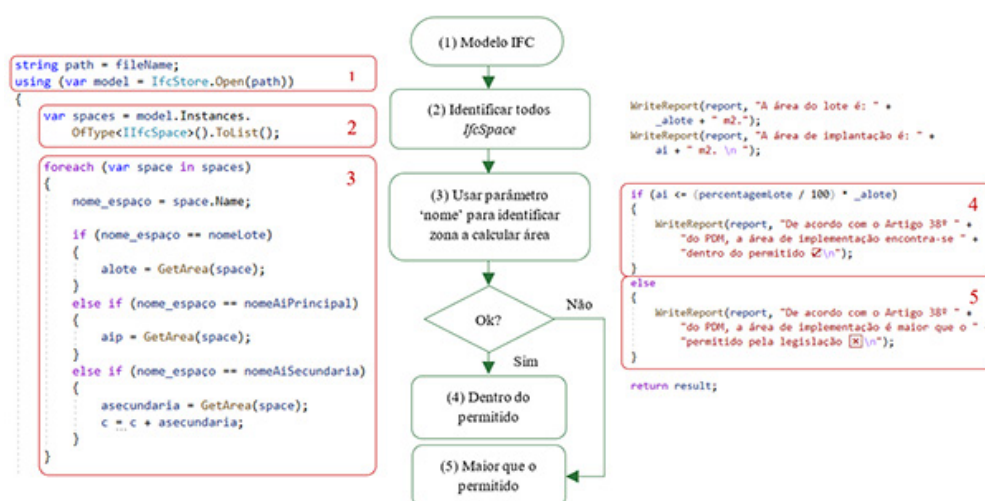


Figura 7
Excerto de código relativo à cláusula n.º 1 do artigo 38.º do PDM de Vila Nova de Gaia.

Como ilustrado no algoritmo da Figura 7, em primeiro é carregado o modelo IFC e criada uma lista com todos os elementos *IfcSpace* contidos no modelo. Para cada um desses elementos é utilizado o parâmetro do nome como forma de identificação da zona em questão. Após estarem identificados os espaços do lote e das áreas de implantação principal e secundária, as suas áreas são calculadas através do método *GetArea*. Depois de realizar alguns arredondamentos e cálculos adicionais para garantir a coerência dos resultados, estes valores são utilizados para verificar se a área existente no modelo cumpre com o disposto no n.º 1 do artigo 38.º do regulamento. No final da verificação de todos os artigos programados, o sistema exporta os resultados obtidos para um relatório que agrupa todas as decisões e informações pertinentes para a tomada de decisão. Este relatório pode ser aberto posteriormente, permitindo

a visualização de todos os valores e resultados compilados de forma organizada e fora do ambiente de programação utilizado.

4.3. Implementação da interface gráfica

Adicionalmente, foi também desenvolvida uma interface gráfica de modo a complementar a verificação apresentada na secção anterior, vinculada à ferramenta de modelação Revit®, da Autodesk®, que possibilita a escrita de *plugins* através da linguagem C#. Esta interface contribui para a deteção de irregularidades de forma visual e possibilita que o utilizador possa interagir mais facilmente com o modelo. Foram considerados relevantes três tipos de informações a ponto de serem executados: (1) representação de diferentes áreas, (2) identificação de alturas e (3) distâncias entre elementos. A Figura 8 mostra a representação da distância entre elementos, no âmbito do artigo 43.º do PDM em análise.

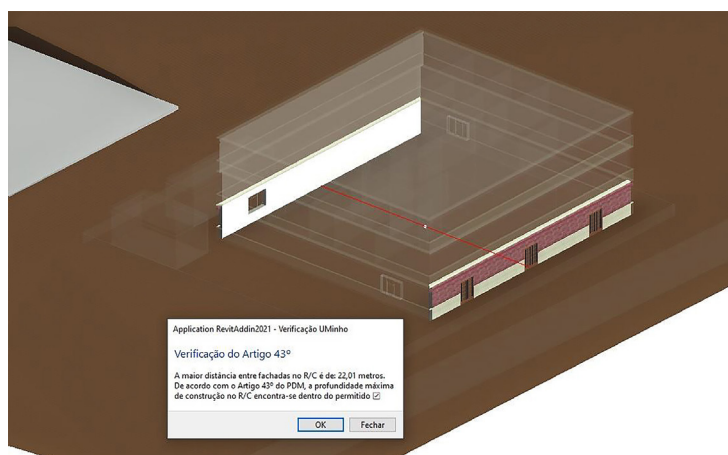


Figura 8
Representação gráfica da distância entre elementos.

Neste caso é identificada a distância entre a fachada principal e a fachada oposta, que ficaram realçadas na interface. Os elementos não essenciais para a verificação em questão sofrerem a aplicação de um filtro de transparência, para facilitar a visualização dos elementos condicionantes da verificação. No final do processo, o utilizador é notificado com uma caixa de diálogo que contém informações importantes para a compreensão do grafismo e do resultado da verificação. Os restantes exemplos, quer relativos à implementação não gráfica ou da interface gráfica, podem ser vistos de forma mais abrangente e detalhada através da análise da dissertação de mestrado já mencionada [17].

5. Conclusão

Através da programação de um conjunto representativo de regras urbanísticas, foi possível conceber uma prova de conceito de um sistema de verificação regulamentar de projetos apresentados em formato BIM para efeitos de licenciamento urbanístico, o que mostra que a sua automatização é viável e uma realidade incontornável para

o futuro do setor da AEC em Portugal. Com a realização deste estudo, foi possível concluir que em Portugal ainda há um longo percurso a percorrer para implementar o licenciamento digital com base em modelos BIM, mas que o mesmo é viável tecnicamente e existe conhecimento e vontade para o fazer. Além disso, relativamente aos requisitos de modelação, há também o desafio de capacitar os requerentes para preparar os seus modelos e garantir que a informação neles contida esteja orientada para as análises pretendidas. Por fim, o estudo da regulamentação portuguesa mostrou ainda que a digitalização pode acontecer mais facilmente se algumas subjetividades forem eliminadas ou reduzidas.

Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT / MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito da Unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), sob a referência UIDB / 04029/2020. Adicionalmente, agradece-se o apoio dado pelo programa *European Master in Building Information Modelling* (BIM A+).

Referências

- [1] ESCO, Digitalisation in the Construction Sector, 2021. <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547/attachments/1/translations/en/renditions/native>.
- [2] F. Noardo, D. Guler, J. Fauth, G. Malacarne, S. Mastrolembro, Unveiling the actual progress of Digital Building Permit: getting awareness through a critical state of the art review (2021). <https://doi.org/10.20944/preprints202110.0392.v1>.
- [3] M.F. Antwi-Afari, H. Li, E.A. Pärn, D.J. Edwards, Critical success factors for implementing building information modelling (BIM): A longitudinal review, *Autom. Constr.* (2018) 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.03.010>.
- [4] Y.H. Chiang, M. Anson, J. Raftery, The construction sector in the asian economies, 2004. <https://doi.org/10.4324/9780203493953>.
- [5] R. Klooster, J. Van Deth, L. Van Berlo, S. Meijer, Introducing a BIM-based process for building permits in Estonia (Final Report) (2019).
- [6] Future, Technical report for contract SRSS/C2019/024 – Introducing a Building Information Model (BIM)-based process for building permits in Estonia, (2019). <https://eehitus.ee/wp-content/uploads/2019/11/2019-07-19-BIM-based-building-permits-Technical-Report.pdf>.
- [7] K. Ullah, C. Raitviir, I. Lill, E. Witt, BIM adoption in the AEC/FM industry – The case for issuing building permits, *Int. J. Strateg. Prop. Manag.* 26 (2020) 400-413. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2020.13676>.

- [8] M. Weise, T. Liebich, J. Wix, Integrating use case definitions for IFC developments, *EWork Ebus. Archit. Eng. Constr.* (2008) 637-645. <https://doi.org/10.1201/9780203883327.ch71>.
- [9] P. Virkamäki, J. Masjagutova, Challenges and experiences to implement digital building application and permission in Finland IFC, *BIM-Based Build. Permit Process Autom. Semin.* (2020).
- [10] J.B. Pedro, F. Meijer, H. Visscher, Comparison of building permit procedures in European Union countries, *Proc. RICS Constr. Prop. Conf.* (2011).
- [11] RJUE – Regime Jurídico de Urbanização e de Edificação, Decreto-Lei 136/2014 9 Setembro. (2014).
- [12] J.B. Pedro, F. Meijer, H. Visscher, Sistema regulamentar da construção de edifícios: Caracterização da situação portuguesa e comparação internacional, (2012) 1-3.
- [13] A. A. Costa, M. Azenha, J. P. Martins, R. Pinho, L. Riberirinho, M. Campos, I. Rodrigues, R. C. Reis, *BIM nas Autarquias*, Inst. Super. Técnico. (2020) 24.
- [14] J.P. Martins, *Licenciamento Automático de Projectos – Uma Solução para um Problema De Cooperação?*, *Forum Int. Tecnol. da Construção.* (2009) 1-10.
- [15] N.O. Nawari, *Building Information Modelling: Automated Code Checking and Compliance Processes*, in: *Build. Inf. Model.*, 1st Editio, Taylor & Francis, 2018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781351200998>.
- [16] N.O. Nawari, *A Generalized Adaptive Framework (GAF) for automating code compliance checking*, *Buildings.* 9 (2019). <https://doi.org/10.3390/buildings9040086>.
- [17] M. Santos, *Metodologias BIM para verificação regulamentar em contexto de licenciamento municipal: proposta, implementação e aplicação*, Univ. do Minho. (2021).
- [18] S. Lockley, C. Benghi, M. Černý, *Xbim.Essentials: a library for interoperable building information applications*, *J. Open Source Softw.* 2 (2017) 473. <https://doi.org/10.21105/joss.00473>.

Rumo à definição de 'Product Data Templates' nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: Esforços da CT197

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.21>

Mohamad El Sibaii¹, José Granja¹, Renan Rocha Ribeiro¹,
Pedro Meda², Ricardo Resende⁴, João dos Santos⁵,
Pedro Lucas Martins⁶, António Aguiar Costa^{6,7},
João Poças Martins³, Miguel Azena¹

¹ Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-0810-9241 (MS), 0000-0002-0858-4990 (JG), 0000-0002-7699-3171 (RRR), 0000-0003-1374-9427 (MA)

² Construct/Gequaltec – Instituto da Construção, FEUP, 0000-0003-4380-5530 (PM)

³ Construct/Gequaltec – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, 0000-0001-9878-3792 (JPM)

⁴ Iscte – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 0000-0002-2155-5625

⁵ ACADBIM, Aveiro

⁶ BUILT Colab, Collaborative Laboratory for the Digital Built Environment, Rua de Álvares Cabral 306, 4050-041 Porto, 0000-0002-5123-4451 (AAC)

⁷ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001, Lisboa

Resumo

A normalização é um dos elementos mais importantes para a implementação dos processos BIM. De facto, trata-se de fator primordial para colaboração eficaz entre os intervenientes da indústria AECO. Um dos importantes vértices a ter em conta na normalização diz respeito à definição da informação alfanumérica relevante, bem como a sua respetiva nomenclatura. Este tipo de definições corresponde a estruturas normalizadas de dados para produtos de construção, designados na língua inglesa por: 'Product Data Template' (PDT). Apesar de já existirem algumas iniciativas a nível internacional para definição de PDTs, trata-se de um processo ainda em fase de maturação a nível mundial, mas que reconhecidamente carece de definições específicas ao contexto de cada país (conforme determinado na ISO 23386:2020, por exemplo). No contexto da CT197 (comissão de normalização nacional BIM, sob alçada do Instituto Português da Qualidade) e de projetos de investigação em curso (p.ex. SECCLasS, REV@Construction, e GrowingCircle), a equipa do presente artigo está a encetar esforços comuns rumo ao estabelecimento de PDT's a nível nacional. O presente artigo descreve esses esforços, com enfoque particular na perspetiva de mobilização da indústria. Os trabalhos a encetar envolvem a auscultação direta a vários intervenientes na cadeia de valor para formulação/validação de PDTs, mas também terão em conta várias outras fontes/fatores como os requisitos de interoperabilidade 'Industry Foundation Classes' (IFC) e outras iniciativas de normalização e regulamentação a nível nacional e europeu.

Palavras-chave: 'Product Data Templates', 'Building Information Modelling', Normalização, Interoperabilidade, Indústria AECO

1. Introdução

De uma forma geral, a indústria da construção tem vindo a aumentar a digitalização dos seus processos, particularmente através da adoção de metodologias BIM. A criação de modelos digitais é possível através da utilização de classes/instâncias de objetos BIM, que são representações digitais de produtos, sistemas ou elementos de construção. A qualidade dos objetos BIM e propriedades a estes associada tem impacto na viabilidade do uso da informação e da sua partilha pelos vários atores ao longo das diferentes fases do processo construtivo [1]–[3]. Objetos BIM competentes deverão incluir informação abrangente que represente o desempenho real do produto, parâmetros de sustentabilidade, de manutenção, geometria, entre outras informações [4], [5].

A legislação de enquadramento do comércio de produtos de construção no espaço Europeu é o Regulamento Produtos de Construção (CPR). Esta Directiva preconiza a existência de Declarações de Desempenho (DoP) que, função da família de produtos, se encontram caracterizadas em normas europeias harmonizadas, decorrendo a aposição da marcação CE. Em alinhamento com as diretrizes de digitalização do setor, a digitalização das DoP encontra-se em curso, dando origem à marcação '*Smart CE*'. Esta irá promover a digitalização das propriedades de desempenho dos produtos promovendo a troca digital de informação [6].

Nos últimos anos, têm sido emitidas normas e/ou diretrizes para apoiar as definições a aplicar à informação ao longo do ciclo de vida dos empreendimentos. A título exemplificativo, refere-se a atividade da CEN/TC442, que emitiu a EN17412-1 no final de 2020 sobre o Nível de Informação Necessário, e que aceitou a adoção da série ISO19650 no espaço CEN. Contudo, estas normas são inerentemente genéricas, não fornecendo informação específica para padronizar dados alfanuméricos para materiais/produtos de construção, e por isso não são diretamente aplicáveis aos processos do dia-a-dia na indústria.

Os dados dos produtos de construção precisam de incluir diferentes tipos de informação definidos por diferentes intervenientes em diferentes fases do ciclo de vida de um empreendimento. A definição dos dados apropriados no formato correto nos objetos BIM destes produtos tem sido particularmente desafiante. De facto, os objetos BIM deverão garantir várias condições de qualidade de informação/nomenclatura que facilitem a interoperabilidade IFC, além de estar em conformidade com as normas/guias de objetos BIM existentes [7], [8], tendo em conta a informação necessária para uma fase específica do projeto [1], [5], [9]. Os Modelos de Dados do Produto (PDTs) contribuem de forma fulcral para a solução dos desafios mencionados [10].

Tendo em conta a ausência de iniciativas portuguesas rumo à criação e normalização de PDTs, os primeiros esforços nessa direção estão a ser iniciados no âmbito da CT197 e do seu grupo de trabalho "Objetos", e particularmente com o apoio dos projetos de investigação em curso SECClasS, REV@Construction e GrowingCircle. Neste artigo apresenta-se o contexto das ações desenvolvidas para a criação de PDTs

para a indústria portuguesa, em alinhamento com a mais recente normalização europeia, que inclui a preparação para consulta direta às partes interessadas na cadeia de valor. De facto, só com consensos alargados se poderá garantir o interesse dos atores relevantes, que possam passar a considerar o respeito pelos PDT's como um importante requisito para a adequada gestão da informação.

2. PDTs e iniciativas existentes

2.1. Definição de PDT

A norma EN ISO 23387 define '*Data Templates*' como sendo estruturas normalizadas e interoperáveis de dados utilizadas para descrever as características dos produtos, sistemas e objectos de construção. Os '*Data Templates*' suportam os dados dos objectos/produtos de construção assegurando a troca de informações, inteligíveis por máquinas, entre todas as partes envolvidas ao longo do ciclo de vida. Antes da existência na norma EN ISO 23387 que estipulou o conceito '*Data Templates*' com a referida abrangência, utilizava-se correntemente o termo '*Product Data Templates*' (PDT) para definir estas estruturas de dados aplicáveis aos produtos de construção. Será esse o termo utilizado neste artigo. Os PDTs tornam-se '*Product Data Sheets*' (PDS) ou Fichas Técnicas (digitais) de Produto uma vez preenchidos com informação sobre um produto específico abrangido pelo PDT (ver exemplo na Tabela 1) [11].

Template Category	Luminaire			
Category Description	A lighting unit consisting of one or more electric lamps. This data is relevant to a particular Luminaire/Lamp/Louvre combination			
Information Category	Parameter Name	Value	Units	Notes
Manufacturer Data				
Specifications	Manufacturer		Text	
Specifications	Manufacturer Website		URL	
Specifications	Product Range		Text	
Specifications	Product Model Number		Text	or code
Specifications	CE Approval		Text	number, yes, no
Specifications	Product Literature		URL	
Specifications	Features		Text	Free text
Application Data				
Specifications	Luminaire Type		Text	e.g. Uplight,..
Specifications	Intended Market		Text	e.g. Residential...
Specifications	Application Environment		Text	e.g. Internal ...
Specifications	Maximum Operating Temperature		Deg C	
Specifications	Minimum Operating Temperature		Deg C	
Specifications	Emergency		Y/N	

Tabela 1

Parte de um modelo de dados de produto para uma luminária – Fonte: CIBSE [12].

Os dados relacionados com os produtos em construção provêm de uma variedade de fontes que se relacionam com diferentes intervenientes na indústria. Os intervenientes interessados num determinado produto, e a informação exigida, variam em

função da fase em que o produto é utilizado. Na fase de concepção, os dados sobre especificação, geometria, desempenho, e mesmo sustentabilidade podem ser utilizados pelos projetistas para tomarem decisões. Na fase de construção e utilização, os dados relativos ao fabricante, operação e manutenção, e desempenho podem ser utilizados pela empresa de construção e pela equipa de gestão de ativos. Durante a fase de desmontagem ou demolição, a maioria destes dados pode ser útil especialmente se o produto se destinar a ser reutilizado [13]. Naturalmente, as fontes de informação para estruturar um PDT podem ser muito diversas e variar de acordo com o produto. Algumas fontes são relativamente transversais e podem ser listadas aqui como exemplos: Declaração de Desempenho (DoP), Declaração Ambiental de Produto (EPD), conjuntos de propriedades de IFC, COBie, e ETIM, 'European Master Data', e outros requisitos específicos da indústria, como certificações de sustentabilidade (por exemplo, LEED/BREEAM/WELL/LEVEL(s)).

2.2. Um intrincado conjunto de regulamentos para os PDTs

A CEN/TC442 adotou recentemente duas importantes normas ISO como normas EN no contexto dos PDT: EN ISO 23386 'Building information modelling and other digital processes used in construction – Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries' e EN ISO 23387 'Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset – Concepts and principles'. No contexto da CEN, há também mais documentos/normas em desenvolvimento no que diz respeito aos PDTs (ver resumo gráfico na Figura 1).

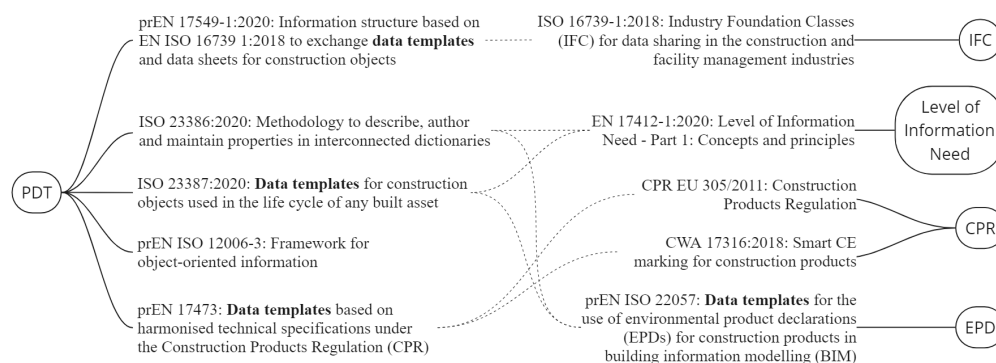


Figura 1
Normas relacionadas com PDT.

No ambiente digital construído, grupos de diferentes países criaram dicionários de dados especializados para as suas necessidades, com base nos seus padrões e cultura. É importante assegurar que estes dicionários de dados possam ser interoperáveis em ferramentas e aplicações BIM. Seguindo as directrizes da ISO 23386, os elementos dos dicionários de dados precisam de ser descritos pelos mesmos atributos. Se isto for acordado e feito por todos os fornecedores de dicionários de dados, torna-se possível mapear propriedades entre dicionários. Isto pode levar à reutilização e à harmonização de propriedades em todos os dicionários de dados. Além disso, permite às aplicações BIM utilizar múltiplos dicionários de dados de forma consistente. Por outro lado, a norma EN ISO 23387 estabelece os princípios e a estrutura dos modelos

de dados para objetos de construção. Esta norma foi desenvolvida para apoiar os processos digitais através do estabelecimento de estruturas de dados padrão para trocar informações em formatos legíveis por máquina. Também fornece as regras de ligação entre modelos de dados, classes IFC, e sistemas de classificação baseados na norma ISO 12006-3:2007 '*Building construction – Organization of information about construction works – Part 3: Framework for object-oriented information*'. As normas prEN 17473 '*Building information modelling (BIM) - Data templates for construction objects used in the life cycle of any built asset - Data templates based on harmonised technical specifications under the Construction Products Regulation (CPR)*' e ISO/DIS 22057 '*Sustainability in buildings and civil engineering works - Data templates for the use of environmental product declarations (EPDs) for construction products in building information modelling (BIM)*' asseguram um método padronizado de utilização de dados importantes dos EPDs e das DoPs em modelos de dados. As questões de interoperabilidade relacionadas com a partilha de modelos de dados utilizando o IFC são abordadas na prEN 17549 '*Building Information Modelling (BIM) - Information structure based on EN ISO 16739-1:2018 to exchange data templates and data sheets for construction objects - Part 1: Data templates and configured construction objects*'. Finalmente, a norma EN 17412-1 '*Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles*', que define o conceito de Nível de Informação Necessário, estipula como as definições de dados neste contexto podem ser ligadas aos PDTs definidos de acordo com as normas ISO 23387 e ISO 23386.

2.3. PDTs na bibliografia e outras iniciativas

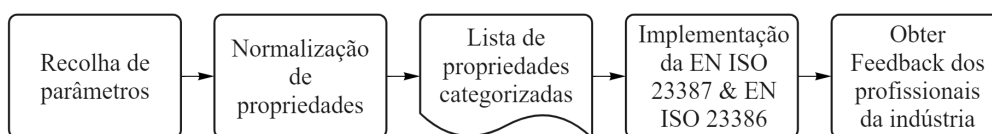
Existem alguns trabalhos na bibliografia sobre normalização de PDTs [1], [5], [14]–[16], no entanto não se focam nos processos de criação de PDTs nem disponibilizam conjuntos alargados de PDTs para uso generalizado [9], [17]–[19]. Apesar das evoluções reportadas, existe ainda pouco trabalho dedicado ao enquadramento normativo mais recente, que conta com documentos tão recentes como 2020 no caso da EN ISO 23386. Além disso, a própria EN ISO 23387 encontra-se atualmente em revisão. Neste quadro, é ainda difícil para a indústria ter fontes de definição de PDTs que estejam a ser utilizadas de forma alargada. É, portanto, ainda usual observar grande dispersão na quantidade/qualidade de informação presente nos objetos dos modelos BIM.

Em alinhamento com as disposições da EN ISO 23386, a criação de PDTs é um processo que deve ser encetado à escala nacional, dadas as especificidades inerentes ao mercado de construção de cada país. Assim sendo, verifica-se claramente uma evolução a diferentes velocidades mediante o grau de envolvimento de cada caso concreto. Existem várias iniciativas que produziram PDTs abertos, como o CIBSE e o NBS no Reino Unido. Contudo, a estrutura do PDT nestas iniciativas não é a mesma, sendo que cada uma segue um formato próprio. Por outro lado, existem atualmente algumas iniciativas comerciais que estão a trabalhar no desenvolvimento de PDTs que aderem às normas mais recentes, tais como a CoBuilder, que é uma iniciativa internacional do sector privado, a LEXiCON, e a comissão SN/K 374 na Noruega. Embora algumas destas iniciativas aleguem aderir às últimas normas publicadas sobre PDTs, até agora nenhuma publicou PDTs abertamente.

3. A metodologia EN ISO 23386 e 23387 para implementação de PDTs

O primeiro passo na criação de um PDT é a recolha de parâmetros (ver Figura 2). Os parâmetros podem ser recolhidos de várias fontes, e portanto devem ser comparados uns contra os outros numa única matriz para garantir que os parâmetros são únicos. Os parâmetros em diferentes fontes podem ter nomenclatura diferente, mas o mesmo significado. Consequentemente, a etapa de comparação e normalização elimina a redundância e a repetição. Uma vez decidida uma lista final de parâmetros, esta é organizada em categorias, como por exemplo: dados geométricos, de desempenho, de sustentabilidade, etc.

Figura 2
Metodologia de criação do PDT.



Após a definição e organização das propriedades, é utilizada a estrutura predefinida dos PDT na EN ISO 23387, onde cada propriedade é ligada a um documento de referência, e são definidos o seu tipo de dados, unidade, e valor (ver Tabela 3). Em seguida, a EN ISO 23386 fornece um conjunto predefinido de atributos para propriedades e grupos de propriedades, e estes atributos devem ser ligados às propriedades no PDT criado (ver Tabela 2).

Finalmente, uma vez publicado um PDT, é importante estabelecer uma linha aberta para análise e comentário por parte de profissionais da indústria com conhecimentos em produtos de construção específicos e na sua utilização. A informação obtida junto destes profissionais ajudará a melhorar o conteúdo dos PDT, e a manter os seus dados actualizados.

Tabela 2
Parte dos atributos pré-definidos para Propriedades e Grupos de Propriedades na EN ISO 23386.

List of attributes from EN ISO 23386			
Globally unique identifier	Status	Date of Creation	Date of Activation
Date of last change	Date of revision	Date of Version	Date of deactivation
Version number	Revision number	Subdivision of use	List of Replacing properties
Depreciation explanation	Names in language N	Creator's language	List of replaced properties
Definition in Language N	Visual Representation	Country of use	Relation of the property identifiers in the interconnected data dictionaries

4. Os desenvolvimentos iniciais de implementação em Portugal

4.1. O exemplo do PDT para uma porta

Nesta secção ilustra-se o processo de criação de um PDT através de um exemplo aplicado a 'portas'. Seguindo a metodologia explanada na secção 3, o primeiro passo foi a recolha de todos os parâmetros relacionados com um elemento de porta a partir das fontes de dados mencionadas anteriormente. Assim, foram recolhidos dados de DoPs, EPDs, NBS PDTs, conjuntos de propriedades IFC, conjuntos de propriedades COBie, sistema de classificação ETIM e gerador de propriedades Natspec. A Tabela 3 mostra uma parte das propriedades essenciais da DoP de portas. Estas propriedades também existem em diferentes fontes, mas têm uma nomenclatura diferente. A lista de parâmetros criada no final do processo deu prioridade à nomenclatura dos conjuntos de propriedades IFC, de modo a assegurar que a interoperabilidade através da partilha de 'propertysets' IFC seja contabilizada no futuro. Além disso, a lista final das propriedades foi escrita utilizando PascalCase, cumprindo os requisitos das normas de objetos BIM. Assim, ao adicionar estas propriedades nos PDTs, as regras de nomenclatura dos padrões de objetos BIM devem ser observadas [7], [8]. A tradução para Português está em curso.

DoP	NBS PDT	IFC	COBie	Natspec	ETIM
Watertightness	Watertightness-Performance	WaterTightness-Rating			
DangerousSubstances					
ResistanceToWindLoad	ResistanceTo-WindLoad	WindLoadRating		WindLoad-Rating	
ImpactResistance	MechanicalStrengthRequirements	MechanicalLoad-Rating			
Height	NominalHeight	Height	Nominal-Height	Height	DoorFrame-Height
AcousticPerformance	Acoustic-Performance	AcousticRating		Acoustic-Rating	Noise-Attenuation
ThermalTransmittance		Thermal-Transmittance		Thermal-Transmittance	Thermal-TransmittanceValue
RadiationProperties				Radiation-Protection	
AirPermeability	AirPermeability	Infiltration		Infiltration	

Tabela 3

Parte da matriz de parâmetros para comparar e normalizar as propriedades.

O passo seguinte foi a implementação da norma ISO 23387, como mostra a Tabela 4, onde cada propriedade é definida através de uma ligação a uma norma na propriedade "Documento de referência", e a sua quantidade, unidade e valor do tipo enumerado são também definidos. Os resultados são mostrados como uma tabela, contudo, é importante mencionar que a implementação também é feita numa base de dados relacional MySQL, o que facilita a consulta, agrupamento e ligação de dados. Uma vez emitido um documento oficial do PDT, a implementação da ISO 23386

deve ser posta em prática para assegurar que o PDT é mantido e gerido de acordo com a recomendação da norma.

Tabela 4

Parte dos dados da implementação da norma ISO 23387 para o modelo de dados da porta.

Construction object	Reference document	Data template	Reference document	Group of Properties	Reference document	Property	Reference document	Quantity	Unit	Enumerated type value
Door		Door Data Template	EN14351-1:2006+A2:2016	Performance data	EN14351-1:2006+A2:2016	Water-Tightness-Rating	EN 1027	Nominal	Unitless	Class 3
						Dangerous-Substances	EN14351-1:2006+A2:2016	Nominal	Unitless	None
						WindLoad-Rating	EN 12210	Nominal	Unitless	Class 5
						Mechanical-Load-Rating	EN 12400	Nominal	Unitless	Class 2
						Acoustic-Rating	EN ISO 140-3 & EN ISO 717-1	Nominal	Unitless	0.5
						Thermal-Transmittance	EN ISO 10077-1	Nominal	Unitless	3.7
						Radiation-Properties	EN 13363-1	Nominal	Unitless	
						Infiltration	EN 1026	Nominal	Unitless	Class 3
						FireRating	EN 13501-1	Nominal	Unitless	CF520/240 min
						SmokeStop	EN 13501-1	Nominal	Unitless	S200

4.2. A plataforma de auscultação à indústria

Uma vez concluída a criação do PDT, é importante envolver profissionais da indústria que tenham conhecimentos específicos sobre dados relacionados com portas (p.ex. fabricantes, projetistas, empreiteiros e gestores de instalações, entre outros) e obter os seus comentários e sugestões, numa auscultação prévia à abertura da consulta global ao público. Isto assegurará que o PDT contemple informação relevante e se revele como uma primeira iteração bem pensada, e portanto válida para apresentação à indústria em geral. Consequentemente, após a tradução do PDT para a língua portuguesa, o PDT será utilizado numa plataforma, desenvolvida pela equipa do presente artigo, baseada em navegador web, criada especificamente para obter comentários e consensos junto da indústria AECO em geral (ver Figura 3).



Análise e comentário de PDT's

O objetivo deste questionário é apoiar o consenso da indústria rumo a PDT's uniformizados a nível nacional. A plataforma conterá cumulativamente cada vez mais PDT's, sempre mantendo um "Master" para as componentes transversais a todos os produtos. Na fase inicial, para além do "Master", existe também o PDT para "Porta".

Pode ser efetuada consulta rápida no botão "Ver apenas", ou efetuar revisão e comentários com a opção "Revisão e comentário".

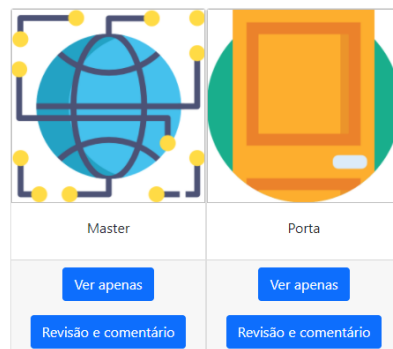


Figura 3
Plataforma de visualização e revisão de PDTs.

A plataforma criada terá uma página inicial que explica aos novos utilizadores o que são os PDT, e quais são os benefícios da sua utilização na indústria. Também dará à indústria, fabricantes, projetistas, e outros interessados, acesso aberto a todos os PDTs criados. Os profissionais da indústria que estejam interessados comentar um determinado PDT poderão fazê-lo após registo gratuito (ver Figura 4). A plataforma acolhe uma secção de comentários, que também promove a discussão e interação dos intervenientes da indústria sobre cada propriedade. É importante notar que a plataforma está ligada a uma base de dados MySQL que detém os PDTs criados, e por conseguinte os PDTs na plataforma são automaticamente actualizadas uma vez que quaisquer revisões sejam feitas na base de dados. É de notar que os desenvolvimentos terão em conta a exportação dos dados PDT em formatos padronizados como XML, e XLSX.

Dados gerais/ General data

Descrição
Description

Descrição: Uma descrição do tipo de objecto para detalhar qualquer intenção de concepção. ex. Porta metálica única para acesso aos elevadores
Description: A description of the type of object to detail any design intent. ex. Single metal door for access to risers

Sim Não Sem opinião

[0 Comments](#)

Características
Features

Descrição: Outras características ou características importantes relevantes para a especificação do produto. ex. com uma janela com vidro duplo
Description: Other important characteristics or features relevant to product specification. ex. with a window with double glass

Sim Não Sem opinião

[0 Comments](#)

Material
Material

Descrição: Característica ou material primário do produto. ex. Aço
Description: Characteristic or primary material of product. ex. Steel

Sim Não Sem opinião

[0 Comments](#)

Figura 4
Página de inquérito dos PDTs na plataforma criada.

5. Conclusão

A indústria AECO está a avançar rapidamente para a adoção do BIM em todos os seus processos, incluindo fabrico, conceção, contratação, e gestão de instalações. A normalização dos dados dos produtos de construção tem um grande impacto na melhoria dos processos BIM, e os PDTs surgiram como uma solução nesse contexto. A adesão às mais recentes normas sobre criação de PDT assegura uma melhor interoperabilidade dos dados entre disciplinas e proporciona uma maior qualidade dos dados através da ligação a dicionários de dados em toda a indústria. O trabalho aqui apresentado fornece um exemplo de um modelo de dados de porta para ilustrar as metodologias de criação de PDT usando a EN ISO 23386 e 23387. A plataforma *online* criada será um guia e um destino para os intervenientes na indústria obterem acesso a PDTs abertos, e também rever os PDTs para melhorar o seu conteúdo para futuros utilizadores. Este trabalho sublinha a importância dos PDT e ajuda a iniciar sua adoção na indústria para garantir que os processos de PDT se mantenham em bom caminho no futuro.

6. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo Projeto 19_Call#2_SECClasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System, financiado pelo EEA Grants Portugal e pelo projeto mobilizador REV@Construction; parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito dos projetos UIDB/04466/2020 e UIDP/04466/2020 da Unidade de I&D ISTAR-IUL – Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura; no âmbito do projeto UIDB / 04029/2020 da unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE); parcialmente financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). e apoiado pelo Comité Técnico de Normalização CT197.

7. Referências

- [1] M. Cassano and M. L. Trani, “LOD Standardization for Construction Site Elements”, *Procedia Eng.*, vol. 196, no. June, pp. 1057-1064, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.062.
- [2] J. C. P. Cheng, W. Chen, K. Chen, and Q. Wang, “Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms”, *Autom. Constr.*, vol. 112, no. January, p. 103087, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103087.
- [3] L. Joblot, T. Paviot, D. Deneux, and S. Lamouri, “Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects”,

- IFAC-PapersOnLine*, vol. 50, no. 1, pp. 10518-10525, 2017, doi: 10.1016/j.ifa-col.2017.08.1298.
- [4] C. Mirarchi and A. Pavan, "Building information models are dirty", *Proc. 2019 Eur. Conf. Comput. Constr.*, vol. 1, no. July, pp. 131-140, 2019, doi: 10.35490/ec3.2019.180.
- [5] A. Pavan *et al.*, "BIMReL: A new BIM object library using Construction Product Regulation attributes (CPR 350/11; ZA annex)", *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 296, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/296/1/012052.
- [6] M. Daskalova, "Smart CE Marking and BIM Standardisation", 2018. <https://co-builder.com/en/smart-ce-marking-and-bim-standardisation/> (accessed May 12, 2021).
- [7] NBS, "NBS BIM Object Standard", 2019, [Online]. Available: <http://www.nationalbimlibrary.com/nbs-bim-object-standard>.
- [8] OBOS, "Open BIM Object standard", 2018, [Online]. Available: <https://bim.natspec.org/documents/open-bim-object-standard>.
- [9] S. Palos, A. Kiviniemi, and J. Kuusisto, "Future perspectives on product data management in building information modeling", *Constr. Innov.*, vol. 14, no. 1, pp. 52-68, 2014, doi: 10.1108/CI-12-2011-0080.
- [10] M. Pedro, D. Calvetti, E. Hjelseth, and S. Hipólito, "Incremental Digital Twin Conceptualisations Targeting Data-Driven Circular Construction", *Buildings*, vol. 11(11), p. 554, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/buildings11110554>.
- [11] P. Mêda, "Data Templates e Passaporte dos Materiais – Duas Faces da Mesma Moeda ou a Mesma Face da Moeda?", *Mater. Construção*, vol. January, pp. 46-47, 2022.
- [12] CIBSE, "CIBSE – Product Data Templates", 2021. <https://www.cibse.org/knowledge/bim-building-information-modelling/product-data-templates> (accessed Mar. 15, 2021).
- [13] P. Mêda, E. Hjelseth, D. Calvetti, and H. Sousa, "Enabling circular construction information flows using data templates – conceptual frameworks based on waste audit action", in *2021 European Conference on Computing in Construction*, Jul. 2021, pp. 398-405, doi: 10.35490/EC3.2021.208.
- [14] B. Succar and E. Poirier, "Lifecycle information transformation and exchange for delivering and managing digital and physical assets", *Autom. Constr.*, vol. 112, no. January, p. 103090, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103090.

- [15] R. Kebede, A. Moscati, and P. Johansson, "Semantic web for information exchange between the building and manufacturing industries: a literature review", pp. 248-265, 2020.
- [16] M. N. Lucky, D. Pasini, and S. Lupica Spagnolo, "Product Data Management for Sustainability: An Interoperable Approach for Sharing Product Data Management for Sustainability: An Interoperable Approach for Sharing Product Data in a BIM Environment. IOP Conf Ser Earth", *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 296, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/296/1/012053.
- [17] M. Hooper, *BIM Anatomy II: Standardization needs & support systems*. 2015.
- [18] K. Duddy, S. Beazley, R. Drogemuller, and J. Kiegeland, "a Platform-Independent Product Library for Bim", *30th CIB W78 Int. Conf.*, pp. 389-399, 2013.
- [19] S. Theißen *et al.*, "Using open BIM and IFC to enable a comprehensive consideration of building services within a whole-building LCA", *Sustain.*, vol. 12, no. 14, p. 5644, Jul. 2020, doi: 10.3390/su12145644.

Requisitos normativos da ISO 19650 para o CDE – Análise de conformidade

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.22>

**Déborah Paiva¹, Erivânia Kayelle Abreu²,
Luma Oliveira³, Marcelo Sporkens⁴, Sérgio Leal Ferreira⁵**

¹ Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-4703-6820

² Universidade de Pernambuco, Recife, ID 0000-0003-1602-662X

³ Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-2348-6835

⁴ Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0002-1227-0986

⁵ Universidade de São Paulo, São Paulo, ID 0000-0003-2593-3424

Resumo

Atualmente, a construção civil tem grande demanda pelo gerenciamento eficaz dos dados provenientes da Modelagem de Informação da Construção (BIM - *Building Information Modelling*). O alinhamento dos processos de modelagem em conformidade com a norma ISO 19650, confere consistência e qualidade superior à informação. Com isso, o Ambiente Comum de Dados (CDE - *Common Data Environment*) tornou-se uma ferramenta essencial de compartilhamento e integração das informações do empreendimento durante todo o ciclo de vida do modelo da construção. Nesta pesquisa aplicada, foi realizada uma busca exploratória sobre o tema CDE analisando a importância da conformidade dos principais softwares comercializados no mercado brasileiro com os requisitos da norma ISO 19650 (2018). Para isso, foi utilizada uma metodologia em duas etapas, incluindo a revisão da literatura e a testagem dos recursos de uma amostra dos principais CDEs. A maioria dos *softwares* respondeu efetivamente ao fluxo automático de estado de validação, bem como tarefas da fase de entrega. Contudo, tarefas pertinentes à etapa de operação e manutenção, não tiveram atendimento majoritariamente.

1. Introdução

De acordo com a ISO 19650-1 (2018) [1], uma solução de Ambiente Comum de Dados (CDE – *Common Data Environment*) em um fluxo de trabalho colaborativo deve ser usada para gerenciar informações durante a gestão de ativos e a entrega de projetos. No CDE, deve haver a integração centralizada dos modelos de Modelagem de Informação da Construção (BIM – *Building Information Modelling*), possibilitando a coleta, o gerenciamento e a disseminação dos dados extraídos de cada elemento do Modelo de Informação do Projeto (PIM – *Project Information Model*) e do Modelo de Informação do Ativo (AIM – *Asset Information Model*) por meio de um processo gerenciado automaticamente [2].

Nos processos colaborativos da indústria da construção é crescente a atenção que o CDE vem recebendo devido aos novos métodos digitais. Com um olhar para o que a literatura traz, e mostrando a crescente preocupação com este tema, alguns autores conceituam as características do CDE como: fonte de informações, com colaboração entre os membros do projeto [2]; um repositório de informações centralizado e automatizado [3]; um espaço de projeto digital comum [4]; um gerenciamento eletrônico de documentos com centralização de dados no armazenamento que reduz o risco [5]; um gerenciador de projeto ao longo de todo o ciclo de vida do ativo [6]; uma permissão de troca eficaz de informações entre os membros da equipe que podem acessar apenas áreas e dados aos quais estão atribuídos [7]. Do ponto de vista do proprietário do ativo (investidor) [8], a implementação do projeto de um CDE possibilita a melhoria de suas funções de controle e do impacto final sobre a redução de custos e atrasos, aumentando sua qualidade. Por sua vez, apesar da percepção geral, o CDE não deve ser considerado apenas uma plataforma de armazenamento e troca de informações digitais [3].

Este artigo apresenta uma investigação sobre a conformidade dos principais softwares comercializados no mercado brasileiro com os requisitos da norma ISO 19650 (2018) [1], destacando que a normatização do processo de gerenciamento da informação [1] pode fornecer resultados comerciais benéficos para os proprietários/operadores dos ativos, clientes do projeto, sua cadeia de fornecedores, os envolvidos nos financiamentos de projetos, redução de riscos e de custos através da criação e uso do ativo e projeto dos modelos de informação.

2. Metodologia

O artigo utilizou, como suporte literário, a norma ISO 19650 (2018), de onde foram extraídos os termos de busca para os demais textos que delimitaram o problema. A estrutura foi dividida em duas etapas, sendo a primeira, guiada pelos termos de pesquisa como “*Building Information Modelling*”, “*Common Data Environment*”, “*collaborative environment*” e “*information management*”, tendo como cobertura a leitura direcionada para artigos científicos coletados nas bases Science Direct, Scopus e Web of Science. Vale ressaltar que, a partir das referências bibliográficas presentes nos

artigos encontrados, foram selecionados outros artigos relevantes, que não foram encontrados inicialmente quando os primeiros critérios de pesquisa foram aplicados. Contudo, a extração do conteúdo encontrado serviu para a disposição dos tópicos analisados na etapa final.

3. Características do CDE conforme a norma ISO 19650

3.1. Gerenciamento das informações

Os modelos de informações BIM de ativo e de projetos para a construção, vão sendo enriquecidos com dados conforme o seu desenvolvimento. Contudo, para que toda essa informação seja utilizada em outros processos, que fazem parte da cadeia produtiva da construção, é necessária a integração estruturada baseada em princípio comum a todos os envolvidos. Neste sentido, a norma internacional sugere o gerenciamento e integração normatizados de [1] modelos tridimensionais, programa de equipamentos, especificações técnicas, testes e certificados de garantia, conforme requisitados durante todo o ciclo de vida do ativo.

A norma ISO 19650, regula o gerenciamento eficaz de informações, permitindo a reutilização dos dados, entre as etapas de entrega, operação e manutenção do ativo da construção. Contudo, aspectos específicos para o gerenciamento do ativo e da organização, devem ser considerados conforme as normas 55000 e 9001, para o sucesso da modelagem. É recomendado também, que todos os envolvidos na contratação e contratados, trabalhem de forma colaborativa na implantação dos processos da norma.

É indicado pela norma ISO 19650, que a abordagem da informação da construção, seja vista sob três aspectos: especificação de requisitos, planejamento e entrega. Além disso, os entregáveis devem ser padronizados em documentos como plano de negócios, portfólio de revisão estratégica do ativo, análise do custo do ciclo de vida, briefing de projeto, AIM, PIM, documentação de produto, BEP ou “*BIM Execution Plan*”, matriz de responsabilidades, OIR – “*Organizational Information Requirements*” AIR – “*Asset Information Requirements*”. A colaboração do proprietário na definição de suas necessidades é essencial, para produção dos dois últimos documentos.

3.2. Modelos PIM e AIM

Os Conceitos de “Informação” e “Ativo” consideram que “Informação” é uma representação de dados de forma padronizada, adequada para transmissão, interpretação ou processamento, que pode ser realizado por uma pessoa ou automaticamente, e que um “Ativo” é item, coisa ou entidade, que tem valor potencial ou real para uma organização [6]. Logo, um CDE é utilizado para a hospedagem das informações provenientes dos ativos do modelo BIM para o suporte ao trabalho colaborativo.

A natureza semântica dos modelos BIM permite a ligação com o CDE e o gerenciamento automático das informações otimizado pela codificação de arquivos. Neste ambiente são hospedados dois tipos de modelo conforme a fase do empreendimento, seja ela de projeto ou operação e manutenção.

O Modelo de Informação do Projeto (PIM) apoia a fase de entrega do projeto que representa uma importante fonte de entrada do AIM. Durante a entrega do projeto, o PIM pode ser usado para detecção de conflitos, programação ou estimativa de custo. Um PIM geralmente fornece informações geométricas, localização de equipamentos e detalhes de sistemas instalados que são altamente relevantes para o AIM. [12].

Por sua vez, o AIM suporta os processos de gestão de ativos estratégicos e diários estabelecidos pela parte nomeada [1] e pode fornecer informações no início do processo de entrega do projeto. Por exemplo, o AIM pode conter registros de equipamentos, custos de manutenção cumulativos, registros de instalação e datas de manutenção, detalhes de propriedade e outros dados que a parte nomeada considere como valiosos e deseje gerenciar de forma sistemática.

3.3. Contêineres de Informação

Uma abordagem de trabalho colaborativo baseada em contêiner é apresentada na norma ISO 19650 (2018), devido ao alto grau de intervenção humana na gestão das informações e processos relacionados a um ativo [10]. Os contêineres de informação podem ser estruturados, representados por modelos geométricos, cronogramas e bancos de dados. Os contêineres de informações não estruturadas incluem documentação, vídeo clipes e gravações de som.

É muito importante também a classificação dos contêineres de informação de acordo com o status de utilização, trabalhos em curso, compartilhado ou publicado.

A norma 19650 (2018) [1] também orienta que todos os trabalhos colaborativos estruturados em contêineres sigam os seguintes princípios:

- As informações geradas pelos colaboradores devem ser verificadas;
- Os requisitos de informação devem estar claramente definidos e validados por todos os envolvidos, desde designers e operadores de ativos até o cliente ou contratante;
- Avaliação e validação das informações propostas;
- Fornecimento de ambiente comum de dados ou CDE com segurança e acesso a todos os envolvidos;
- Desenvolvimento de modelos de informação em tecnologias diferentes, porém em conformidade com o padrão pré-estabelecido;
- Proteção dos dados do modelo de informações.

3.4. A Ampliação do acesso às informações

O CDE será a base do trabalho colaborativo demandado pelo BIM. É neste ambiente que são hospedadas todas as informações geradas pelos vários envolvidos na modelagem de uma construção virtual. O CDE deverá ainda proporcionar acesso amplo aos envolvidos como orientado pela norma ISO 19650 (2018) [1] e deve ser adotado ao longo do ciclo de vida do ativo para permitir que as informações sejam acessadas por aqueles que requerem desempenho em suas funções.

Para Garyaeva [11], em seu artigo, a colaboração proporcionada pelo CDE é uma forma de interação entre todos os participantes do projeto, incluindo executores e clientes. O amplo acesso às informações é também mencionado por Stransky [11], relatando que não apenas as partes interessadas no projeto devem se beneficiar do uso de CDE, mas também parceiros externos, que ainda não fazem parte do processo, devem colaborar na sua utilização.

3.5. Conformidade da Colaboração e Gestão

A utilização da norma ISO 19650 (2018) garante o sucesso do manejo correto das informações da construção, orientando como deve ser a estruturação dos dados para o gerenciamento de troca, gravação, versionamento e organização entre todos os atores envolvidos nos ambientes de trabalho. A ISO 19650 (2018) [1] estabelece que sejam envolvidos na colaboração dentro do CDE o proprietário/operador do ativo, o cliente do projeto, o gerente de ativos, a equipe de design, a cadeia de abastecimento da construção, um fabricante de equipamentos, um especialista de sistema, um regulador e um usuário final.

Como o BIM enfatiza a colaboração entre muitas partes envolvidas com pontos de vista e interesses exógenos, o gerenciamento de projetos desempenha um papel significativo [1]. Uma clara definição de funções e responsabilidades permite um uso bem-sucedido de BIM tecnicamente realizado por um CDE e oferece suporte a um entendimento mútuo de funções e fluxos de trabalho. Assim, uma produção e gestão colaborativas das informações aumentam o benefício para todos os participantes. O valor e o uso das informações podem ser expandidos da fase de pré-planejamento para a gestão de ativos. Devido às múltiplas opções de estruturas de projeto, os processos de gerenciamento precisam ser independentes da rota de aquisição ou forma de contrato que é aplicada [1].

3.6. Codificação e gerenciamento pelo CDE

A convenção para a nomenclatura de arquivos pode ser entendida como uma tarefa fácil, porém que pode se tornar muito complexa, demorada e sujeita a erros, especialmente em um ambiente de projeto com várias equipes. Embora muitos softwares tenham uma forma de automatizar o nome dos arquivos com base na convenção de nomenclatura, normalmente o fazem por meio de uma aplicação externa ao software que manipula o arquivo por meio de programação executando a tarefa. [15] apud da

Silva, et al., 2017 menciona que estas aplicações externas normalmente são desenvolvidas para outros fins, como projeto e verificação estrutural, análise e simulação, análise de desempenho da construção, conversão de componentes do projeto, dentre outras.

De acordo com [15], a adoção de uma convenção de nomenclatura padronizada, consistente e compreensível torna-se importante à medida que mais informações são compartilhadas digitalmente, além de ser um passo importante para um trabalho totalmente colaborativo em BIM e no CDE com as diferentes partes interessadas envolvidas em um empreendimento. Adotando-se a convenção de nomenclatura, evita-se a perda de informações, uma das principais causas de atrasos e retrabalhos de projetos [15] apud Chenson, 2010. Agora integrada à ISO 19650 (2018), a nomenclatura de arquivos deve seguir o formato:

Nome/número do projeto – dois a seis caracteres, provenientes da EIR [15] apud Pittard e Sell, 2017, Originador – três a seis caracteres em letras e/ou números, Volume ou sistema – um ou dois caracteres, por exemplo 00, Níveis/Localização – dois caracteres, representando uma parte lógica ou seção da obra, Tipo de informação – M3 para modo 3D, DR para arquivo bidimensional, VS para arquivo de visualização, etc.

Função – informações sobre a função do criador dentro do projeto, sendo A para arquiteto, C para engenheiro civil, Q para qualidade/custos e K para o cliente, Número do arquivo - cinco caracteres numéricos sequenciais, por exemplo 00001.

Automatizar os processos de nomenclatura de arquivos proporciona oportunidades para aprimorar a precisão e a eficiência dos processos de gerenciamento de informações. Adicionalmente, um dos impactos da adoção da nomenclatura automatizada dos arquivos no CDE é sua capacidade de simplificar a conformidade com a ISO 19650 (2018). Por sua vez, manter a conformidade da nomenclatura dos arquivos sob a ótica da ISO 19650 (2018) é amplamente visto como o primeiro passo no sentido da implementação do BIM e do trabalho colaborativo, pois assegura a utilização da nomenclatura convencional para a identificação e o compartilhamento de arquivos [16].

3.7. Manejo e fluxo dos metadados no CDE

Para gerenciar metadados em uma solução CDE, cada parte da informação é associada a um estado, revisão, pessoa responsável, data de envio, classificação e descrição. Assim, a verificação da garantia da qualidade pode ser conduzida através deste processo de gerenciamento de metadados.

Cada equipe de trabalho deve checar cada contêiner de informação associado para certificar-se de que está de acordo com os requisitos e métodos padrão e com os procedimentos de produção de informações do projeto. Caso contrário, a equipe de execução deverá rejeitar os contêineres com informações incertas e notificar a fonte

de tais informações para proceder às correções necessárias. Um projeto é um processo de trabalho colaborativo composto por muitas organizações e um plano de implementação em termos de criação dos dados pode propiciar o desenvolvimento de um modelo de informação federado. Portanto, quaisquer problemas ou conflitos no modelo de informação devem ser identificados durante a fase de produção dos dados e não após sua entrega [14].

Ainda de acordo com Radl e Kaiser [13], a matriz de aprovações deve ser criada de maneira a não aumentar a burocracia do projeto (por exemplo, assinaturas físicas desnecessárias, trânsito físico de documentos etc.).

4. Análise dos CDEs

4.1. Resultados do principais CDEs

Dada a análise e buscas pelos CDEs existentes, e para corroborar com os conceitos apresentados ao longo deste artigo, foram escolhidos os seguintes softwares CDEs (conforme Tabelas 1 e 2) conhecidos no mercado nacional e internacional devido a sua utilização ser acessível diante dos existentes, sendo estes: Colaborativo, Construmanager, Autodoc, Docs e Dalux. Sabe-se que no contexto nacional há diversos tipos de plataformas, porém nem todas se enquadram nos conceitos de CDEs conforme a norma ISO 19650 (2018).

Itens analisados	Significado
Suporta Armazenamento de Arquivos BIM	Consegue armazenar todos os arquivos que são utilizados no dia-a-dia de um fluxo BIM
Comparação de versões	Consegue comparar a versão PDF/DWG anterior de um projeto e a versão vigente
Controle de revisão	Faz automaticamente o controle de revisões de projeto
QR Code	Há a possibilidade de gerar QR Code automaticamente, dentro do diretório, e acrescentá-los às pranchas que irão para a obra. Dessa forma, é possível fazer o controle de projetos via celular em obra, verificando quando está ou não obsoleta as pranchas
Gestão de cópias em Obra	Por meio do <i>software</i> tem-se o registro de quais projetos estão em obra, qual a revisão e se está ou não atualizado
Lista mestra	Gera uma lista mestra de projetos automaticamente
Visualizador DWG, DWF	Visualização dos arquivos via CDE, possibilitando conferência de medidas locais
Visualizador PDF	Visualização dos arquivos via CDE, possibilitando integração de documentos de requisitos e plantas de projetos
Visualizador IFC	Visualização dos arquivos via CDE, possibilitando interoperabilidade e conferência de fechamento de arquivos.
Visualizar RVT	Visualização dos arquivos via CDE, possibilitando conferência de medidas locais
Permissões	Há um controle de permissão para cada usuário que está convidado a visualizar o projeto

Tabela 1
Descrição dos significados dos itens analisados.

Plugin para revit	Há um plugin específico para o software Revit (foi escolhido especificamente o Revit, pois o mesmo é um dos mais utilizados atualmente no mercado)
Acesso Celular/Tablet	Há aplicativo para utilização via celular e tablet
Conector Desktop	Há um aplicativo para computador que pode ser instalado e após isso é possível fazer a visualização da pasta do <i>software</i> diretamente no computador
Usuário	Quantidade de usuários por licença comprada
Controle de aprovação e validação de arquivos	Há um controle, por usuário, de quem pode ou não aprovar e validar os arquivos armazenados
Contêiner de arquivos obsoletos	Há um backup de todas as revisões obsoletas que foram substituídas pelas revisões vigentes
Codificação padrão de arquivos	É possível controlar qual a nomenclatura dos arquivos armazenados no diretório de projeto
Registro de equipamentos	Integração de fichas de especificações técnicas
Manutenção cumulativa	Registo de sequência de manutenções realizadas
Custos de manutenção	Pedidos e orçamentos de manutenção
Registo de datas de manutenções	Histórico de manutenções realizadas
Registo de propriedades de ativos	Registo de aluguel ou concessão de equipamentos
Ata de reunião	Há um espaço para registro de todos os apontamentos feitos em reuniões
Tarefas (Relatar Problemas)	Há a possibilidade de fazer um registro de requisição de alteração de projeto
Treinamento	É disponibilizado um treinamento específico pela empresa fornecedora

Tabela 2

Comparativo de recursos normativos presentes no CDE.

Itens analisados	Colaborativo	Construmanager	Autodoc	Docs	Dalux
Suporta Armazenamento de Arquivos BIM	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Comparação de versões	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Controle de revisão	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
QR Code	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Gestão de cópias em Obra	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Lista mestra	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Visualizador DWG, DWF	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Visualizador PDF	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Visualizador IFC	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Visualizar RVT	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Permissões	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Plugin para Revit	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Acesso Celular/Tablet	Sim	Não	Não	Não	Sim
Conector Desktop	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Usuário	ilimitado	25	15	1	ilimitado
Controle de aprovação e validação de arquivos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Codificação padrão de arquivos	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
Ata de reunião	Sim	Sim	Sim	Não	Não
Checagem de Modelo	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Treinamento	ilimitado	ilimitado	ilimitado	Não	Não
Registo de equipamentos	Sim	Não	Não	Sim	Não
Manutenção cumulativa	Sim	Não	Não	Sim	Não
Custos de manutenção	Sim	Não	Não	Sim	Não
Registo de datas de manutenções	Sim	Não	Não	Sim	Não
Registo de propriedades de ativos	Sim	Não	Não	Sim	Não
Contêiner de arquivos obsoletos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

5. Conclusão

O conhecimento adquirido a partir da busca exploratória sobre o tema CDE evidenciou a importância da conformidade dos *softwares* analisados com a norma ISO 19650 (2018) uma vez que apresentou uma solução para a integração de informações e suporte ao gerenciamento de troca, gravação, versionamento e organização entre todos os atores envolvidos nos ambientes de trabalho. Os critérios analisados seguiram as tarefas demandadas para o fluxo dos contêineres de informação conforme o estado de validação normativo: “*Work In Progress, Shared, Published e Archived*”. A maioria dos softwares respondeu efetivamente às tarefas automáticas necessárias para a mudança de estado. Contudo, tarefas pertinentes à etapa de operação e manutenção, não tiveram atendimento majoritariamente. Neste sentido, os softwares mostraram-se aptos ao bom atendimento ao PIM, referente às fases de entrega de projeto.

Referências

- [1] ISO 19650-1: 2018 “Organization of information about construction works – Information management using building information Modelling – Concepts and principles”, International Organization for Standardization (ISO), 2018.
- [2] R. McPartland. “O que é Common Data Environment (CDE)?” Site Corporativo da NBS <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-common-data-environment-cde>.
- [3] S. Ozkan, S. Seyis. Ozkan and S. Senem. “Identification of Common Data Environment Functions During Construction Phase of BIM-based Projects”, in *Proceedings of the 38th International Conference of CIB W78 (2021)*, Luxembourg, 2021, pp. 11-15.
- [4] C. Preidel; A. Borrmann; C. Oberender and M. Tretheway, “Work and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: Seamless integration of common data environment access into BIM authoring applications”: The BIM integration framework. CRC Press, 2017, pp. 119-128.

- [5] K. Y. Losev. "The common data environment features from the building life cycle perspective," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2020)* vol. 913, No. 4, pp. 042012.
- [6] Z. Akob; M. Zaidee; A. Hipni and R. Koka. "Coordination and Collaboration of Information for Pan Borneo Highway (Sarawak) via Common Data Environment (CDE)", in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2019)*, vol. 512, No. 1, pp. 012001.
- [7] D. Comiskey; M. Mckane, A. Jaffrey and P. Wilson "Comparing common data environment platforms for student collaborative working: A case study from Ulster University", in *Conference Proceedings of The 6th International Congress Of Architectural Technology University Of Alicante (2016)*, Alicante, ES (2016), pp. 213-231.
- [8] R. Jan and K. Jiri. "Benefits of implementation of common data environment (CDE) into construction projects", in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (2019) 022021* vol 471, doi:10.1088/1757-899X/471/2/02202.
- [9] ISO 19650-2: 2018 "Organization of information about construction works – Information management using building information Modelling – Delivery phase of the assets", International Organization for Standardization (ISO), 2018.
- [10] M. Scheffer, H. Mattern, M. König (2018) BIM Project Management. In: Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. (eds) Building Information Modelling. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_13.
- [11] V. Garyaeva, (2018). "Application of BIM Modelling for the organization of collective work on a construction project". *MATEC Web of Conferences*, 251. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825105025>.
- [12] M. Stransky "Functions of common data environment supporting procurement of subcontractors", *Engineering for Rural Development*, vol 19, pp. 793-799, 2020.
- [13] J. Radl; J. Kaiser. "Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) into Construction Projects". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, ano 2021, v. 2, ed. 471, 2021. DOI <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022021>.
- [14] N-S. Dang; G-T. Rho; C-S Shim. "A Master Digital Model for Suspension Bridges. Digital Model and Data-Driven Bridge Engineering: Plan, Design, Manufacturing, Construction, Safety and Maintenance," Korea, v. 10, ed. 21, 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/app10217666>.
- [15] S. O. Ajayi, F. Oyebiyi, and H. A. Alaka. "Facilitating compliance with BIM ISO 19650 naming convention through automation". *Journal of Engineering, Design*

and Technology (2021) Leeds e Hatfield, Reino Unido. <https://doi.org/10.1108/JEDT-03-2021-0138>.

- [16] M. Winfield. "Construction 4.0 and ISO 19650: a panacea for the digital revolution?" *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Management, Procurement and Law* (2020) Londres – Reino Unido. <https://doi.org/10.1680/jmapl.19.00051>

Projeto SECCLASS – O desenvolvimento de um sistema de classificação da construção com componente de sustentabilidade adaptado ao BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.23>

Angie Mendez¹, Daniel Cale², Filipa Salvado³,
Inês Almeida¹, João Manuel Miranda¹, José Granja⁴,
Luís Fonseca¹, Manoel Wagner de Mello², Maria João Falcão Silva³,
Marta Campos⁵, Miguel Azenha⁴, Mohamad El Sibaii⁴,
Paula Couto³, Ricardo Pontes Resende², Rodrigo Tavares Lima³,
Sara Parece², Tiago Pedro²

¹ A-Lab, Oslo

² Iscte – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 0000-0001-9366-0638 (DC),
0000-0001-6368-5068 (MWM), 0000-0002-2155-5625 (RPR),
0000-0001-8864-7391 (SP), 0000-0002-7345-4906 (TP)

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 0000-0003-4586-4323 (FS),
0000-0002-3723-0948 (MIFS), 0000-0002-2663-3565 (PC),
0000-0003-4236-8914 (RTL)

⁴ Universidade do Minho, Guimarães, 0000-0002-0858-4990 (JG),
0000-0002-0810-9241 (MS), 0000-0003-1374-9427 (MA)

⁵ Marta Campos Arquitetos, Porto

Resumo

O projeto SECClass – Sustainability Enhanced Construction Classification System – financiado pelo EEA Grants – pretende facilitar a Economia Circular na Construção introduzindo um Sistema de Classificação de Informações sobre Construção otimizado para a Sustentabilidade. Este sistema será orientado para a metodologia BIM e servirá não só a componente de sustentabilidade, mas também os restantes usos BIM, como a gestão do processo BIM, extração de quantidades, compatibilização de especialidades ou planeamento de obra, e todas as fases do ciclo de vida.

É objetivo do projeto que o sistema de classificação seja usado pelos profissionais do projeto, construção e responsáveis pela gestão e manutenção de edifícios e outras infraestruturas. Um sistema de classificação permite unificar a terminologia a todas as escalas, facilitando a comunicação, seleção de materiais e componentes, bem como uma avaliação precisa dos impactos dos edifícios ao longo do seu ciclo de vida, com o objetivo de melhorar o desempenho dos edifícios e redução dos resíduos através de ferramentas digitais de gestão e seleção informada dos elementos construtivos.

Este trabalho apresenta os frutos do projeto até à data, que incluem a tradução do sistema *Uniclass 2015*, as primeiras implementações do sistema em pilotos e ambientes de produção, e o trabalho e resultados esperados até à sua conclusão no final de 2022.

1. Introdução

O setor Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) representa cerca de 10% do PIB europeu, mas tem um impacto ambiental desproporcionado: é responsável por metade do consumo de energia e matérias-primas, um terço do consumo de água e 40% dos gases de efeito estufa. Enquanto outras indústrias têm procurado adotar materiais mais inócuos e apostaram na redução e reutilização, a indústria AECO é tradicionalmente mais resistente à inovação e mudança, não só no que diz respeito ao impacto ambiental, mas também noutros campos, como a vaga de digitalização que percorre todos os setores.

Como resposta, a União Europeia lançou a iniciativa New Bauhaus, uma iniciativa criativa que tem como objetivo combinar sustentabilidade, inclusão e estética na Construção. Pretende-se “uma vaga de renovação europeia (...) torne a nossa União líder da economia circular” (https://europa.eu/new-european-bauhaus/index_pt). Em outubro de 2020 a EU lançou a iniciativa *Level(s)* que visa estabelecer um enquadramento e uma ferramenta universal de avaliação da performance ambiental e económica da construção ao longo do ciclo de vida, promovendo práticas de projeto para a eficiência energética, hídrica e do material, e para a criação de espaços mais confortáveis. Reconhecendo que existem dezenas de ferramentas de avaliação, classificação e certificação ambiental da construção, a nível nacional e internacional (<https://worldgbc.org/rating-tools>), o *Level(s)* “procura alinhar os esquemas de certificação europeus mais reconhecidos com os critérios de *Level(s)*. Além disso (...) o *Level(s)* irá evoluir no sentido de integrar as práticas nacionais de contratos públicos” (<https://lifelevels.eu/>).

As tecnologias de informação, e em particular a metodologia *Building Information Modelling* (BIM), está no centro da modernização do setor na Europa, com os nórdicos e Reino Unido a assumir a dianteira. O BIM permite a representação digital dos edifícios construídos e por construir, associando a descrição geométrica num modelo tridimensional às diversas informações sobre componentes e materiais de construção, funções e atividades espaciais. O modelo, para além de cumprir as funções tradicionais de conceção do projeto e suporte da construção como a deteção de conflitos, quantificação e estimativa de custos, alimenta simulações de energia e iluminação, análises de ciclo de vida (ambientais - LCA e custos - LCC) e ainda pode ser incorporado em plataformas de gestão de edifício.

A implementação do BIM em Portugal é uma realidade e os profissionais há muito pedem um Sistema de Classificação (CICS) que permita a classificação unívoca de elementos, sistemas, espaços e atividades que facilite a interoperabilidade e comunicação ao longo do ciclo de vida.

Há, portanto, sinergias importantes entre a onda de renovação verde na construção em preparação e a revolução nos métodos de trabalho alicerçada no BIM, sinergias estas que o projeto *Sustainability Enhanced Construction Classification System – SEC-ClasS* – visa fomentar. O SEC-ClasS assumiu uma abordagem pragmática: a comunidade

profissional tem necessidade premente de um CICS a aplicar em projetos nacionais e internacionais. Por outro lado, a construção sustentável não é, para já, uma prioridade prática para a maior parte do meio técnico. Este projeto irá fornecer um CICS que para além de ajudar nas medições, orçamentação e gestão de instalações assistirá na tomada de decisões de projeto e sensibilizar para a escolha de materiais e componentes mais sustentáveis, que se irão tornar imperativas.

O SECClass é financiado pelo Mecanismo Financeiro plurianual, conhecido como EEA Grants, uma ferramenta do Acordo do Espaço Económico Europeu através do qual a Islândia, o Liechtenstein e a Noruega promovem o reforço das relações económicas e comerciais. As EEA Grants têm como objetivos reduzir as disparidades sociais e económicas na Europa e reforçar as relações bilaterais entre estes três países e os países beneficiários. O projeto tem cinco parceiros com diferentes áreas de expertise que se complementam: o centro de investigação ISTAR, do Iscte – Instituto Universitário de Lisboa que coordena o projeto, os ateliers de arquitetura A-Lab (Noruega e Portugal) e Marta Campos Arquitetura, o Laboratório Nacional de Engenharia Civil e a Universidade do Minho. Mais informações sobre o projeto estão disponíveis em www.secclass.pt.

Os objetivos agrupam-se em duas vertentes que são interdependentes e se potenciam. Em primeiro lugar, selecionar, traduzir e adaptar um sistema de classificação internacional, desenvolver as ferramentas de pesquisa e aplicação do sistema e promover o seu uso, e desenvolver as regras para os objetos BIM adaptadas a este sistema. Em segundo lugar, explorar a aplicação destas ferramentas ao sistema *Level(s)* nas componentes de consumo de materiais, produção de resíduos de construção, adaptabilidade e demonstrabilidade de edifícios.

2. Sistemas de Classificação

Na adoção de um sistema existente como ponto de partida, o projeto analisou, entre outros documentos, um estudo desenvolvido pela Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Técnica Checa em Praga, em associação com a Agência Checa para a Normalização (PS03). Neste estudo os sistemas CoClass (Suécia), CCS (Dinamarca) e Uniclass 2015 (Reino Unido) foram os mais bem avaliados, segundo parâmetros alinhados com os objetos projeto SECClass, como a conformidade com as normas ISO 12006-2 e ISO/IEC 81346, os códigos de referência, as licenças de utilização, a interoperabilidade, a atualização dos sistemas e a componente de sustentabilidade. Nessa sequência, foram ainda feitos contactos diretos com entidades como a NBS, que gere o sistema Uniclass e o Ministério da Economia e Comunicações da Estónia, que desenvolve o sistema CCI.

O estudo, apresentado no *webinar* de 6/10/ 2021 e disponível em www.secclass.pt, conclui que o Uniclass 2015 ("*Unified Classification for the Construction Industry*"), é o mais apropriado como base do CICS para Portugal. Nesta decisão pesou a autorização para a sua tradução, a adaptação concedida pela NBS, a adequação

à metodologia BIM, a implementação em bibliotecas de objetos, e ao facto de ser totalmente em inglês.

Salienta-se ainda outras prerrogativas como a atualização constante do sistema (trimestral), a possibilidade de expansão do sistema, a relevância e pertinência das tabelas; a integração de várias áreas, incluindo infraestruturas, e ao facto de ser usado atualmente por algumas empresas portuguesas.

2.1. Adaptação do sistema Uniclass 2015

O Uniclass 2015 é desenvolvido no Reino Unido pela NBS (www.thenbs.com). É aplicável a edificações, trabalhos de arquitetura e engenharia em geral, conforme recomendado pela ISO 12006-2. Está dividido em 12 tabelas que somam 14614 termos de construção (início de 2020), que categorizam informação sobre estimativas de custos, especificações ou documentação sobre produtos, entre muitas outras utilizações.

No processo de tradução e adaptação à realidade portuguesa, foram traduzidos os títulos das tabelas, mas não as abreviaturas originais, mantendo a interoperabilidade com o sistema original. A tabela seguinte descreve as tabelas do sistema.

Tabela	Finalidade	# termos
Complexos (Co)	Descreve o projeto em termos gerais. Exemplos: uma moradia com jardim e garagem, um complexo hospitalar, um campus. Em termos de modelação corresponde, em geral, a um modelo federado contendo vários modelos de edifícios, paisagismo, etc.	389
Entidades (En)	Descreve um edifício ou infraestrutura. Exemplo: edifício escolar, residencial, cantina, piscina ou viaduto. Também aplicada a nível do modelo.	508
Atividades (Ac)	Define atividades que podem ser desenvolvidas em complexos, entidades ou espaços (tabela seguinte). Inclui ainda atividades ligadas à gestão de projeto, prospeção ou manutenção. Pode ser associada a Espaços e Locais, Entidades ou Complexos.	918
Espaços/ Locais (EL)	Descreve os espaços onde se desenvolvem as atividades. No caso dos modelos de edifícios são associados aos Rooms e Spaces.	952
Elementos/ Funções (EF)	Descreve de forma geral as funções dos componentes do edifício: pavimentos, paredes, coberturas, abastecimento de água. Atribuído aos componentes do modelo em fases preliminares do projeto, como um pavimento sobre o qual ainda não se decidiu o sistema estrutural e construtivo.	105
Sistemas (Ss)	Conjuntos de elementos que cumprem uma função, tal como ventilação, suporte estrutural, separação entre espaços. No caso de modelos é atribuído a elementos genéricos que ainda não foram prescritos em detalhe.	2327
Produtos (Pr)	Os produtos individuais que constituem os sistemas, que por sua vez constituem a obra. É a tabela mais extensa e é usada para descrever em detalhe cada elemento do modelo.	7595
Ferramentas e Equipamentos (TE)	Equipamentos, ferramentas e instalações necessários à construção e sua manutenção.	817
Gestão de projeto (PM)	Descreve as atividades de gestão de projeto a utilizar ao longo de todo o ciclo de vida de um projecto.	541
Formas de informação (FI)	Exemplos: memorando, modelo tridimensional, desenho, relatório, etc. Pode ser usado para caracterizar ficheiros, p.e.	99
Agentes (Ro)	Exemplos: gestor de projeto, arquiteto, topógrafo.	231
CAD (Zz)	Nomenclatura de layers de CAD.	132

Tabela 1
Tabelas do sistema Uniclass 2015.

Durante esta atividade considerou-se fundamental a participação do meio técnico, concretizada com a indispensável colaboração com a Comissão Técnica de Normalização BIM CT197, através do Grupo de Trabalho “Classificação”.

3. Objetos

No âmbito da modelação orientada por objetos inerente aos software que materializam modelos BIM, a adequabilidade da informação contida nas classes de objetos é de importância central na qualidade geral dos modelos gerados. Assim sendo, revelou-se de importância a existência de normas/guias para objetos BIM como as [1], [2] que asseguram que os produtos da indústria e especificamente as propriedades gráficas e não gráficas são partilhadas de uma forma padronizada, facilitando o uso da informação e o adequado controlo da respetiva qualidade. Cabe, no entanto, a cada país (ou contexto profissional) a fixação de informação complementar para cada tipo de objeto de construção (p.ex. janelas, portas, pavimentos, sanitários, etc) dos dados padronizados, o que nos leva ao conceito de Modelos de Dados de Produtos (PDT), documentos digitais que incluem informação para utilização em todas as fases do ciclo de vida de um produto e por todas as partes interessadas envolvidas [3].

Assim, os esforços nesta tarefa sobre “Objetos” do projeto SECCLASS destinam-se a contribuir, apoiados pelo grupo de trabalho “Objetos” da CT197 e em ligação com o projeto REV@CONSTRUCTION, para a criação de um guia de regras de objetos BIM, ligado ao conceito de PDT, para o contexto português. O resultado destes esforços manifestou-se no documento “Regras para Modelação de Objetos BIM”, que aborda questões relativas à classificação de objetos, interoperabilidade baseada no IFC, nomenclatura de objetos, materiais e propriedades, requisitos de propriedades, seus valores e unidades, e ligação de objetos a PDTs [4]. Estão ainda a ser desenvolvidos PDTs para três produtos de construção comuns: portas, pias e vigas de madeira, como exemplo para a indústria. Para mais detalhes sobre este processo, poderá ser consultado o artigo de Sibai et al neste mesmo congresso [5].

4. Aplicações de suporte ao sistema de classificação

Para disponibilizar o trabalho desenvolvido de forma livre e aberta foi desenvolvida uma aplicação online para pesquisa no SECCLasS e receber feedback. A arquitetura do sistema foi desenvolvida com tecnologias atuais e *open-source* para permitir o desenvolvimento futuro, hospedado num servidor virtual privado (VPS) Linux CentOS 7. A aplicação está instalada num sistema composto por um modelo tradicional de serviço com *back-end* e *front-end*. O primeiro é constituído por uma base de dados *NoSQL MongoDB*. Para manter a segurança e funcionamento de toda a aplicação a única ligação para controlo de acesso é feita pela framework *NodeJS+Express.js*, onde foram programadas todas as automatizações e funções do sistema, bem como todas as REST API que alimentam as aplicações e funcionalidades futuras do SECCLasS. Como *front-end* para interação com os utilizadores foi desenvolvido uma visualização

web em React.js, com visual simples e limpo com funções de fácil utilização, independente do *back-end* ou base de dados.

A principal funcionalidade da aplicação web é a sua disponibilidade online em pesquisa.seccclas.pt que permite pesquisar termos ou códigos e que devolve os resultados em forma de tabela, sendo possível filtrar por tabela ou nível de pesquisa e recolher e visualizar comentários que são guardados na base de dados para análise e resolução por parte do gestor do sistema.

Estão previstos mais desenvolvimentos futuros nesta aplicação, nomeadamente a otimização da página de visualização das tabelas, a visualização em árvore de família do sistema SECClasS e respetivas tabelas, a criação de perfis de utilizador e a ligação das API do servidor *back-end* a futuras aplicações e *softwares*.

The screenshot displays the SECClasS application interface. On the left, there is a search filter section with a search bar containing 'pilar', a 'Tabela' dropdown set to 'Sistemas (5)', a 'Nível' dropdown set to '4 - Objecto', and a 'Revisão por especialidade' dropdown. Below these is a 'Visualizar' button. The main area shows search results for 'Sistemas de pilar e pilar de ponte'. A table lists results with columns for 'Código', 'Título (PT)', 'Título (EN)', 'Tabela', 'Nível', and 'Ações'. The table contains five rows of data. To the right, there is a detailed view for 'Sistemas de pilar e pilar de ponte' showing metadata like 'Tabela: Sistemas', 'Código: Ss_20_50', and 'Título SECClasS: Sistemas de pilar e pilar de ponte'. Below this is a 'Comentários' section with a text input field, a 'Nome' field with 'nome@email.pt', and an 'Instituição/Empresa' field. A 'Enviar' button is at the bottom of the comment form. A table below the comment form shows a list of comments with columns for 'Data', 'Comentário', 'Autor', and 'Instituição'.

Código	Título (PT)	Título (EN)	Tabela	Nível	Ações
Ss_20_05_90_10	Sistemas de sustentação de betão não reforçado de vigas e pilares	Beam and pier unreinforced concrete underpinning systems	Sistemas	4	Mostrar
Ss_20_50	Sistemas de pilar e pilar de ponte	Bridge abutment and pier systems	Sistemas	2	Mostrar
Ss_20_50_10	Sistemas de pilares de ponte	Abutment systems	Sistemas	3	Mostrar
Ss_20_50_10_10	Sistemas de pilar de ponte	Bank seat abutments	Sistemas	4	Mostrar
Ss_20_50_10_30	Sistemas de parede de contenção e pilares de ponte	Embedded retaining wall bridge abutments	Sistemas	4	Mostrar

Data	Comentário	Autor	Instituição
07/01/2022	Substitua-se em todas as entradas desta secção "Abutment" por "Encostos"	Ricardo Resende	ISCTE-IUL

Figura 1
Aplicação de pesquisa (esq.) e módulo de comentários (dir.).

4.1. Outras ferramentas de suporte ao uso do SECClasS

Para além da disponibilização das tabelas em <https://secclass.pt/pesquisa/e> em formato XLS e TXT para descarga em www.secclass.pt, são desenvolvidas ferramentas que facilitam o processo de classificação e exploração das potencialidades dos modelos classificados. Foi elaborado o ficheiro de texto com os parâmetros partilhados necessários para albergar as classificações de objetos, espaços e projeto para o Revit. Os nomes dos parâmetros seguem as regras do Manual de Objetos BIM descrito na secção anterior. Como a classificação manual é morosa e suscetível a erros, desenvolveu-se ainda o ficheiro Excel customizado para o *Revit Classification Manager* (<https://interoperability.autodesk.com/>) e permite classificar de forma mais rápida e com menos erros. Está ainda a ser desenvolvida um índice de termos comuns, à semelhança do NATSPEC BIM Properties Generator (<https://www.propgen.bim.natspec.com.au>).

Por outro lado, cientes que os utilizadores podem trabalhar com mais de um sistema de classificação, foi embebida na base de dados de suporte do SECClasS a possibilidade de estabelecer equivalências entre sistemas e estão a ser desenvolvidas rotinas *Dynamo* para a atualização de modelos classificados. Finalmente, serão desenvolvidos tutoriais em vídeo.

Estas ferramentas destinam-se Revit, usado por uma larga maioria de utilizadores no nosso país. Os utilizadores de outros softwares podem desde já usar a ferramenta de pesquisa ou adaptar os ficheiros XLS, mas existe a intenção de disponibilizar o sistema para outros softwares.

Ambiciona-se ainda otimizar e automatizar o processo de classificação dos elementos presentes no modelo BIM através de um sistema de Inteligência Artificial. Este sistema poderá sugerir quais as classes do CICS mais prováveis para cada um dos elementos do modelo.

Com relação às metodologias de promoção e avaliação da circularidade de materiais, o projeto SECCLasS está a desenvolver ferramentas de suporte para a o sistema *Level(s)*, com ênfase no Macro Objetivo 2: **Resource efficient and circular material life cycle**.

A respeito do indicador 2.1: *Bill of Quantities, materials and lifespans*, está a ser estabelecido relação direta com os níveis WBS (*Work Breakdown Structure*) facilitando a extração de BoQ (*Bill of Quantities*) e BoM (*Bill of Materials*), em BIM com o modelo proposto pelo *Level(s)*. Em adição, será associado aos níveis WBS as respetivas sugestões sobre Tempo de vida dos produtos e sistemas. Sobre o indicador 2.2: *Construction and Demolition waste and materials*, está a ser estabelecido relação direta entre as tabelas Produtos (Pr) e Sistemas (Ss), o código da lista de resíduos do Catálogo Europeu de Resíduos, o tipo de entrada e a natureza dos resíduos. Em adição, será definida uma propriedade para cenários de fim de vida espectáveis. Este método, juntamente com o BoM (*output* do indicador 2.1), irá automatizar a elaboração do Inventário de Resíduos de Construção de acordo com o modelo proposto. Sobre o Indicador 2.3: *Design for adaptability and renovation* e indicador 2.4: *Design for deconstruction*, estão a ser elaborados rotinas e modos de visualização que, através do SECCLasS, podem facilitar o cálculo de cada indicador de desempenho de Adaptabilidade e Desconstrução.

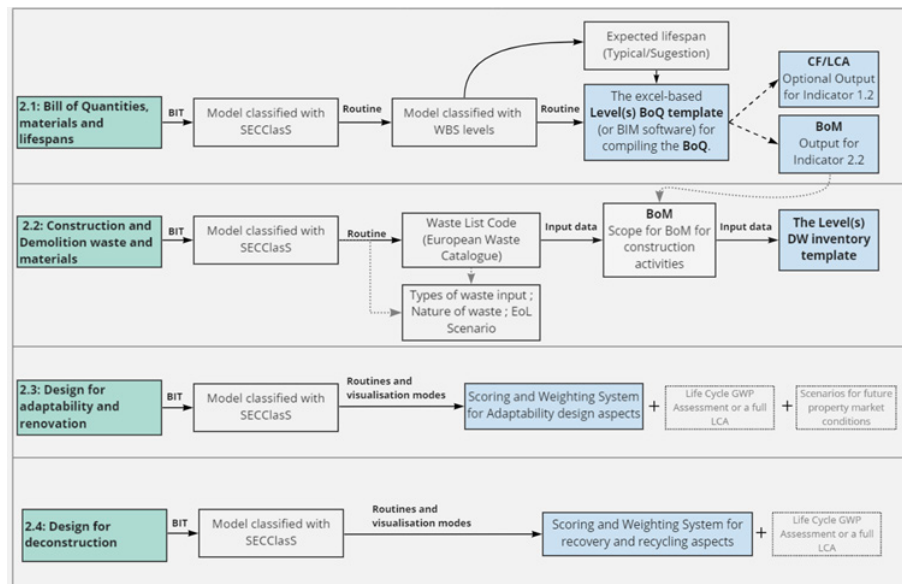


Figura 2
Ferramentas de suporte SECCLasS para o Macro Objetivo 2 da metodologia *Level(s)*.

5. Pilotos

No desenvolvimento dos pilotos foram tomadas duas decisões: a definição das tipologias de projeto e o nível de classificação, e a definição de uma metodologia de classificação. Os projetos piloto foram selecionados pelos gabinetes de arquitetura parceiros do projeto, tendo sido selecionados, para o início desta atividade, um complexo residencial construído de raiz na zona do Algarve, uma residência unifamiliar no Norte e um edifício em remodelação na cidade do Porto. Pretende-se ainda desenvolver pilotos de obras de cariz público. Foi ainda definido que as fases do ciclo de vida e o nível de desenvolvimento da informação nos modelos deveriam ter diferentes estados, para se apresentar a versatilidade e benefícios em diferentes alturas do processo de construção, utilizando o maior número de tabelas possíveis.

Para a metodologia de classificação, é usado o BIM Interoperability Tools (BIT), mas estão também disponíveis no site as tabelas para o software Archicad. A figura abaixo ilustra o processo utilizado.

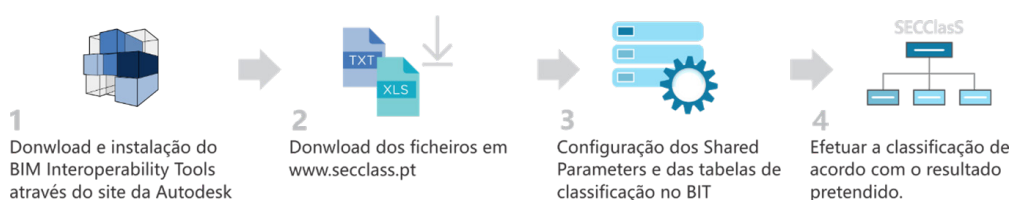


Figura 3
Fluxo do processo de configuração do Revit até à classificação final dos elementos.

5.1. Piloto 1

Piloto 1 trata-se de um edifício de habitação plurifamiliar a ser construído em 2022, com 38 apartamentos e áreas comuns correspondentes a salas de convívio, fisioterapia, biblioteca, spa, piscina interior, jardim e terraço. O modelo foi desenvolvido em Revit, de acordo com metodologia projetual A-lab. A estruturação do modelo corresponde ao esquema abaixo, que diferencia as partes construtivas constituintes do projeto: estrutura (structure/core); elementos interiores (interiors), e “caixa” exterior (shell). O nível de desenvolvimento corresponde a uma fase específica de colaboração / coordenação, equivalente ao LOD 300, um modelo que permite documentar licenciamento e projeto de execução, tendo sido utilizado para deteção de conflitos entre especialidades e quantificação e estimativa de custos. Permitiu ainda rápidas simulações de iluminação, e está a ser utilizado neste piloto para cálculos expeditos de emissões de carbono incorporado.

Neste modelo estão a ser testadas e validadas todas as categorias de classificação SECClasS. Foi dado ênfase à descrição programática: tabelas Elementos/funções (EF) e Espaços/ locais (EL). O modelo tem servido igualmente para gerar, testar e validar as ferramentas necessárias para o funcionamento adequado da classificação SEC-ClasS como os parâmetros (*shared parameters*) e as propriedades (*property sets*) a exportar para IFC.

Este piloto serve não só como caso de estudo para o sistema de classificação mas também para alinhar uma metodologia processual associada a princípios de sustentabilidade, tendo em conta a natureza comercial e contratual dos projetos de arquitetura. Pretende-se integrar estudos expeditos que informem decisões de projeto associadas à sua sustentabilidade: os modelos correspondem aos níveis de informação dos vários momentos de design do edifício, sensibilizando para a integração de análises de eficiência energética e de emissões de carbono, desde a definição volumétrica até à seleção de materiais e sistemas construtivos.

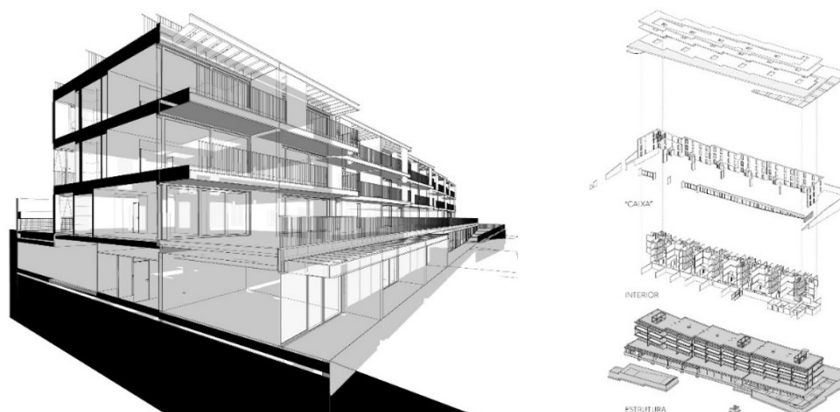


Figura 4
Piloto 1 – Edifício de habitação plurifamiliar (esq.) e categorias construtivas (dir.).

5.2. Piloto 2 e 3

O Piloto 2 é uma construção de raiz, um edifício de habitação unifamiliar tipologia T3 constituído por dois volumes térreos, com orientação Este/Oeste, paralelos ligados por um volume de menor cêrcea que funciona como espaço de chegada e interface. O desenvolvimento Este/Oeste dos volumes permite a prevalência de paramentos com orientação Sul, usufruindo de aquecimento e arrefecimento passivos.

O Piloto 3 é a reabilitação e ampliação de um edifício do séc. XIX com o objetivo de inscrever duas frações autónomas: um estabelecimento de restauração e bebidas no piso 0 e uma habitação nos pisos 1, 2 e 3. As características do lote, extremamente estreito e profundo, a envolvente e os requisitos legais determinaram fortemente o desenho, que utiliza um pátio interior sobre o qual se desenvolve o projeto e dá resposta a questões de iluminação e ventilação.

Ambos modelos dos Pilotos 2 e 3 ancoram-se na metodologia de projeto do atelier - Marta Campos - Arquitectura e correspondem à fase de projeto de execução, com extração de mapa de trabalhos e quantidades e estimativa de custo de construção, pelo que o nível de detalhe é necessariamente elevado. Estes modelos servirão como caso de estudo para análise crítica da metodologia de classificação, retirando ilações sobre práticas a recomendar na adoção de um sistema de classificação da construção numa fase de desenvolvimento avançada.

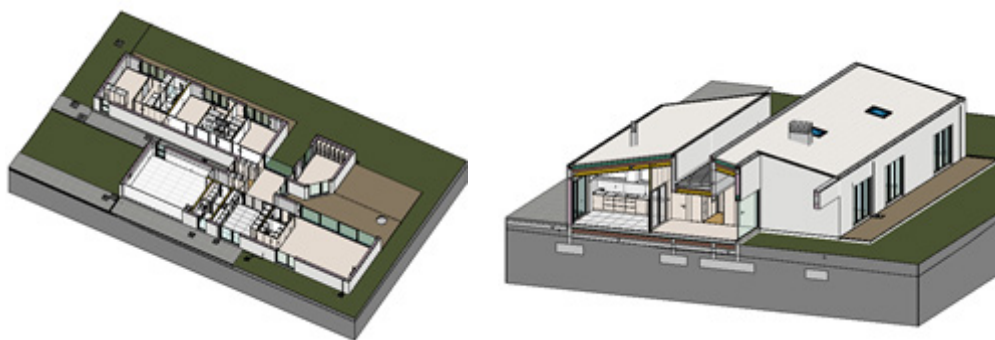


Figura 5
Imagens do Piloto 2.

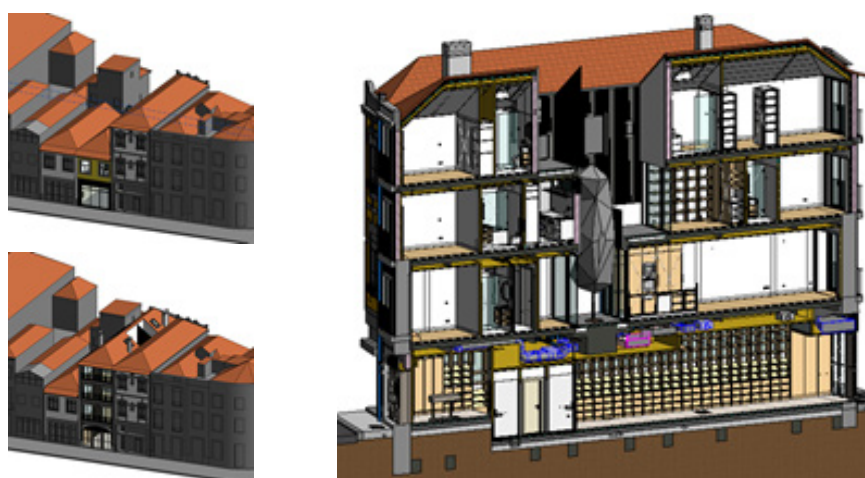


Figura 6
Piloto 3: existência (esq. topo), intervenção (esq. base), corte intervenção (dir.).

6. Conclusões

Este trabalho descreve de forma resumida o primeiro ano do projeto, incidindo sobre o desenvolvimento de um sistema de classificação nacional.

Até janeiro de 2022 tem sido desenvolvido o trabalho menos visível do projeto, nomeadamente a tradução do sistema, o desenvolvimento da aplicação de pesquisa, elaboração das regras para objetos e o arranque dos pilotos, descritos ao longo do texto.

O foco em 2022 é a aplicação do CICS em projetos-piloto e o desenvolvimento de metodologias de promoção e avaliação da circularidade de materiais, para além da disseminação através do site, redes sociais e eventos como workshops.

A existência e aplicação nos projetos reais de um sistema de classificação é uma etapa importante da maturidade BIM, e é imprescindível para os usos mais sofisticados que serão cada vez mais importantes. O projeto pretende contribuir decisivamente para este importante passo, com e para o meio técnico nacional.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Projeto 19_Call#2_SECCLasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System, financiado pelo EEA Grants Portugal; parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito dos projetos UIDB/04466/2020 e UIDP/04466/2020 da Unidade de I&D ISTAR-IUL – Centro de Investigação em Ciências da Informação, Tecnologias e Arquitetura; no âmbito do projeto UIDB / 04029/2020 da unidade de I&D Instituto para a Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE); e apoiado pelo Comité Técnico de Normalização CT197.

Os autores agradecem ainda às várias empresas e entidades que colaboram com o projeto SECCLasS: BuiltColab, CT197, Quadrante Engenharia, Grupo Casais, Limsen Consulting, Dimscale, Saraiva e Associados e Infor.

Referências

- [1] “NBS BIM Object Standard – NBS National BIM Library”. <https://www.national-bimlibrary.com/en/nbs-bim-object-standard> (accessed Jan. 10, 2022).
- [2] “NATSPEC BIM – Open BIM Object Standard”. <https://bim.natspec.org/documents/open-bim-object-standard> (accessed Jan. 10, 2022).
- [3] P. Mêda, H. Sousa, and E. Hjelseth, “Data Templates – Product Information Management Across Project Life-Cycle”, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-46800-2_5.
- [4] SECCLasS, “Regras de modelação de objetos BIM”. Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://Secclass.pt/relatorios/regras-de-modelacao-de-objetos-bim/>
- [5] M. Sibaii, J. Granja, R. Resende, J. Santos, A. Aguiar Costa, and M. Poças Martins, J. Azenha, “Rumo à definição de ‘Product Data Templates’ nacionais para aplicação generalizada em contexto BIM: esforços da CT197”, 2022.

Evolução nos processos de projetar arquitetura e especialidades – Uma transição digital para o BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.24>

José Carlos Lino¹, Juliana Mizumoto²,
João Silva³, Célio Pereira³, Frederico Leite³

¹ BIMMS BIM Management Solutions, Porto, ID ORCID 0000-0002-1227-600X

² CIAUD, Lisboa, ID ORCID 0000-0003-3698-4825

³ IPERFORMA, Porto

Resumo

Dentro da indústria da construção, os projetos de Arquitetura e Engenharia foram das primeiras áreas a serem impactadas com o advento do *Building Information Modelling* (BIM). Seja por atuarem em mercados internacionais mais maduros em contratação BIM, seja porque os seus clientes de sempre também começaram a exigir BIM, criou-se uma pressão sobre os gabinetes de projeto para adotarem BIM nos seus processos que já se torna difícil de ignorar. O grande desafio dessa transição consiste em passar de um modo de projetar tradicional baseado em convenções de desenho (CAD), para um baseado em objetos digitais com informação (BIM). Esta mudança exige reformulação da capacitação dos colaboradores com novas ferramentas digitais de modo a adquirirem novas competências profissionais, mas exige também a adequação dos processos para este novo modo de conceber o gémeo digital.

A Iperforma é um grupo de Arquitetos e Engenheiros com cerca de 4 décadas de existência, que sempre colocou um elevado grau de exigência nos seus processos internos de padronização e que tem vindo a fazer uma progressiva adequação a estes novos desafios, não abdicando dos padrões de elevada qualidade que caracterizam a cultura deste gabinete.

Neste trabalho apresenta-se o resultado de mais um desses ciclos iterativos de inovação para a transformação digital, que durou cerca de 11 meses e que englobou um diagnóstico de avaliação de maturidade, um plano estratégico de implementação, documentação especializada, formação dos colaboradores nos níveis conceptual, instrumental e profissional, bem como alguns testes iniciais de aplicação em pequenas provas de conceito.

Palavras-chave: Projeto de Arquitetura, Projeto de Especialidades, Implementação BIM, Processos BIM, Transição Digital.

1. Introdução

O *Building Information Modelling* (BIM) tem impactado toda a indústria de construção, e os projetistas de Arquitetura e Engenharia em particular, enquanto primeiros intervenientes no ciclo de vida do ativo a construir. Nos últimos anos tem-se assistido a uma crescente adoção do BIM por estes atores, incentivados pelos clientes e pelos mercados a fazerem uma transição para o BIM, deparando-se com a crescente imposição de normas e protocolos BIM a nível nacional e internacional [1].

Um dos grandes desafios dessa transição consiste em abandonar os tradicionais modos de projetar, baseados em convenções geométricas (CAD) para passar para modelos digitais, enriquecidos de informação e usando semânticas interoperáveis e facilmente interpretáveis por computadores, logo automatizáveis (BIM) [2]. A gestão desta mudança traz naturalmente resistências e desafios, nomeadamente a necessidade de atualizar as competências profissionais e a capacitação dos colaboradores no uso de novas ferramentas digitais [3], mas também a necessidade de adequação dos processos tradicionais a um novo modo de conceber o projeto e obter um gémeo digital do ativo idealizado [4].

Apesar da implementação BIM já ser alvo de estudos e publicações há vários anos, não existe ainda consenso à volta de algum guião pré-estabelecido, que seja considerado universal e que descreva um modo único como conduzir uma implementação BIM. Onde muitos autores convergem, é na opinião de que cada implementação é única e deverá ser encarada como única e dependente das condições específicas do sistema organizacional em que se insere, bem como do seu entorno e conjuntura [5] [6]. A Universidade de Pensilvânia lançou uma das mais adotadas investigações nesta área e a partir da qual muitos outros desenvolveram e aperfeiçoaram linhas de ação. Com foco num Plano de Execução BIM [7] mas também num plano estratégico de Implementação BIM para donos de obra [8] esta investigação desenvolveu uma base importante sobre os passos necessários numa implementação BIM. Também Succar et. al [9] estruturam uma metodologia de implementação e de enquadramento integrada com uma avaliação da maturidade em diversos eixos e níveis. Vários autores têm abordado esta área, complementando estes trabalhos e outros com identificação dos principais desafios a superar e sugestões sobre os modos mais impactantes de integrar o BIM nas organizações e nos seus processos [10] [11].

Em Portugal, a experiência da consultora BIMMS na aplicação prática do BIM em organizações, desde projetistas, construtores, fornecedores, entidades e donos de obra, tem sido referenciada e publicada [12] [13]. Desta experiência tem resultado também a confirmação de que uma implementação BIM, que procure abordar os múltiplos componentes do BIM, depende muitas vezes do sucesso obtido junto das pessoas, pelo que se torna mais um exercício psicológico que meramente um exercício tecnológico [14].

Neste artigo descreve-se um primeiro ciclo da implementação BIM na Iperforma, uma empresa de Projeto e Coordenação de Arquitetura e Especialidades, apresentando

uma metodologia estruturada e comprovada e que pode ser útil a muitas outras organizações do setor.

2. Enquadramento

A Iperforma, fundada há cerca de 4 décadas, doravante designada por empresa, tem por atividade principal a consultoria em Arquitetura e Engenharia, e desde cedo pugnou por um elevado grau de qualidade nos serviços prestados aos seus clientes. Orientada por políticas de elevado rigor, desde há muito que desenvolveu os seus processos internos de padronização e normalização como resposta às necessidades de coordenação interna e de resposta aos requisitos dos seus projetos. Ciente da necessidade de inovação e adaptação ao progresso tecnológico, e respondendo às crescentes exigências dos seus clientes, a Iperforma sempre teve preocupações em se manter na linha da frente da transformação digital, tendo colocado como objetivo a capacidade de desenvolver os seus projetos dentro da metodologia BIM, no curto prazo. Para este projeto foi criada uma *task force* constituída por um representante da gestão de topo, um representante do corpo técnico e um Bim Manager da IPERFORMA, coadjuvados por consultores BIMMS com experiência em implementação. Devido à pandemia, o isolamento trouxe algumas dificuldades acrescidas para a comunicação e formação na empresa, mas com métodos híbridos, à distância e presenciais, desenvolveram-se os trabalhos que se apresentam neste artigo.

3. Metodologia de implementação BIM

O projeto de Implementação BIM na empresa, começou por ser concebido e planeado e só depois executado. Esta implementação foi organizada em 4 fases: Fase 1 – Diagnóstico e Alinhamento; Fase 2 – PIB – Plano de Implementação BIM; Fase 3 – Formação e Fase 4 – Apoio Técnico/Projetos Piloto (Figura 1). Estas fases não aconteceram seguindo esta ordem cronológica, pois existiu sobreposição de fases no cronograma, ou seja, iniciou-se a ação ainda antes do Plano estar totalmente concluído, mas quando já existiam condições e planeamento para ações parciais.

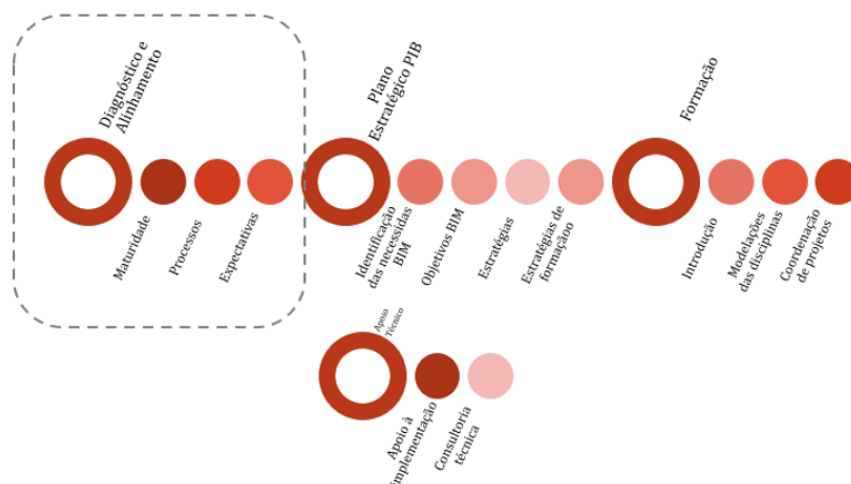


Figura 1
Faseamento do Projeto de Implementação BIM.

A *task force* que orientou esta implementação, desde cedo deu muita importância ao planeamento cuidado e detalhado pelo que foi elaborado um mapa mental em que se procurou esmiuçar a abordagem a cada uma das fases, nomeadamente explicitando o enfoque nas componentes principais do BIM, a saber, as Políticas, as Pessoas, a Tecnologia e os Processos (Figura 2).

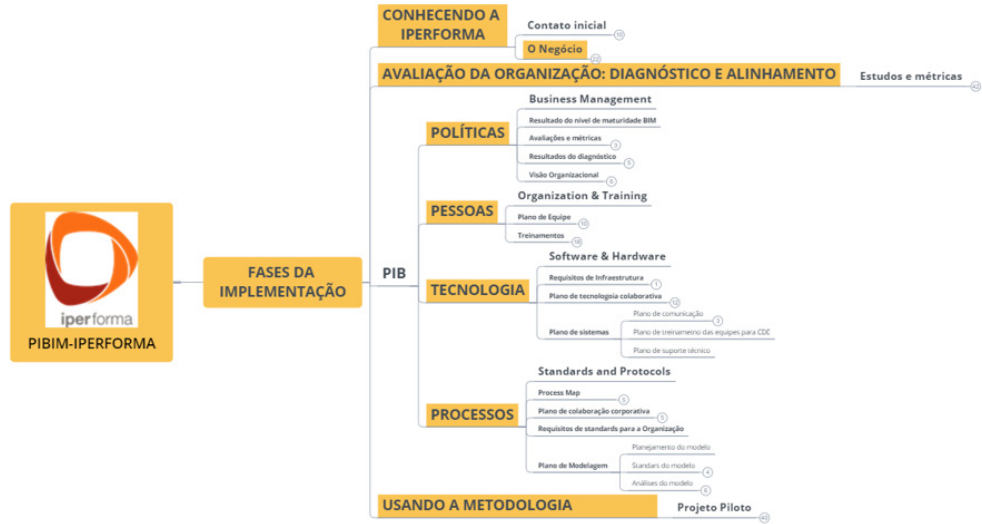


Figura 2
Mapa mental do detalhamento das fases de implementação BIM.

O desenvolvimento desta implementação, ao longo das 4 fases, durou cerca de 11 meses e envolveu todos os níveis da organização, e teve em conta a sua cultura, os seus métodos de trabalho, o enquadramento comercial com os trabalhos vigentes e a gestão dos recursos humanos disponíveis. Descreve-se de seguida cada uma dessas fases.

Fase 1 – Diagnóstico e alinhamento

Nesta primeira fase de Diagnóstico, procurou explicitar-se de modo simplificado a identificação da empresa e das suas dinâmicas. O objetivo desta fase foi compreender a empresa nas suas relações internas e externas, num regime de operação normal, não-BIM, de modo a poder avaliar o seu grau de maturidade, a sua disponibilidade para a mudança e identificar as principais expectativas que alimentarão a fase seguinte. Foi avaliada qual era a visão BIM da empresa, qualitativamente a partir das reuniões presenciais com temas específicos e também dos resultados de um inquérito respondido pelos colaboradores de todos os níveis da estrutura orgânica da Iperforma (ver figura 3).

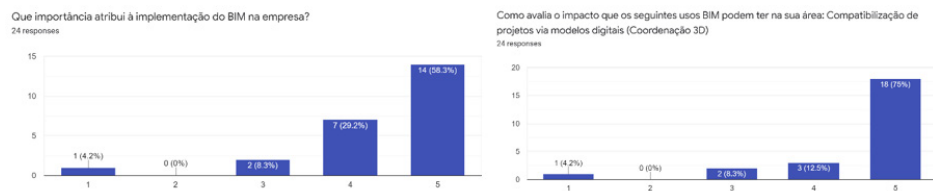


Figura 3
Extrato do Inquérito para validação das expectativas.

Este inquérito visou recolher informações subjetivas e pontuais sobre cada uma das componentes do BIM (políticas, pessoas, tecnologias, processos) e, a partir daí, perceber sugestões e interesses dos colaboradores. Assim, essa interação teve por objetivo traçar um perfil dos colaboradores participantes, captar informações sobre a perceção do colaborador em relação a este projeto de implementação BIM na empresa, a sua aceitação e a sua disponibilidade para as mudanças que o BIM provocará necessariamente na organização. A identificação dos objetivos BIM pretendidos pela organização, foi a base para todo o trabalho técnico de implementação desta metodologia. Essa identificação foi ajustada nas reuniões presenciais, onde o mapa de processos da empresa foi sendo trabalhado junto com os colaboradores, as suas expectativas foram sendo recolhidas e interpretadas pela consultora BIM, e a partir daí, foram identificados e selecionados os respetivos usos BIM, isto é, o que a organização pretende fazer com a metodologia ou com o modelo digital (ver Figura 4).

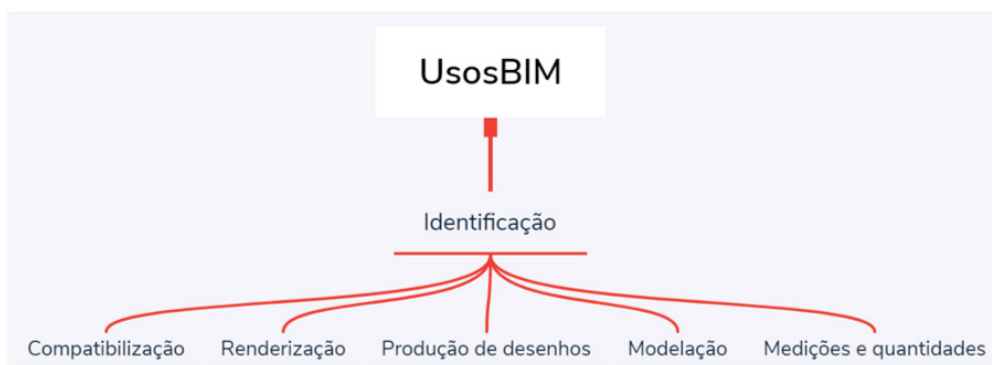


Figura 4
Usos BIM identificados.

A análise quantitativa do desenvolvimento do BIM numa organização ou num projeto é sempre uma peça chave de qualquer implementação pois permite-nos a qualquer momento o controlo e identificação quantificada dessa mesma maturidade BIM, logo medindo o progresso e desenvolvimento. A matriz adotada, baseou-se em matrizes BIM validadas pela indústria AEC [15] [16] tendo sido personalizada para este caso específico da Iperforma. Seguindo a boa prática de gestão de projetos, a ferramenta de avaliação da maturidade proposta neste projeto apresenta uma organização estruturada das variáveis a serem investigadas, de modo a poder medir e monitorizar objetivos parciais ao longo do desenvolvimento desse mesmo projeto e mesmo em futuros ciclos de implementação (Figura 5).

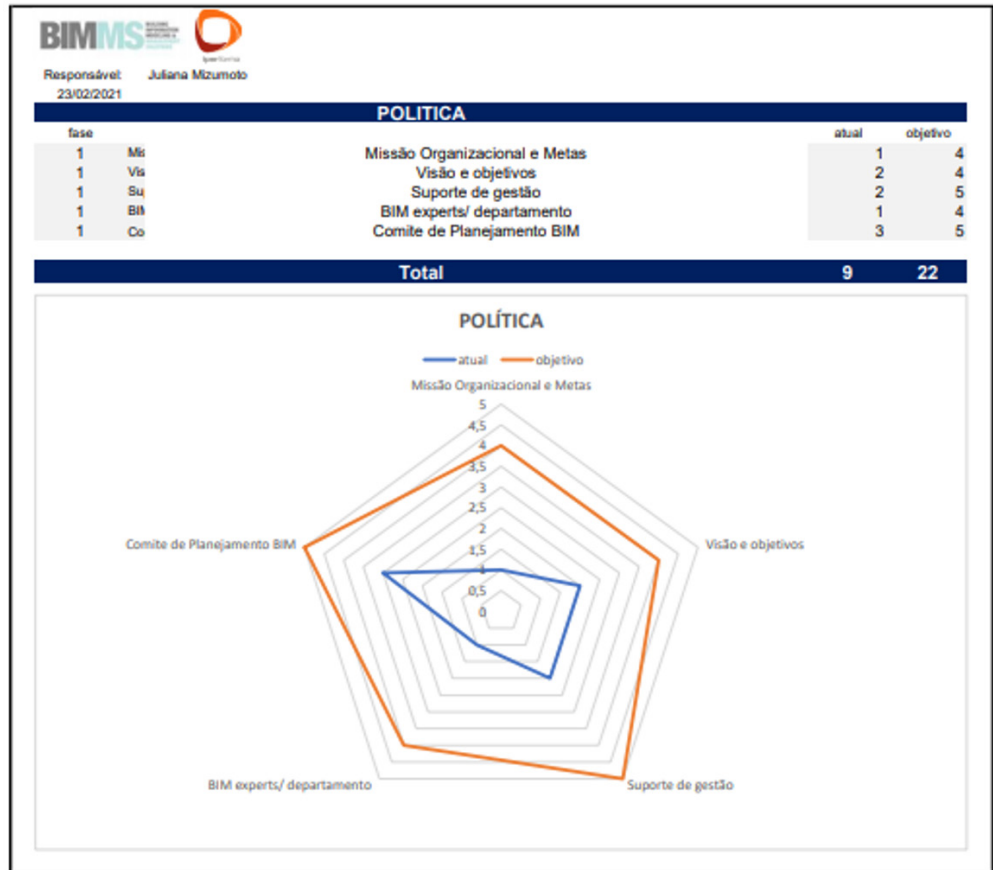


Figura 5
Extrato da quantificação de maturidade vs. Objetivos BIM.

Fase 2 – Plano de implementação BIM

Nesta fase procedeu-se à elaboração do plano estratégico da implementação, designado por Plano de Implementação BIM (PIB). Em que se explicitaram os objetivos da organização e os objetivos BIM e foram propostas as metas e ações necessárias para as atingir. Neste documento também consta a definição das táticas a adotar para implementar os Usos BIM considerados prioritários para a empresa, bem como a indicação de projetos piloto direcionados para cada uma das áreas e processos de trabalho identificados anteriormente no diagnóstico como alvo preferencial desta primeira implementação. Um planeamento detalhado em cada uma das quatro componentes foi definido, com objetivos de curto médio e longo prazo, comparativamente com as respetivas metas a atingir, e que foram distribuídos e integrados nos processos da organização.

Em particular, na componente relacionada com as pessoas, foram identificados os perfis BIM necessários para a empresa, bem como as competências esperadas e que foram alvo de um plano de formação com vista a dotá-las de capacidades específicas (Figura 6).

Perfis BIM	Formação	Área de trabalho	Perfis BIM-especialidade
BIM Manager	Arquiteto	Gestão de Projetos	BIM Architect BIM Project Manager
	Engenheiros MEP, estrutural	Gestão de Projetos	BIM Project Manager BIM MEP/Struct Engineer
	Gestor	Gestão de Projetos	BIM Project Manager
BIM Coordinator	Eng. Cível	Gestão de Obras	BIM Project Manager BIM Construction Manager
	Técnico em Edificações	Gestão de Obras	BIM Construction Manager
BIM Specialist	Gestor	Administração	Visualização de modelo e extração de relatórios
	Diretor técnico	Gestão de Obras	Visualização de modelo e extração de relatórios
	Estagiários	Departamento técnico	Modelação básica

Figura 6
Perfis e Competências BIM.

Fase 3 - Formações

Nesta fase de Formação, materializou-se um conjunto de ações de formação identificadas no PIB consideradas necessárias para o apoio aos colaboradores que irão iniciar o seu trabalho em BIM. Esta foi uma fase quer com aulas, quer com aprendizagem contínua, envolvendo a participação dos colaboradores. O seu desenvolvimento consistiu na conceção, contratação de professores especialistas, preparação e leccionamento de 8 módulos de aulas, coordenados, distribuídos pelos níveis conceptual, ferramental e profissional, e todos orientados para os objetivos previamente estabelecidos no PIB (Figura 7).

Além destas formações mais estruturadas, existiram outras sessões de alinhamento, abertas, de discussão do estado da arte e do âmbito pretendido para esta implementação BIM.

Ao longo de toda a implementação, os formadores/consultores estiveram a prestar assistência técnica consoante as necessidades de cada projeto.

Módulo	Arquitetura	Estrutura	Hidráulica	Vias
F1 – Introdução, Enquadramento e Alinhamento BIM	x	x	x	x
F2 - Modelação BIM de Edifícios	x	x		
F3 - Modelação BIM na Arquitetura	x			
F4 - Modelação BIM nas Estruturas		x		
F5 - Modelação BIM na Hidráulica			x	
F6 - Modelação de Infraestruturas lineares			x	x
F7 - Coordenação BIM	x	x	x	x
F8 – Programação Visual e Paramétrica	x			

Figura 7
Formação BIM –
Módulos.

Fase 4 – Apoio técnico/projetos piloto

Esta fase consistiu em desenvolvimento de Documentação Técnica BIM e apoio a projetos piloto. A condução e apoio aos projetos piloto que foram identificados pela organização como bons para teste de aplicação, visou servir como prova de conceito para toda a organização e como base de recolha de lições aprendidas numa lógica de melhoria contínua num processo que se deve considerar permanente e iterativo. Esta fase teve um planeamento muito exigente, com reuniões semanais de coordenação além de reuniões semanais práticas para atendimento das equipas de cada projeto piloto. Fizeram parte da reunião prática diversos consultores técnicos para cada disciplina modelada onde os colaboradores puderam apresentar o desenvolvimento dos seus projetos sob orientação de uma equipa técnica especializada nos softwares adotados e sob a coordenação central do projeto, responsável por manter a implementação dentro do planeado e assim, garantir a produção constante.

Não menos importante e essencial para o início dos trabalhos, durante o desenvolvimento desta fase, houve a necessidade de se produzir e aperfeiçoar uma grande quantidade de documentação técnica BIM de base, para servir esses projetos piloto:

- PEB – Plano de Execução BIM – o desenvolvimento de um PEB para os futuros projetos da empresa refletiu os requisitos técnicos identificados no Projeto Piloto bem como as informações relevantes a serem documentadas e transmitidas num projeto BIM, pela Iperfoma. Resultou num documento apropriado para ser aplicado quer em projetos de maturidade BIM inicial, quer em projetos de maturidade BIM mais elevada.
- Manual BIM – Esta peça documental procurou interpretar e incluir as boas práticas desenvolvidas durante o projeto piloto, explicitando boas práticas de modelação e de organização da informação. Este manual está muito alinhado com a documentação de apoio à transição digital, traduzindo a mudança do trabalho tradicional para a modelação BIM.

- *Templates* – Foram elaborados *templates* de projeto para as peças desenhadas comumente usadas pela empresa. O objetivo que esteve na base da sua elaboração foi garantir que a qualidade do desenho da empresa ficasse assegurada com a utilização de ferramentas de modelação e visualização digitais.
- *Objetos* – Foram produzidas famílias paramétricas para corresponder aos usos BIM planeados, assim como parâmetros para a organização da informação. Para cada uma foram testadas a extração de quantitativos e de informações de projeto transmitidas nas documentações 2D e nos cadernos de encargos.
- *CDE* – plataforma partilhada de dados – Foi desenvolvida uma estrutura baseada nas melhores práticas definidas pela ISO19650 e adaptada para a dinâmica já conhecida na empresa. O objetivo foi definir uma estrutura de comunicação BIM e fazer uma transição gradual para o BIM.
- *Sistema de Classificação IPERFORMA* – a definição de um sistema de classificação para a Iperforma partiu da definição de requisitos de informação BIM, a partir do estudo do *Work Breakdown Structure* (WBS) dos elementos de projeto. As famílias do projeto piloto foram analisadas em detalhe para criação de uma melhor e mais adaptável estrutura das informações. O Objetivo foi também preparar a estrutura da informação para a inclusão de códigos futuros e para a possibilidade de filtros para automatização das informações numa maturidade BIM mais elevada.

4. Conclusões

Durante cerca de 11 meses desenvolveu-se o primeiro ciclo de implementação BIM na Iperforma, num processo iterativo, de melhoria contínua, tendo-se atingido os objetivos propostos de médio prazo. Seguir um planeamento estratégico com monitorização e orientações técnicas mostrou-se relevante para o desenvolvimento da Implementação BIM. Como em qualquer projeto, a realização de uma transição de metodologia deve ser gerida, documentada e fomentada durante todo o processo e a implementação BIM na empresa englobou todos esses aspetos. Esta implementação decorreu em quatro fases desde o Diagnóstico, ao desenvolvimento de um Plano de Implementação, à Formação e ao Apoio Técnico a Projetos Piloto. Durante os trabalhos, o elevado grau de exigência e uma política de normalização interna muito rigorosa da empresa, favoreceu à predisposição para a mudança. A diferença nos processos de trabalho tradicional vs. BIM e a necessidade de aumentar a maturidade rapidamente foram os principais desafios a ultrapassar.

Não existindo um modo único de abordar estas implementações, a partilha desta experiência junto de um importante representante da área de Arquitetura e Engenharia na indústria da Construção poderá ter impacto no aumento da maturidade junto de outras empresas e organizações deste setor. A experiência de integrar uma estratégia global foi diferenciadora e pode influenciar outras abordagens. A Iperforma aumentou o seu nível de maturidade BIM e aumentou a sua capacidade para

atender a novos contratos BIM em Portugal e a nível internacional, proporcionando simultaneamente aos seus colaboradores um aumento da sua capacitação.

Agradecimentos

Agradece-se todo o apoio e incentivo da Administração da IPERFORMA, bem como a todos os colaboradores que foram envolvidos direta e indiretamente nesta implementação BIM, pela sua disponibilidade e colaboração junto dos autores, a qual foi essencial para o bom sucesso deste trabalho.

Referências

- [1] Terrosi, G., 2020. Guidelines for BIM Information Management at Design Stage. University of Minho.
- [2] Eastman, C. M., Teicholz, P. M., Sacks, R., Lee, G., 2018. BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors, Third edition. ed. Wiley, Hoboken, New Jersey.
- [3] Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., & Ustinovichius, L. (2013). The benefits, obstacles and problems of practical bim implementation. *Procedia Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.04.097>.
- [4] Arayici, Y., Egbu, C., & Coates, S. (2012). Building information modelling (BIM) implementation and remote construction projects: issues, challenges, and critiques. In *Electronic Journal of Information Technology in Construction* (Vol. 17).
- [5] Y. Jung, (2010), *Building Information Modeling (BIM) Framework for Practical Implementation*, Automation in Construction.
- [6] Observatory, E. construction sector. (2019). *Building Information Modelling in the UK construction sector*.
- [7] Computer Integrated Construction Research Program, (2011) *BIM Project Execution Planning Guide – Version 2.1*, The Pennsylvania State University.
- [8] Computer Integrated Construction Research Program, (2013) *BIM Planning Guide for Facility Owners. Version 2.0*, The Pennsylvania State University.
- [9] Succar, B., Sher, W., & Williams, A. (2013). An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application. *Automation in Construction*, 35, 174-189.
- [10] Coates, P., Arayici, Y., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O'Reilly, K. (2010). The key performance indicators of the BIM implementation process. EG-ICE 2010 - 17th International Workshop on Intelligent Computing in Engineering.

- [11] RICS, (2014). International BIM implementation guide. Royal Institution of Chartered Surveyors.
- [12] Caires, B.E. (2013), BIM as a tool to support the collaborative project between the structural engineer and the architect: BIM execution plan, education and promotional initiatives”, Univ. do Minho.
- [13] C. Gomes, J. C. Lino e R. P. Santos, "Guia de Implementação da Metodologia BIM", 1º Congresso Português de Building Information Modelling – Guimarães, 2016.
- [14] Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>.
- [15] Arup (2014) The BIM Maturity Measure model. Available from http://www.arup.com/Services/Building_Modelling.aspx [Accessed 26th February 2016].
- [16] Succar, B. (2010). Building information modelling maturity matrix. Handbook of research on building information modelling and construction informatics: Concepts and technologies, J. Underwood and U. Isikdag, eds., IGI Publishing, 65-103.

A abordagem LEVEL(s) adaptada aos sistemas de classificação da informação da construção

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.25>

**Rodrigo Lima¹, Filipa Salvado¹,
Maria João Falcão Silva¹, Paula Couto¹**

¹ *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, ID ORCID 0000-0003-4586-4323 (FS), 0000-0002-3723-0948 (MJFS), 0000-0002-2663-3565 (PC), 0000-0003-4236-8914 (RTL)*

Resumo

O setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) é um dos mais exigentes em termos da utilização dos recursos naturais. Estima-se que este setor tenha uma participação de 10% na economia portuguesa e consumo da ordem de 50% dos recursos naturais. Esta desproporção justifica-se no modelo de produção baseado numa economia linear, com elevado desperdício e pouca racionalização para reciclagem e reutilização. O desafio é então imposto a todos os envolvidos: desenvolver modelos de produção que envolvam reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais e produtos, alargando os respetivos ciclos de vida.

Para atender a este desafio, o Projeto SECCLasS propõe desenvolver um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS) otimizado para a sustentabilidade, ajudando a reutilização e reciclagem, assente nos princípios da Economia Circular, através da utilização de ferramentas digitais, que promovam a seleção e gestão de materiais com menor impacto ambiental.

Com base na abordagem “Level(s)”, proposta no Plano de Ação para Economia Circular da Comissão Europeia, o presente artigo analisa os conceitos propostos, adaptando-os ao CICS nacional em desenvolvimento e criando uma ferramenta de gestão da informação, adaptada à metodologia BIM, que agilize processos de tomada de decisão e facilite simulações de sustentabilidade, com foco na seleção de materiais, reuso e reciclagem, reduzindo custos e impactos negativos ao ambiente.

1. Introdução

Na última década, o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) foi submetido a inovações que transformam o modo de funcionamento da indústria e que têm como objetivo contribuir para a redução dos custos financeiros e dos impactos ambientais. A introdução de novas técnicas de construção, a modernização das metodologias de planeamento e conceção de projetos, os novos princípios de gestão e a racionalização dos usos dos recursos naturais são de fundamental importância para que o setor se adapte à nova realidade que o contexto mundial impõe.

Uma das principais inovações das ferramentas de trabalho é a introdução da metodologia BIM (*Building Information Modelling*) que, através das simulações com uso de modelos tridimensionais, é capaz de aumentar a previsibilidade e reduzir os riscos nas atividades de projetar, construir e operacionalizar ativos, para além de melhorar o fluxo de trabalho entre os agentes e reunir informações capazes de mitigar os impactos ambientais das edificações.

Baseado no cenário marcado pela desproporção da relação entre o PIB do setor AECO e o respetivo consumo de recursos naturais, torna-se necessário repensar o modelo de negócio da indústria da construção, transformando-a de uma cadeia de consumo linear para um modelo mais circular baseado na reutilização, reciclagem e redução do desperdício. Mas uma vez, o BIM pode ser considerado um aliado nesta transformação pois, através de informação conectada à sustentabilidade e *software* de simulações virtuais, fornece possibilidades diversas capazes de apoiar o processo de tomada de decisão sobre os impactos causados ao meio ambiente, seja na questão do consumo de matéria-prima ou nas eficiências térmica, energética, de emissões de gases, etc. [1].

Neste sentido, o Projeto SECClass pretende apresentar uma solução que atenda às necessidades e peculiaridades do setor AECO português, propondo um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS, em inglês) nacional, otimizado para a sustentabilidade e assente nos princípios da Economia Circular.

Este trabalho tem por objetivo analisar a abordagem conhecida por “Level(s)” proposta no Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia (UE), que aponta os edifícios e a construção como áreas-chave de ação, à medida que a UE avança com sua transição verde para a neutralidade carbónica. Pretende-se com isto criar bases para classificações do CICS nacional que suportem tomadas de decisão mais sustentáveis.

2. Plano de Ação para a Economia Circular da UE

A economia circular consiste num modelo económico que, contrariamente ao modelo de economia linear vigente, procura prolongar ao máximo o tempo de vida dos produtos a partir da reciclagem, reutilização e reparação. Este modelo económico regenerativo e restaurativo tem como princípios a preservação e aumento do capital

natural, a otimização da produção de recursos e o fomento da eficácia do sistema, procurando o design sem resíduo, a criação de resiliência através da diversidade, o uso de energia renovável e os pensamentos sistémico e em cascata, características provenientes das correntes ideológicas que o originaram [2].

Baseada no conceito de Economia Circular, em 2015, a Comissão Europeia adotou o 'Pacto de Economia Circular'. O plano de ação da UE estabeleceu um programa concreto de ações que descrevem medidas que abrangem todo o ciclo de vida do produto: da produção e consumo à gestão de resíduos e ao mercado de matérias-primas secundárias. Como parte do Plano de Ação, a Comissão Europeia adotou, em 2018, um novo conjunto de medidas e, em 2019, produziu um relatório abrangente sobre a implementação do Plano de Ação para a Economia Circular [3].

Este plano estabelece uma estratégia orientada para o futuro, no intuito de criar uma Europa mais limpa e mais competitiva, em associação com os agentes económicos, os consumidores, os cidadãos e as organizações da sociedade civil, visando acelerar a mudança transformadora requerida pelo Pacto Ecológico Europeu (*European Green Deal*), que tem o objetivo de tornar a Europa neutra em termos de clima até 2050. Para tornar este objetivo juridicamente vinculativo, a Comissão propôs a Lei Europeia do Clima que, além disso, estabelece a meta mais ambiciosa e inovadora de reduzir as emissões líquidas de gases com efeito de estufa em, no mínimo, 55 % até 2030, em comparação com os níveis de 1990.

2.1. Medidas para o setor da Construção de Edifícios

O setor da construção de edifícios chama a atenção da Comissão em duas componentes: uma socio-económica e outra ambiental. A primeira é o tamanho do próprio setor, que é um gerador de empregos e tem forte impacto na cadeia económica e na qualidade de vida dos indivíduos. A segunda componente diz respeito à procura de recursos em grandes quantidades e, conseqüentemente, à geração de resíduos, considerando ainda o impacto negativo no efeito de estufa pela geração de gases da indústria que movimenta [4]. Com base no ciclo de vida completo de um edifício, o sector da construção é responsável por (Figura 1):

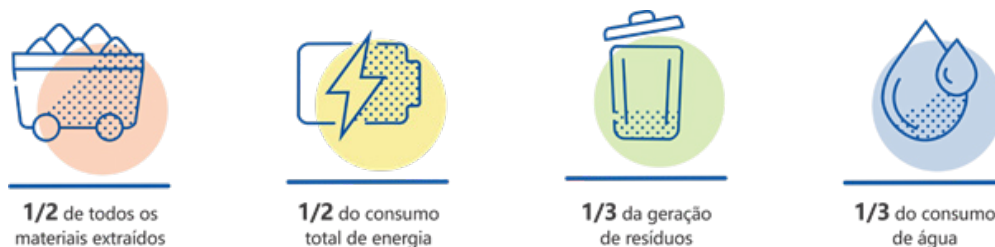


Figura 1
Estimativa de consumo de recursos naturais pela indústria da construção.

Para aproveitar este potencial ao nível do aumento da eficiência dos materiais e da redução dos impactos no clima, a Comissão lança uma nova Estratégia para a Sustentabilidade do Ambiente Construído. A estratégia busca assegurar a coerência nos

domínios de ação em causa, como o clima, a eficiência energética e a eficiência na utilização dos recursos, a gestão dos resíduos de construção e demolição, a acessibilidade, a digitalização e as competências, promovendo princípios de circularidade em todo o ciclo de vida dos edifícios, por meio das seguintes medidas [5]: i) abordar o desempenho dos produtos de construção em termos de sustentabilidade no contexto da revisão do Regulamento Produtos de Construção, incluindo a eventual introdução de requisitos para o teor reciclado de determinados produtos de construção, tendo em conta a sua segurança e funcionalidade; ii) promover medidas para melhorar a durabilidade e adaptabilidade dos ativos construídos, em consonância com os princípios da economia circular para a conceção de edifícios, e criar registos digitais dos edifícios; iii) utilizar a abordagem *Level(s)* para integrar a avaliação do ciclo de vida nos contratos públicos e, no quadro da EU para o financiamento sustentável, explorar a pertinência de fixar metas de redução das emissões de carbono e o potencial do armazenamento de carbono; iv) considerar uma revisão das metas fixadas na legislação da UE para a valorização de materiais dos resíduos de construção e demolição e as suas frações específicas por material; v) promover iniciativas para reduzir o grau de impermeabilização dos solos, reabilitar espaços industriais abandonados ou contaminados e fomentar a utilização segura, sustentável e circular de solos escavados.

2.2. Abordagem *Level(s)*

O(s) *Level(s)* consistem numa abordagem proposta pela UE e desenvolvida pelo Joint Research Centre (JRC) para a sustentabilidade de edifícios e de acordo com os princípios da Economia Circular. O instrumento visa ainda unir toda a cadeia de valor do setor AECO em torno de uma linguagem comum europeia e proporcionar uma visão completa de todo o ciclo de vida dos edifícios.

A abordagem tem como principais objetivos: i) proporcionar um ponto de entrada simples à circularidade e ao pensamento do ciclo de vida; ii) identificar pontos-chave para edifícios pensados para o futuro, tornando-os mais sustentáveis e eficientes em termos de carbono; iii) apoiar às discussões iniciais entre os agentes sobre o que focar para tornar o projeto mais sustentável; iv) demonstrar como as iniciativas políticas podem alinhar-se com um enquadramento europeu que foi desenvolvido, experimentado e testado por um grande número de profissionais da construção em toda a UE; v) proporcionar flexibilidade aos utilizadores durante a implementação, adaptando-a às suas necessidades, ritmo, e compreensão da abordagem; e vi) ter uma ferramenta valiosa, comum aos estados-membros e sem custos para todos aqueles empenhados em melhorar o desempenho ambiental e a utilização de recursos.

A estrutura comum do *Level(s)* está organizada em 3 (três) níveis que representam a complexidade crescente das fases de um projeto de construção: i) Projeto conceitual; ii) Projeto detalhado; e iii) Projeto "as-built" e estágio de utilização. Cabe ao utilizador a decisão de até onde se pretende chegar com as análises propostas.

O nível inicial (*Level 1*) consiste em avaliações qualitativas em fase inicial e relatórios sobre os conceitos que os indicadores escolhidos irão abranger. Fornece uma

estrutura simples que pode ser apresentada aos clientes para dar prioridade aos aspetos de sustentabilidade.

Nas avaliações em fase de projeto detalhado (*Level 2*) a análise é quantitativa do desempenho concebido. Permite a comparação entre diferentes opções de conceção e monitorização da construção de acordo com unidades e métodos padronizados.

O nível mais avançado (*Level 3*) trata da monitorização e levantamento da atividade tanto no estaleiro de construção como do edifício concluído e dos seus primeiros ocupantes. O *Level 3* ajuda toda a equipa a compreender o desempenho real do edifício e a identificar as lições aprendidas com a conceção para informar e melhorar futuros projetos.

Para além dos níveis de aplicação, e estrutura da abordagem *Level(s)* está dividida em 3 (três) áreas por temas, cada uma com seu próprio assunto e resultados desejados. As áreas por temas dividem-se em 6 (seis) objetivos macro, que descrevem quais as prioridades estratégicas para a contribuição dos edifícios para os objetivos políticos da UE, em domínios como: a energia, a utilização de materiais e resíduos, a água e a qualidade do ar interior.

Além disso, a abordagem sugere 16 (dezasseis) indicadores de desempenho para edifícios. Utiliza indicadores básicos de sustentabilidade, testados com e pelo setor de construção, para medir carbono, materiais, água, saúde e conforto e ainda impactos das mudanças climáticas. Têm em consideração os custos do ciclo de vida e as avaliações de valor. Esta estrutura é representada na Tabela 1.

Tabela 1

Estrutura por áreas, temas, macro objetivos e indicadores da abordagem *Level(s)*.

Áreas	Macro Objetivo	Indicador
Uso de recursos e desempenho ambiental	1. Emissões de gases de efeito estufa e poluição do ar ao longo do ciclo de vida dos edifícios	1.1 Desempenho energético no estágio de utilização 1.2 Potencial de aquecimento global do ciclo de vida
	2. Ciclos de vida de materiais circulares e eficientes em termos de recursos	2.1 Lista de quantidades, materiais e vida útil 2.2 Materiais e resíduos de construção e demolição 2.3 Projeto para adaptabilidade e renovação 2.4 Conceção para desconstrução, reuso e reciclagem
	3. Uso eficiente dos recursos hídricos	3.1 Consumo de água no estágio de utilização
Saúde e conforto	4. Espaços saudáveis e confortáveis	4.1 Qualidade do ar interno
		4.2 Tempo fora da faixa de conforto térmico
		4.3 Iluminação e conforto visual
		4.4 Acústica e proteção sonora
Custo, valor e risco	5. Adaptação e resiliência às mudanças climáticas	5.1 Proteção da saúde e do conforto térmico dos ocupantes 5.2 Aumento do risco de condições meteorológicas extremas 5.3 Drenagem sustentável
	6. Custo e valor do ciclo de vida otimizado	6.1 Custos do ciclo de vida 6.2 Criação de valor e exposição ao risco

3. Parâmetros de sustentabilidade no Projeto SECClass

Após a análise da abordagem *Level(s)* e o confronto com os seus objetivos, o projeto decidiu iniciar as suas classificações com base no macro objetivo 2 – Ciclos de vida de materiais circulares e eficientes em termos de recursos. A decisão é fundamentada por este macro objetivo conter os indicadores mais ligados à reutilização e reciclagem de materiais, ao desperdício gerado pelos processos de construção e desconstrução, com foco nas listas de quantidade de materiais importantes para as análises LCA (*Life Cycle Analysis*) e na adaptabilidade de desmontagem das edificações.

3.1. Indicador 2.1 – Lista de quantidades, materiais e vida útil

Este indicador permite ao utilizador converter a lista de quantidades (BoQ) numa lista de materiais (BoM), compatível com os requisitos de reporte sobre resíduos de construção e demolição, estimam e medem a massa dos produtos e materiais de construção necessários para completar partes definidas do edifício agrupadas sob a estrutura / invólucro, núcleo ou aspetos externos do edifício. Para cada entrada, a massa é desagregada em diferentes frações de material. No caso de serem introduzidos dados de custos opcionais, os custos de cada entrada serão medidos. Se forem introduzidos dados opcionais de vida útil para cada entrada, as massas e custos dos materiais ao longo da vida útil do edifício podem ser medidos, assumindo uma substituição semelhante.

Com base neste indicador, são sugeridas algumas classificações descritas na tabela 2, que podem apoiar o utilizador, no momento de organizar os dados, a serem utilizados na folha de cálculo fornecida pelo *Level(s)* e em análises que levam em consideração os tipos de materiais e vida útil presumida.

Possível Classificação ou Propriedade		Descrição Classificação Sugerida
Nível 1	Nível 2	
Local de Aplicação	Estrutura / Invólucro Núcleo Envoltente Externa	Classificação do local de aplicação do produto ou elemento conforme parâmetros exigidos numa análise de ACV (LCA). Usa como base a classificação da folha de cálculo: BoQ Template, fornecida na Abordagem <i>Level(s)</i> .
Constituição do Material	Betão, azulejos, pedras naturais, cerâmicos Madeira Vidro Plástico Misturas Betuminosas Metal Gesso Materiais Misturados Equipamentos Eletrónicos e Eléctricos (EEE)	Classificação do tipo de produto ou elemento com base na sua composição conforme parâmetros exigidos numa análise de ACV (LCA). Usa como base a classificação do Template em Excel: Lista de Quantidades do Indicador 2.1, utilizada na Abordagem <i>Level(s)</i> .
Vida útil presumida do produto / material	–	Informação do número de anos que o material ou produto deve durar no edificado antes de precisar ser substituído.

Tabela 2

Possíveis classificações e propriedades para materiais, locais de aplicação e vida útil.

3.2. Indicador 2.2 - Materiais e resíduos de construção e demolição

O indicador tem por objetivo identificar os tipos de resíduos e materiais de construção e demolição. Estas classificações podem ser importantes no processo de decisão de reutilização destes produtos bem como determinar o estado em que se encontram para apoiar ações capazes de fazê-los retornar ao ciclo de vida e, conseqüentemente, prolongando a vida útil dos materiais. Estimam e medem ainda a quantidade total de resíduos gerados pelas atividades de construção, renovação e demolição (em kg) que, quando desagregada nos principais tipos de RCD de acordo com as entradas da Lista Europeia de Resíduos, resultam em um mapeamento para melhor destinação destes (por exemplo, reciclagem, aterro etc.). As classificações sugeridas levam em consideração o tipo, a constituição e o possível destino do resíduo, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3

Possíveis classificações e propriedades para resíduos de construção e demolição.

	Parâmetros a serem classificados		Descrição dos parâmetros
	Nível 1	Nível 2	
Tipo de Resíduo	Inerte	Perigoso	Classificação do resíduo a ser gerado conforme o tipo de material que se encontra presente.
		Não Perigoso	
Constituição do Resíduo	Betão	Tijolos	
		Telhas	
		Cerâmicos	
		Madeira	
		Vidro	
		Plásticos	
		Misturas betuminosas	
		Cobre / bronze / latão	
		Alumínio	
		Ferro / aço	
		Outros metais	
		Cabos	
		Solo e pedras	
		Despojo de drenagem	
		Lastro de pista	
		Materiais de isolamentos	
		Materiais contendo amianto	
		Materiais à base de gesso	
		Elementos de portas	
		Elementos de janelas	
Destino do Material Residual	Material residual p/ reuso	Material residual reciclável	Classificação indicando a destinação do material que possa apoiar na medição de quanto a construção ou demolição estão associadas à reciclagem, reuso e desperdício de materiais.
		Material residual p/ recuperação	
		Material residual p/ descarte	

3.3. Indicador 2.3 – Conceção para adaptabilidade e renovação

Este indicador fornece uma avaliação semi-quantitativa da medida em que a conceção de um edifício poderia facilitar a adaptação futura à evolução das necessidades dos ocupantes e das condições do mercado. Por conseguinte, fornece um indicador da capacidade de um edifício para continuar a cumprir a sua função e para prolongar a vida útil no futuro.

São avaliados os aspetos de conceção e manutenção de particular relevância, identificados com base em estudos de mercado e experiência. Os aspetos avaliados diferem consoante se trate de um edifício de escritórios ou residencial.

As classificações da Tabela 4 estão em análise para se verificar a melhor forma de incorporá-las no CICS proposto. Muitas destas classificações são definidas utilizando um sistema de pontuação por meio de parâmetros definidos e de fatores de ponderação que vão resultar no “índice de adaptabilidade”.

Parâmetros a serem classificados		Descrição dos parâmetros
Nível 1	Nível 2	
Distribuição dos espaços internos	Métrica das colunas	Vãos de coluna mais largos permitirão uma disposição mais flexível do piso.
	Padrão da fachada	Vãos mais estreitos permitirão mais configurações de espaço interno.
	Sistema de parede interna	As paredes internas não portadoras de carga permitirão que sejam feitas mais facilmente alterações na disposição do pavimento.
	Tamanho das unidades e acessos	Ao assegurar que o acesso é possível a partir de subdivisões dos espaços proporcionar mais opções de relocação.
Alterações nas instalações dos edifícios	Facilidade de acesso às condutas de instalações MEP	O acesso será melhorado se as instalações MEP não forem incorporadas na estrutura do edifício.
	Facilidade de acesso às salas das instalações	As futuras mudanças de equipamento técnico serão facilitadas se houver facilidade de acesso às salas e equipamentos.
	Condutas longitudinais para rotas de serviço	A inclusão de condutas longitudinais proporcionará flexibilidade na localização dos pontos de serviço.
	Tetos mais altos para rotas de serviço	A utilização de maiores alturas de teto proporcionará maior flexibilidade no encaminhamento das tubagens das instalações
Alterações na fachada e estrutura do edifício	Instalações para subdivisões	Ao assegurar que a alteração individual das instalações sanitárias é possível para subdivisões dos espaços, isto proporcionará mais opções de relocação.
	Fachadas não portadoras de carga (não estruturais)	As fachadas não portadoras de carga permitirão que as alterações sejam feitas mais facilmente tanto nos layouts internos como nos elementos externos.
	A prova futura da capacidade de suporte de carga	A incorporação de capacidade redundante de carga suportará potenciais mudanças futuras na fachada e usos do edifício.
	Conceção estrutural para apoiar a expansão futura	Os projetos estruturais que têm a força vertical para suportar andares adicionais permitirão uma futura expansão da área do pavimento.

Tabela 4

Parâmetros para as futuras classificações propostas para adaptabilidade e renovação.

3.4. Indicador 2.4 - Conceção para desconstrução, reuso e reciclagem

O indicador fornece uma avaliação semi-quantitativa na medida em que a conceção de um edifício poderia facilitar a futura recuperação de materiais para reutilização de reciclagem. Fornece, portanto, um substituto para: a contribuição do edifício para a economia circular medindo a facilidade de desmontagem para um âmbito mínimo de peças de construção, seguido da facilidade de reutilização e reciclagem para estas peças e seus subconjuntos e materiais associados.

Na Tabela 5 são sugeridos parâmetros que servirão de base para uma classificação que determinarão o estado dos sistemas e produtos para sua utilização ou ação necessária que a possibilite, sua condição de uso e fator de facilidade de recuperação e desmontagem.

Tabela 5

Classificações e propriedades para conceção e desconstrução, reuso e reciclagem.

Parâmetros a serem classificados		Descrição dos parâmetros
Nível 1	Nível 2	
Facilidade de recuperação	Os elementos e as suas partes são independentes e facilmente separáveis	O potencial de separar elementos que estão ligados entre si e de desmontar elementos nos seus componentes e partes constituintes.
	As ligações são mecânicas e reversíveis	A utilização de ligações mecânicas, não destrutivas, em oposição à ligação química.
	As ligações são facilmente acessíveis e sequencialmente reversíveis	Acesso fácil e sequencial a fim de inverter as ligações mecânicas e remover elementos.
Facilidade de reutilização	O número e a complexidade das etapas de desmontagem são baixos.	A desmontagem não deve supor a necessidade de complexas etapas preparatórias, a utilização intensiva de mão-de-obra e maquinaria e/ou processos fora do local.
	Especificação de elementos e peças utilizando dimensões normalizadas.	Especificação de elementos e peças que são de uma especificação normalizada, a fim de fornecer um stock futuro consistente.
	Especificação de serviços de construção modular.	Especificação de sistemas modulares que podem reter valor aquando da desinstalação ou que podem ser mais facilmente trocados e atualizados.
Facilidade de reciclagem	O projeto apoia a adaptação futura a mudanças nas necessidades funcionais.	Conceção das peças do edifício para apoiar a utilização contínua no mesmo ou numa configuração de conceção diferente no mesmo edifício.
	Peças feitas de materiais compatíveis ou homogéneos	Especificação de componentes e partes constituintes feitas de materiais homogéneos, os mesmos materiais ou materiais mutuamente compatíveis com os processos de reciclagem. Acabamentos, revestimentos, adesivos ou aditivos não devem inibir a reciclagem.
	Os materiais constituintes podem ser facilmente separados	Deve ser possível separar componentes e peças nos seus materiais constituintes.
	Existem opções de reciclagem estabelecidas para as partes ou materiais constituintes	A peça ou material é facilmente reciclável em produtos com um campo de aplicação e função semelhante, maximizando assim o seu valor circular.

4. Conclusões

O Setor AECO, apesar de passar por várias alterações nos âmbitos económico, tecnológico, normativo e do pensamento sustentável ao longo dos últimos anos, ainda

possui grandes desafios pela frente. Neste sentido, o Projeto SECCLasS propõe dar a sua contribuição unindo todos estes aspetos numa ferramenta que suporte as tomadas de decisão para os agentes da indústria da construção. Para isso, propõe um Sistema de Classificação da Informação da Construção (CICS) que integre a metodologia BIM, a componente da economia circular e as práticas sustentáveis propostas pela Comissão Europeia, que baseiam as legislações ambientais para a indústria da construção.

A abordagem *Level(s)* proposta pela EU, é então o ponto de partida escolhido pelo projeto para desenvolvimento da sua componente de sustentável, apoiando os utilizadores em decisões mais “verdes”. Dividida em 6 (seis) macro objetivos, o projeto decidiu iniciar as suas classificações pelo que trata dos ciclos de vida de materiais circulares e eficientes em termos de recursos. A decisão baseia-se no facto de este assunto ser o mais ligado às práticas da reutilização e reciclagem, objetivo principal da componente sustentável. Através dos parâmetros sugeridos em 4 (quatro) indicadores, são definidas classificações que visam a definição de materiais e seus ciclos de vida (2.1), a classificação de resíduos de construção e demolição (2.2), a adaptabilidade das edificações para promoção de um maior ciclo de vida (2.3) e critérios que facilitem a desmontagem, reutilização e reciclagem dos materiais (2.4).

Os indicadores 2.1 e 2.2 já apresentam classificações mais bem definidas e já estão em fase de aprovação pelo projeto. Os dois últimos, encontram-se em análise para definir quais as classificações e como serão incorporadas no CICS a ser proposto.

Referências

- [1] B. F. B. Martins. “Utilização de BIM e Métodos de Sustentabilidade em Elementos na Construção”, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2018.
- [2] F. F. T. S. Marques, “A Economia Circular em Lisboa e Vale do Tejo”, Relatório de Estágio no Mestrado em Gestão do Território, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2018.
- [3] LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia, *Economia Circular – Informação de apoio às Empresas*. I. P., Lisboa, Portugal, 2019.
- [4] R. T. Lima, A. F. Salvado, M. J. F. Silva, P. Couto. “Projeto SECCLasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System – Análise de Conceitos, Normas e Sistemas da Classificação da Informação da Construção”, Relatório do Projeto P21, LNEG – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, 2021.
- [5] Website da Abordagem *Level(s)* da Comissão Europeia, disponível em: https://ec.europa.eu/environment/levels_pt [acedido em: 29 de dezembro de 2021].

Parte VIII – Realizações e Casos de Estudo

Projetar em BIM | Caso de estudo do mercado Kumasi, Gana

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.26>

Rúben Reis¹, Paulo Rodrigues¹

¹ *Quadrante eng., Lisboa*

Resumo

No grupo Quadrante, com a prestação de serviços de consultoria em Engenharia e Arquitetura, com uma equipa de mais de duzentos colaboradores, escritórios em três continentes e com oito áreas de negócio (Edifícios, Transportes, Indústria e Energia, Infraestruturas, Hidráulicas, Ambiente, Novas cidades, Aeroportos e Fiscalização) tem vindo a apostar cada vez mais na implementação do BIM no desenvolvimento dos seus projetos procurando assim uma constante melhoria na qualidade e valor dos serviços prestados aos seus clientes.

Neste artigo, vamos descrever o caso de estudo do projeto do Mercado Kumasi, no Gana, que foi desenvolvido com a metodologia CAD tradicional até à fase de licenciamento e que passou para a metodologia BIM na fase de execução, expondo assim os vários desafios e mais-valias desta transição.

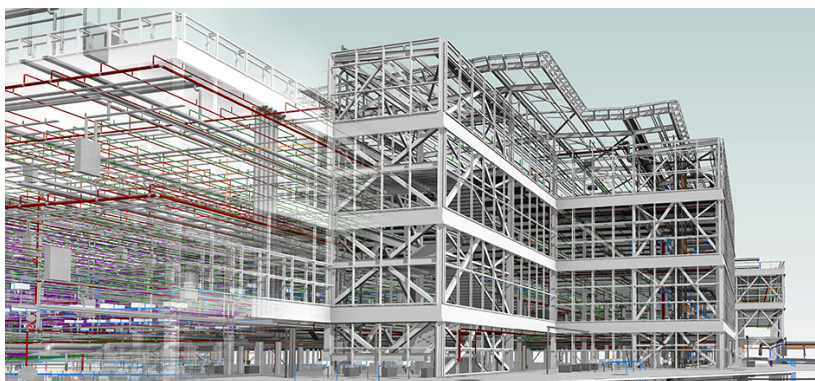


Figura 1
Classificações e propriedades para conceção e desconstrução, reuso e reciclagem.

1. Introdução

BIM tem promovido uma transformação na indústria AEC, arquitetura, engenharia e construção onde a informação está no centro da metodologia, que aumenta o rigor na quantificação, no controlo de custos e na produtividade da fase de projeto, dando assim várias vantagens em comparação com a metodologia tradicional 2D CAD. [1]

O mercado Kumasi com cerca de 172.000 m² é, atualmente, o maior mercado da África Ocidental, contemplando um investimento de 250 Milhões de euros e irá albergar na 1ª fase cerca de 8.500 lojistas e mais 10.500 numa segunda fase.

O desenvolvimento do projeto do mercado Kumasi, durante a fase de licenciamento (Schematic Design) foi realizado em 2D CAD. Dada a dimensão e complexidade do edifício, a coordenação das várias especialidades, através do método tradicional tornou-se insuficiente para interpretar todos os detalhes com o rigor exigido, sem despendar demasiado tempo a analisar caso a caso.

A própria partilha de informação entre os projetistas dessas especialidades acaba por ser incompleta uma vez que, mesmo sobrepondo todas as disciplinas em planta, a coordenação das mesmas torna-se complexa e penosa dada a falta de informação que existe, por exemplo, na altura a que as várias infraestruturas se encontram ou no cruzamento com elementos singulares que são mais difíceis de interpretar em planta (Ex: travamentos metálicos).

Estes são alguns exemplos de situações que, usando a metodologia tradicional, acabam por dificultar a comunicação entre os vários *stakeholders* e levam a erros de projeto que apenas são detetados numa fase mais avançada do processo, nomeadamente em fase de execução de obra, que muitas vezes originam a quebra do planeamento das empreitadas.

2. As vantagens da metodologia BIM

A metodologia BIM originou o repensar da forma como colaboramos e comunicamos durante a conceção do projeto, a sua construção e posteriormente a gestão e operação do próprio edifício ou infraestrutura.

Ao desenvolvermos o projeto do mercado Kumasi, usando os processos e ferramentas BIM veio ajudar as equipas da Quadrante, da construtora e cliente, a interpretar, de forma bastante mais clara, o edifício no seu todo. A transição do 2D para o 3D, num ambiente colaborativo onde todas as especialidades estão modeladas tridimensionalmente e a identificação dos problemas se tornou mais fácil de detetar, melhorou substancialmente a comunicação entre a equipa de projeto. A construtora envolvida na fase de projeto, tinha um papel bastante ativo no desenrolar do projeto.

Esta transição fez com que, numa fase ainda de projeto, fossem detetadas algumas incompatibilidades apresentadas na fase anterior, permitindo rever e propor melhores

soluções sem haver um sobrecusto para a obra e, conseqüentemente, para o cliente. Outra grande vantagem detetada nesta transição foi a capacidade de organização do processo num ambiente colaborativo, através de um CDE estruturado segundo a norma da ISO 19650 [2][3] e partilhado pelas várias equipas de projeto. Os próprios softwares usados para realizar a modelação das especialidades melhoraram a produtividade na organização dos vários elementos produzidos para entregar ao cliente (peças desenhadas, tabelas, etc.)

Desta forma, quando falamos em BIM, mais do que 3D, falamos em inovação, colaboração, comunicação e coordenação, por outras palavras interoperabilidade.

2.1. A importância do documento BEP

O BEP [4] (BIM Execution Plan) é o documento que define e discrimina as regras que devem ser seguidas durante todo o processo de projeto. Estas regras podem ser: quem são os responsáveis pela gestão BIM do projeto e o seu papel, os usos BIM que são pretendidos, isto é, a definição clara e inequívoca dos objetivos que se pretende atingir ao utilizar as ferramentas da metodologia BIM, qual o LOD [5] (Level of Development) contratado para cada disciplina, qual o CDE (Common Data Environment) que vai ser usado, nomenclaturas a ser usadas, datas chaves para entregas dos projetos ou para partilha de informação, entre outras.

Para o desenvolvimento do projeto do mercado Kumasi, este documento foi uma peça fundamental para garantir que as equipas soubessem os objetivos que tinham de atingir, garantido uma maior produtividade desde o início do processo.

2.2. Os desafios de transitar para a metodologia BIM

A implementação desta metodologia não é algo imediato e requer um grande esforço para formar e adaptar todos os intervenientes às novas ferramentas e processos, sendo que, quanto maiores forem as equipas, mais complexa se torna esta implementação.

Neste projeto existem três grandes players, a Quadrante como responsável por todas as engenharias, a Arkteto como arquitetos e a Contracta como construtora e cliente, o que, por si só, representa um desafio para que todos estivessem alinhados com os processos definidos. O trabalho colaborativo tem muitas vantagens, mas exige que haja um trabalho de organização e controlo de qualidade muito grande logo desde o início do processo de forma a potenciar a produtividade de todos, como por exemplo, com a criação de um modelo de coordenação que serve para definir e estabilizar algumas premissas do projeto como os eixos estruturais, níveis e georreferenciação, determinar quando e como seriam partilhados os modelos entre as várias especialidades, definir quem iria fazer a deteção de colisões e quando e como é que essa informação iria ser transmitida às equipas de projeto. Em suma, a definição destas e outras regras e boas práticas para um trabalho colaborativo mais efetivo, representam tanto uma evolução como um desafio para o desenvolvimento do projeto.

No entanto, estes desafios são mitigados pela conclusão de um projeto onde todos os intervenientes estão completamente cientes do trabalho desenvolvido.

2.3. O papel do BIM Coordinator

O papel do BIM Coordinator[6] ganha uma relevância muito importante num projeto desenvolvido com a metodologia BIM, pois é este que, fazendo a ponte entre o Coordenador do projeto e a equipa de produção, garante o cumprimento das regras definidas no BEP, realiza a verificação da qualidade dos modelos desenvolvidos e apoia as várias equipas de modo a que estas tenham as ferramentas necessárias para desenvolver os seus trabalhos.

Como referido no ponto 2.2., desenvolver projeto num ambiente colaborativo torna-se complexo e, é nesse sentido, que o BIM Coordinator surge como a figura que domina as ferramentas BIM num todo à qual as equipas devem e podem recorrer para aumentar a sua produtividade.

O BIM Coordinator, para além das responsabilidades elencadas anteriormente, deve ser aquele que executa a deteção de colisões entre as várias especialidades assim como aquele que partilha o relatório das mesmas de forma clara e objetiva para que os problemas encontrados sejam resolvidos o mais rápido possível.

No projeto do mercado Kumasi, existiram contratempos essencialmente no que toca à formação dos vários *players* assim como na forma como a informação era trocada entre as equipas de projeto. A existência do BIM Coordinator, num projeto desta dimensão, mostrou ser uma peça fundamental para colmatar estes desafios assim como para filtrar algumas tarefas de coordenação, libertando as equipas de projeto e garantido uma produtividade mais eficaz na conceção e desenvolvimento do mesmo.

2.4. Vantagens da realização da deteção de colisões em fase de projeto

A deteção de colisões utilizando a metodologia tradicional é penosa e pouco informada, sendo difícil de encontrar todas as incompatibilidades em tempo útil de projeto. As ferramentas utilizadas neste projeto ajudaram a acelerar este processo e a garantir a entrega de um projeto coordenado e evitando problemas graves em obra.

Esta deteção de colisões geral foi realizada em dois momentos chave, a meio do processo e antes da entrega final. Esta metodologia possibilitou detetar as zonas de maior conflito numa fase intermédia do projeto, dando tempo às equipas para analisar e encontrar soluções atempadamente, ao mesmo tempo que reduziu consideravelmente as colisões graves na fase final do projeto.

Os softwares usados tornaram mais fácil agrupar e partilhar as colisões detetadas entre as várias equipas de forma que estas conseguissem identificar rapidamente as zonas que estavam em conflito nos seus modelos. Estas ferramentas BIM, mais

uma vez, ajudam a acelerar o processo de comunicação e resolução de problemas atempadamente.

Outra grande vantagem é a redução de tempo que terá de ser despendido na assistência técnica em obra, já que os problemas de maior gravidade foram resolvidos em fase de projeto, resultando diretamente numa poupança significativa de tempo e custos tanto para as equipas de projeto como para a construtora, neste caso, o cliente.

2.5. Inovação

Com a criação de modelos digitais das várias disciplinas do edifício surge a oportunidade de criar automatismos que permitem extrair ou produzir informação destes de forma rigorosa e mais rápida em qualquer das etapas da vida útil do edifício ou infraestrutura. Podemos inclusivamente conectar o modelo a softwares de operação, para termos um edifício mais sustentável e de certa forma mais inteligente.

Por outro lado, ainda na fase de projeto, a criação de tabelas de quantidades associadas aos modelos e organizadas de acordo com os mapas de quantidades é um dos exemplos de outros automatismos usados em fase de projeto. Estas permitiram que, a qualquer momento do projeto, fosse possível extrair quantidades rigorosas e precisas independentemente das alterações que o projeto tenha sofrido.

A exigência de um projeto de execução requer que sejam feitas algumas tarefas repetitivas para diferentes zonas do edifício. Uma das tarefas é a atribuição de códigos a cada elemento segundo as suas propriedades. Para isso foi criada uma rotina que atribui um código único a cada um desses elementos, agrupando-os pelas suas propriedades permitindo que, mesmo que o projeto sofresse alterações, rapidamente fosse atribuído o código correspondente a estes elementos e, conseqüentemente, reduzindo os erros de codificação.

A utilização de plugins foi outra estratégia utilizada para reduzir o tempo consumido, por exemplo, para a duplicação de vistas e de folhas, ou para a exportação dos vários formatos necessários para concluir a entrega.

Um dos grandes chavões do BIM é a Informação que podemos gerar e/ou extrair dos modelos produzidos e, nesse sentido, a inovação e criação de ferramentas que automatizem tarefas repetitivas foi algo explorado neste trabalho e que mostrou ser muito positivo para o mesmo.

3. Projetar o mercado Kumasi em BIM

Como referido anteriormente o cliente deste projeto é a construtora Contracta e a arquitetura foi desenvolvida pelo atelier brasileiro Arkteto.

A Quadrante prestou serviços associados a Fundações e Estrutura, Geotecnia, Instalações Hidráulicas, Instalações de AVAC, Instalações Elétricas, Telecomunicações, Segurança, Gás, Rede Viária, Terraplanagens, além de um Estudo Hidrológico.

Nos tópicos seguintes serão abordados alguns dos temas relativos às disciplinas de Fundações e Estruturas, Instalações Hidráulicas e Instalações de AVAC onde foram identificadas as principais vantagens na transição para a metodologia BIM.

3.1. Fundações e Estruturas

No caso do Mercado Kumasi, o projeto de estruturas define grande parte do edifício uma vez que este é uma construção com uma tipologia industrial. Nesse sentido, o facto de este ter sido desenvolvido numa fase anterior, mesmo que em 2D, facilitou na definição das opções tomadas para aumentar a produtividade de modelação em 3D, no entanto, ter desenvolvido o projeto na metodologia tradicional até ao licenciamento e passado para a metodologia BIM na execução obrigou a algum retrabalho de temas que já estavam fechados como o desenho dos eixos estruturais, níveis e georreferenciação. Com isto, quer se dizer que, apesar de haver um ganho na modelação em existir um projeto pensando, mesmo que em 2D, a transição de uma metodologia para a outra a meio do processo acaba por ser pouco produtiva devido ao retrabalho de muitas tarefas que já estavam terminadas.

A rapidez que os softwares BIM proporcionam são uma grande vantagem em projetos da dimensão do mercado Kumasi. Um exemplo disso foi a rapidez da modelação das fundações, com mais de mil estacas, foram modeladas numa manhã de trabalho, representado um ganho de produtividade enorme.

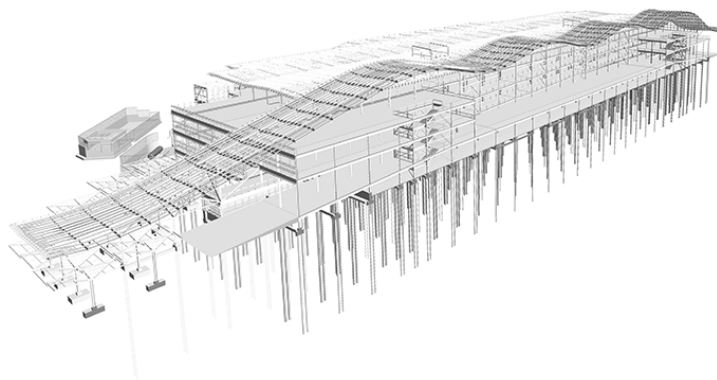


Figura 2
Imagem 3D do corte longitudinal do modelo de estruturas.

Na fase de licenciamento e até meio da fase de execução a estrutura metálica foi desenvolvida com perfis da norma portuguesa, no entanto, por exigência do cliente, foi necessário alterar todos os perfis para a norma britânica e, nessa altura, a modelação da estrutura metálica estava perto de estar finalizada assim como muitos desenhos já estavam concluídos. Outra vantagem em utilizar softwares BIM, onde os objetos têm propriedades, é que foi possível, através de tabelas, fazer a conversão dos perfis metálicos de uma norma para a outra sem ser necessário ir perfil a perfil fazer esta

alteração. Como vantagem extra, os nomes dos perfis atualizaram automaticamente nas anotações, uma vez que estas, estão associadas às propriedades dos objetos.

O mercado Kumasi, sendo um projeto de grande dimensão e de tipologia industrial, tem alguma repetição da sua geometria. De forma a aumentar a produtividade, foram criados grupos de geometria que foram replicados em todo o edifício como, por exemplo, a estrutura secundária para o revestimento da fachada ou para coberturas que se repetiam. Esta metodologia fez com que as alterações que foram surgindo ao longo do processo fossem realizadas com muito menos esforço já que, bastava editar o grupo e estas eram replicadas por todas as instâncias do mesmo.

Não menos importante, é a interoperabilidade entre softwares BIM onde é possível haver uma troca de informação entre os vários stakeholders do processo em várias fases do mesmo. Prova disso é o aumento do detalhe no modelo de estruturas por parte do empreiteiro da estrutura metálica que, deu continuidade ao modelo realizado em projeto e criou um modelo de pré-fabricação para a obra, aumentando o LOD [5].

3.2. Instalações Hidráulicas

A modelação das instalações hidráulicas com uma metodologia BIM é complexa e morosa, sendo por vezes, desvalorizada no custo final da obra. No entanto, é uma das disciplinas onde se vê o maior trabalho de coordenação com as restantes especialidades, principalmente por causa das pendentes associadas às redes de drenagem gravítica. Tipicamente, é uma disciplina representada com desenhos unifilares no método tradicional, o que pode induzir em erros omissos em fase de projeto. Ao modelar estas redes em três dimensões torna-se mais fácil perceber quais serão as zonas de maior conflito e antecipar os problemas ainda em projeto.

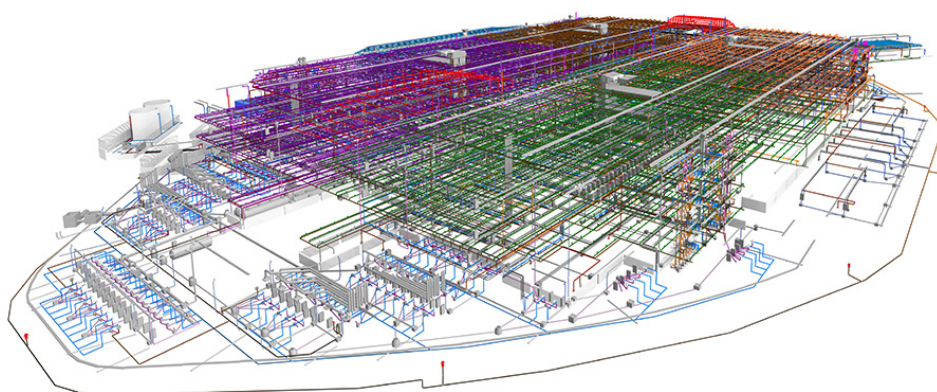


Figura 3
Modelação do MEP do mercado Kumasi.

A transição desta disciplina para a metodologia BIM neste projeto foi bastante positiva já que foram detetados problemas que inviabilizavam algumas soluções apresentadas em 2D, tais como, verificar que o aproveitamento da drenagem pluvial gravítica de toda a área de cobertura não era possível sem ter um impacto visual

enorme no mercado uma vez que iria chegar ao reservatório de aproveitamento das águas pluviais a cotas inferiores às permitidas e com diâmetros de tubagem muito grandes. A drenagem das redes de esgotos das lojas do piso 1 também tiveram de ser revistas por inviabilidade da solução apresentada na fase anterior por falta de pé direito livre legal, o que teve um grande impacto no dimensionamento das estações de tratamento de águas residuais.

As alterações mencionadas anteriormente ditaram um aumento das redes enterradas. Novamente, a existência do modelo tridimensional destas redes, fez com que a coordenação e a deteção de colisões entre si própria e com as vigas de fundação se tornasse menos penosa aumentando a produtividade assim como garantindo a entrega de um projeto com o menor número de incompatibilidades possível.

Outra situação que não foi devidamente verificada no projeto de licenciamento, isto é, com a metodologia tradicional, foi a posição das caleiras da rede de lavagem dos pisos e toda a sua rede. Com a modelação verificou-se que estas caleiras estavam em conflito com as ligações da estrutura metálica sendo necessário afastá-las.

A deteção destas incompatibilidades em fase de projeto, ainda que em fase de execução, foi muito importante pois as soluções apresentadas para resolver estes problemas tiveram impacto direto nas outras disciplinas. Desta maneira foi possível coordenar todas as especialidades sem atrasos nem custos adicionais em obra.

3.3. Instalações de AVAC

A modelação tridimensional das instalações de AVAC propostas na fase de licenciamento foi a que teve maior impacto junto do cliente dado a dimensão das condutas de desenfumagem. Apesar destas condutas estarem explícitas nos desenhos 2D da fase de licenciamento, foi na execução, ao navegar pelo modelo de AVAC (com os links das outras especialidades junto neste modelo) que o cliente percebeu o verdadeiro impacto que esta rede tinha no edifício, assim como custo associado a ela.

Esta situação gerou a necessidade de uma comunicação mais próxima e simplificada com o cliente resultando numa solução de compromisso entre as partes.

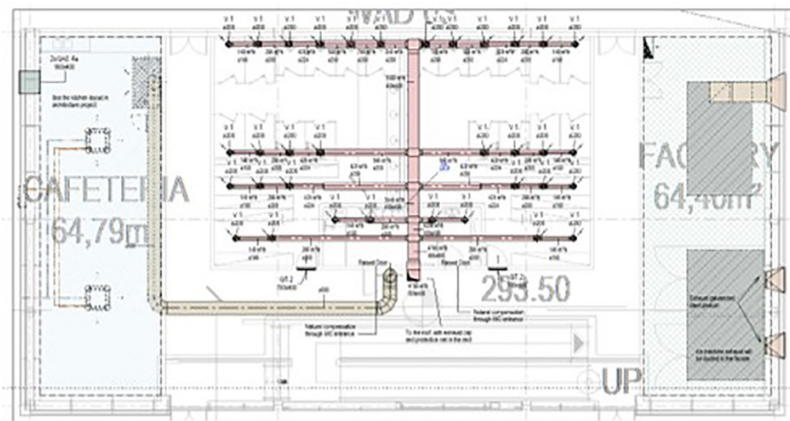


Figura 4
Planta do piso 0 –
balneários – redes
aéricas.

Nesta disciplina foi possível ter um ganho de produtividade substancial no dimensionamento das redes assim como nas alterações que foram acontecendo ao longo do processo. O software usado permite o cálculo de caudais das condutas, assim como o seu somatório, sendo possível fazer uma comparação com as tabelas de cálculo usadas pelos engenheiros dando a possibilidade de fazer uma dupla verificação no que toca à perda de carga, velocidade de caudal, dimensão das condutas, etc. Mais uma vez, qualquer alteração que fosse feita às redes, tanto de dimensionamento, como de cálculo, as anotações já feitas eram ajustadas automaticamente às novas propriedades da geometria levando a um aumento de produtividade.

4. Conclusão

Com o caso de estudo apresentado foi possível concluir que, dada a dimensão do projeto, esta transição para a metodologia BIM mostrou-se como uma mais-valia enorme, já que foi possível melhorar vários aspetos do projeto, nomeadamente:

1. Melhoria substancial na comunicação de informação com o cliente (construtora) e os arquitetos (externo);
2. Identificação e resolução de erros de projeto das fases anteriores;
3. Facilidade em identificar soluções de projeto através de simulações;
4. Facilidade na deteção de colisões e coordenação entre as várias especialidades;
5. Partilha de modelos tridimensionais para aumento de detalhe para a obra;
6. Possibilidade de usar o modelo em gestão e operação do empreendimento.

Este projeto é assim um projeto referência das potencialidades e melhorias que podemos atingir ao transitarmos para a metodologia BIM.

Referências

- [1] F. Roberti e D. Ferreira, *Increasing Autodesk Revit Productivity for Bim Projects*. Packt Publishing, 2021
- [2] ISO 19650, “ISO 19650-1:2018 – Information Management using Building Information Modeling – Part 1: Concepts and Principles”, International Organization for Standardization (ISO), 2018
- [3] ISO 19650, “ISO 19650-2:2019 – Information Management using Building Information Modeling – Part 2: Delivery Phase of the assets”, International Organization for Standardization (ISO), 2019
- [4] W. Ikerd, P. E. e CM-BIM, *Principal Investigator, BIM Project Execution Plan Guide An Introduction For Those New to BIM*, BIMFORUM, 2020
- [5] J. Bedrick, FAIA, W. Ikerd, P. E. e J Reinhardt, *Level of development (LOD) specification Part I & commentary for Building Information Models and Data*, BIMFORUM, 2020
- [6] BIM Corner, *Bim Coordination*. <https://bimcorner.com/bim-coordination-2/> (Acedido em 20/12/2021)

Soluções para projetos de engenharia em BIM para aeroportos. Estudo de caso do aeroporto de Vitória

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.27>

**Guilherme Guignone¹, Heurie Rocha¹,
João Luiz Calmon², Wladimir Araújo³**

¹ Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – Infraero, Brasília, Distrito Federal, Brasil

² Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, Espírito Santo, Brasil

³ EngenhariAZ, Brasília, Distrito Federal, Brasil

Resumo

As obras de ampliação do Aeroporto de Vitória, ES, representaram um marco recente para a engenharia aeroportuária brasileira. Contemplaram-se 365.000 m² de área construída e envolveu a construção de terminal de passageiros, torre de controle, edifício do corpo de bombeiros, pista de pouso e decolagem, dentre outros sistemas. Um complexo aeroportuário apresenta demandas diversificadas no que se referem aos projetos de engenharia, como: de edificações, de infraestrutura, de segurança, entre outras. A fim de atender a estas demandas e elevar o desempenho dos projetos, a adoção da metodologia BIM torna-se fundamental. O presente artigo apresenta soluções para a execução e a fiscalização de projetos de engenharia em BIM para aeroportos. São propostas soluções para projetos de sinalização de aeródromos, verificações de superfícies livres de obstáculos, uso de automatização de processos e de Power BI integrado ao modelo BIM. Foi realizada a modelagem em BIM do complexo aeroportuário e concebidas soluções em BIM para atendimento às demandas do Projeto. Algumas soluções em BIM foram adotadas pela equipe de fiscalização do projeto e da obra. Outras, são propostas para serem adotadas como referências para usos BIM em complexos aeroportuários a serem projetados e/ou construídos. Constatou-se que há soluções em BIM, ainda pouco exploradas, que podem impactar, de forma determinante, na elevação de desempenho da execução e fiscalização de projetos para aeroportos brasileiros. Espera-se que os responsáveis pelos projetos de aeroportos brasileiros possam adotá-las visando elevar a eficiência, segurança e economicidade das construções em aeroportos.

1. Introdução

Em função de suas características peculiares e demandas diversas, projetar um aeroporto pode ser comparado com projetar uma pequena cidade. Young and Wells [1] comparam a administração de um aeroporto como ser o prefeito de uma cidade, em função do aeroporto ser constituído por uma enorme variedade de instalações, sistemas, usuários, trabalhadores, regras e regulamentações. Trata-se de uma estrutura complexa, uma região, que precisa se integrar ao tecido urbano e, ao mesmo tempo, executar as suas funções com eficiência e segurança. Um aeroporto apresenta funções que o difere de uma cidade. As funções principais de um aeroporto são: a operação de tráfego de aeronaves no solo e próxima ao aeródromo, funções comerciais, de segurança e de manutenção da infraestrutura. Tratam-se de demandas oriundas de setores diversos que precisam ser atendidas em tempo útil e com eficiência. A infraestrutura de um aeroporto é composta pelo aeródromo e pelas facilidades aeroportuárias – edificações e sistemas que complementam as funções juntamente com o sistema de pistas e pátios. Há também superfícies imaginárias de segurança, que necessitam estar livres de obstáculos e contemplam restrições específicas. Estas são normatizadas e suas características podem variar em função da classificação do aeroporto.

Nota-se que um aeroporto apresenta demandas diversas, quer seja nas etapas de concepção e de projeto, quer seja na construção, operação e manutenção do empreendimento. No que se refere à etapa de projeto, há disciplinas envolvidas relacionadas a projetos de engenharia de edificações e de infraestrutura. O processo de execução dos projetos precisa ser planejado de forma que as informações sejam disponibilizadas com confiabilidade e no momento adequado. A fim de elevar o desempenho do processo de desenvolvimento de projetos aeroportuários, proporcionando soluções com maior assertividade, elevação do potencial de gestão da informação e minimização de retrabalhos, o uso da metodologia *Building Information Modeling* - BIM tende a ser uma relevante opção. De acordo com Abbondati *et al.* [2], o uso da metodologia BIM é essencial para desenvolver modelos inteligentes para construções e planejamento e gestão de projetos de infraestrutura. A modelagem BIM aplicada a projetos de infraestrutura, como de aeroportos, permite a inserção nos modelos de informações sobre materiais, certificações, procedimentos de manutenção e parâmetros estruturais e funcionais. O uso do BIM aplicado a projetos de infraestruturas de transporte demanda ainda mais pesquisas, principalmente, com relação a interoperabilidade entre os modelos desenvolvidos [3]. Entretanto, é importante considerar que, embora os projetos de infraestrutura possuam características intrínsecas que demandam diferentes metodologias de modelagens, a base de aplicação BIM em termos de gerenciamento e troca de dados continua a ser a mesma [4]. Há diversas soluções em BIM para aeroportos que precisam ser exploradas e as suas experiências compartilhadas. Os aeroportos têm o desafio de desenvolver estratégias personalizadas para a implementação do BIM, porque cada aeroporto é único, com a sua estratégia comercial, objetivos e usos BIM e recursos para apoiar o seu Plano de Implementação BIM ao longo do seu ciclo de vida [5].

Pesquisas têm demonstrado o uso do BIM em aeroportos como promissor, por exemplo, Alvarez *et al.* [6] demonstraram estratégias, com o uso da metodologia BIM, para controlar e supervisionar reformas em pavimentos de pistas de pouso e decolagem. Biancardo *et al.* [7] apresentaram soluções em BIM, realizadas em modelos de arquitetura e de estruturas, para pontes de embarque para as obras de ampliação de um Aeroporto. Keskin e Salman [8] apresentam uma proposta para gerenciamento de aeroportos, baseada em BIM, que conecta as áreas clientes de um aeroporto com os seus requisitos operacionais.

Os projetos e as obras de modernização do Aeroporto de Vitória, ES, Brasil, compreenderam a construção de um aeroporto contemplando, praticamente, a totalidade dos sistemas aeroportuários essenciais. Além das soluções em BIM adotadas durante o desenvolvimento dos projetos e das obras, configurou-se como referência de possibilidades para usos BIM a serem incorporados em futuros projetos para aeroportos. Esta pesquisa objetiva demonstrar os usos BIM adotados durante a execução dos projetos e das obras do aeroporto e demonstrar os usos promissores de soluções BIM a partir de ensaios realizados com a modelagem total do aeroporto.

1.1. BIM aplicado a aeroportos

O processo de concepção e de execução de projetos para aeroportos necessita considerar demandas diversas, dentre elas, aquelas relacionadas a projetos de engenharia de infraestrutura e de edificações e aspectos operacionais, de segurança e comerciais em um aeroporto. Precisam ser consideradas operações existentes, que não podem ser interrompidas, e procedimentos de segurança estabelecidos. É importante também considerar que as informações geradas e os produtos executados nas etapas de projetos, poderão ser também adotados nas fases de operação e de manutenção do empreendimento. Identificam-se ganhos com o uso do BIM em aeroportos. O primeiro uso de BIM para aeroportos foi estudado por Robert Aish [9], em 1986, onde avaliou o desenvolvimento em fases do Terminal de Passageiros 3 do Aeroporto de Heathrow em Londres. Em 2010 o Aeroporto de Gatwick, em Londres, implementou o BIM objetivando a integração com os seus processos existentes e adotá-lo em todas as fases do ciclo de vida do empreendimento. O uso do BIM possibilitou ganhos significativos com relação aos entregáveis de projetos e à gestão de ativos no aeroporto [10]. O Aeroporto Internacional de Denver iniciou o seu processo de implementação do BIM em 2010 com o seu projeto de Hotel. Desde então, institucionalizou o BIM e estendeu o seu uso a todas as fases do ciclo de vida de seus ativos [11]. De acordo com Petruzzo *et al.* [12], nota-se uma elevação significativa do uso do BIM em projetos para aeroportos, principalmente, em comparação com outros tipos de projetos de transporte, como: estradas, pontes, transporte ferroviário e túneis.

1.2. Projetos e Obras do Complexo Aeroportuário do Aeroporto de Vitória

As obras de modernização e ampliação do Aeroporto de Vitória iniciaram-se em 2011 e contemplaram área total de construção de 365.000 m². Envolveu a construção de nova pista de pouso e decolagem, nova torre de controle, novo edifício do corpo de bombeiros, novo pátio de aeronaves, novo sistema de taxiways, edificação central de utilidades, dentre outras (Figura 1). Os projetos e as obras para a execução do aeroporto foram contratados pela Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, Infraero, operadora deste aeroporto à época. A empresa fiscalizou os projetos e as obras e foi executora de alguns dos projetos, quer seja para complementar o escopo das obras, quer seja para adequar os projetos às atuais necessidades operacionais, comerciais e de segurança. A Infraero é uma empresa pública federal brasileira fundada em 1973 e, atualmente, responsável pela administração de 37 aeroportos públicos no Brasil. Ela já contou em 2011 com 66 aeroportos. Segundo a ICAO, em 2017, seus aeroportos representavam quase 66% do tráfego de passageiros na América Latina e no Caribe.



Figura 1
Aeroporto de Vitória,
Espírito Santo, Brasil,
antes e depois da con-
clusão das obras.

2. Soluções BIM para projetos de engenharia aplicadas no Aeroporto de Vitória-ES

Os usos BIM apresentados nesse trabalho são aqueles realizados durante o desenvolvimento e adequação dos projetos, execução das obras de ampliação do Aeroporto de Vitória-ES e aqueles, que, mesmo que não foram executados durante as fases de projeto e de obra, foram ensaiados após a execução da modelagem total do aeroporto. Algumas funções foram testadas nos modelos BIM e despontam como sugestões para aplicações em outros aeroportos brasileiros a fim de elevar o desempenho de seus entregáveis e processos.

2.1. Soluções em BIM para projetos de sinalização para aeroportos

Um aeroporto necessita contemplar um conjunto de sistemas de sinalização a fim de orientar as aeronaves também em transito em solo. Como exemplos, tem-se os

equipamentos de sinalização horizontal (demarcações no pavimento) e vertical (placas verticais de sinalização). Para o Aeroporto de Vitória foi necessário adequar os projetos existentes à época a fim de atender às novas demandas. Havia restrições de prazos para a conclusão dos projetos e também necessidades de discussões em relação a soluções para atendimentos às áreas clientes. O uso da metodologia BIM possibilitou melhor visualização e entendimento das soluções, potencializar a gestão da informação, maior assertividade nos processos e celeridade para resolução de inconsistências. Proporcionaram-se também ganhos operacionais para o aeroporto e eficiência na geração de documentação técnica e de levantamento de quantidades. A modelagem da sinalização horizontal foi realizada no *software* Revit (Autodesk) e as simulações do trajeto de aeronaves em solo foram realizadas no *software* Path-Planner (Transoft Solutions) (Figura 2).

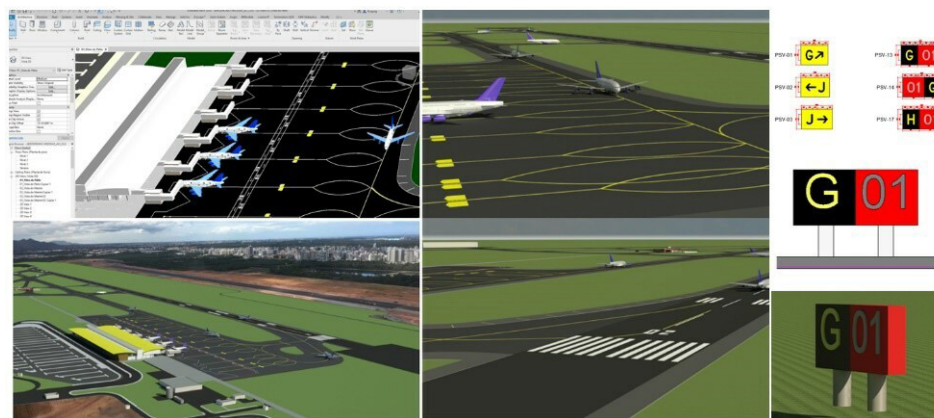


Figura 2
Desenvolvimento dos projetos de sinalização horizontal e vertical.

2.2. Soluções em BIM para projetos de pontes de embarque

Havia um projeto anterior para o terminal de passageiros e para as pontes de embarque, entretanto, em função da necessidade de adequação do projeto às novas demandas operacionais do aeroporto, como a nova configuração de mix de aeronaves e inclusão de novas posições remotas, foi necessário projetar uma nova configuração de pontes fixas. As novas pontes fixas precisariam atender a algumas premissas, como: a) proporcionar o maior espaço possível para áreas de equipamentos de rampa e de espera; b) otimizar o fluxo operacional no pátio no que se refere ao trânsito de veículos e de serviços; c) atender às inclinações máximas admissíveis para pessoas com necessidades especiais, conforme a norma brasileira ABNT NBR 9050; d) atender às alturas mínimas e máximas das soleiras de acesso às aeronaves previstas no mix de aeronaves do aeroporto; e) contemplar um partido arquitetônico que harmonizasse com o projeto do terminal de passageiros; f) liberar aos passageiros os visuais na sala de embarque em relação ao pátio de aeronaves; g) atender como saídas de emergências e acesso a posições remotas, dentre outros. Para atendimento às posições remotas e saídas de emergências foram projetadas torres que possuíam, em seu interior, circulações verticais. Adotou-se o BIM para avaliar as soluções estéticas e funcionais possíveis, possibilitando investigar diferentes soluções de projeto beneficiando-se com a parametrização dos componentes.



Figura 3
Desenvolvimento do projeto e construção final das novas pontes de embarque.

2.3. Edifício do Corpo de Bombeiros e reabastecimento de caminhões contra incêndio

O BIM foi adotado para avaliar soluções estéticas e funcionais para o ponto de reabastecimento dos veículos de combate a incêndio. Pensou-se em uma torre de abastecimento que contemplasse altura que não impactasse nos visuais livres dos controladores de voos em relação aos pontos críticos do aeródromo. O volume mínimo de água para o reservatório superior deveria ser atendido, assim como o adequado funcionamento hidráulico das instalações. Adotou-se também o BIM para investigar soluções estéticas e funcionais para a edificação em face das adequações de projeto solicitadas pelas áreas clientes do aeroporto.



Figura 4
Projeto do Edifício do Corpo de Bombeiros.

2.4. Soluções em BIM para projetos de superfícies livres de obstáculos em aeroportos

É necessário contemplar também em aeroportos projetos de superfícies imaginárias, tridimensionais, denominadas superfícies livres de obstáculos. Estas apresentam dimensões, configurações e inclinações específicas, conforme a classificação do aeródromo. São conhecidas, dentre outras denominações, como: faixas de pista, superfície de transição, superfícies de aproximação e de decolagem, superfície cônica, dentre outras. Após a modelagem total do aeroporto, foi possível também modelar as superfícies livres de obstáculos adotando-se o software Revit (Autodesk). Após isso, o modelo foi importado para o software Infracad (Autodesk), ambiente integrador de sistemas de informações geográficas (SIG) e BIM, onde foi possível agregar precisão geográfica aos modelos (Figura 5). Assim, foi possível avaliar, com precisão, se havia elementos conflitantes com essas áreas de segurança. Foi possível também: a) atualizar as superfícies, facilmente, no caso de alterações na classificação do aeroporto ou simulações de alternativas de mix de aeronaves; b) auxiliar no processo de concepção e projeto de edificações ou equipamentos no aeródromo; c) monitorar os trabalhos de ampliação da infraestrutura, operacionais e de segurança que possam vir a ocorrer no aeroporto; d) incorporar aos modelos informações não gráficas,

como: altura máxima e área de abrangência máxima de cada elemento; inclinações; código de referência do aeródromo; dados do processo de certificação do aeródromo; normas e legislações relacionadas; planos de emergências e manual de certificação do aeródromo, histórico de erros e violações, dentre outras.

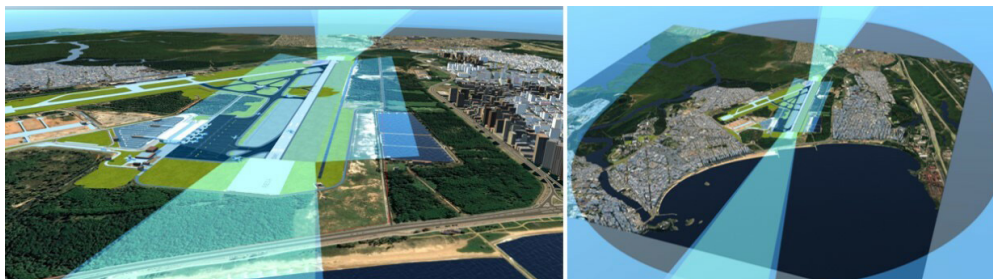


Figura 5
Modelagem das superfícies livres de obstáculos no aeroporto.

A fim de elevar a acurácia em relação a elementos que possam promover conflitos com as superfícies livres de obstáculos, adotaram-se também procedimentos de detecção de conflitos, adotando o software de verificação Navisworks (Autodesk). O modelo BIM no *software* Infracore foi exportado para o Navisworks (Autodesk), sendo possível avaliar, de forma automática, inconsistências e produzir relatórios.

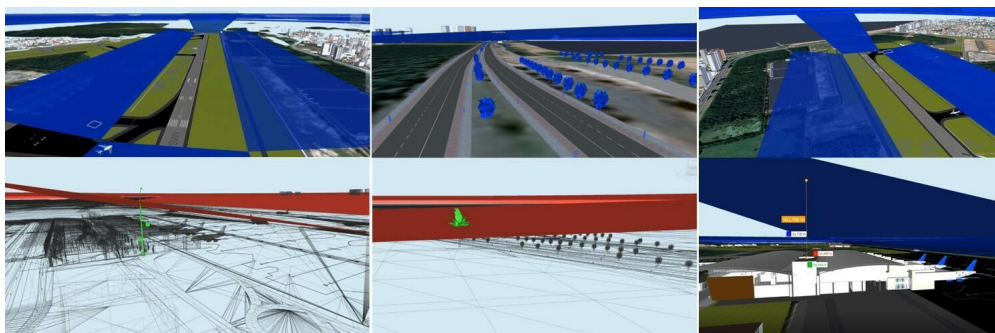


Figura 6
Detecção de interferências para as superfícies livres de obstáculos.

2.5. Automatização de processos para criação de filtros, exportação e criação de elementos

Visando elevar o desempenho na execução de projetos e executar ações não contempladas pelos softwares disponíveis, é possível desenvolver programações visuais visando executar rotinas desejadas. O uso do software Dynamo (Autodesk) pontua-se como uma importante solução. A partir da modelagem total do aeroporto, foram adotadas rotinas visando a identificação de itens específicos do modelo e, a partir de critérios predefinidos, foram adotadas simbologias de cores para identificação dos itens investigados. No exemplo a seguir, necessitou-se identificar áreas superiores a 5.000 m² para a execução de pavimentos. Estas poderiam exigir procedimentos de trabalhos específicos para a execução, tais como referentes a equipamentos e a mão de obra. Esses critérios foram arbitrados para fim de estudo em relação à mencionada solução BIM. Assim, foi possível selecionar elementos específicos no modelo para

investigação de suas informações gráficas e não gráficas e para procedimentos como levantamento e extração de quantidades (Figura 7).

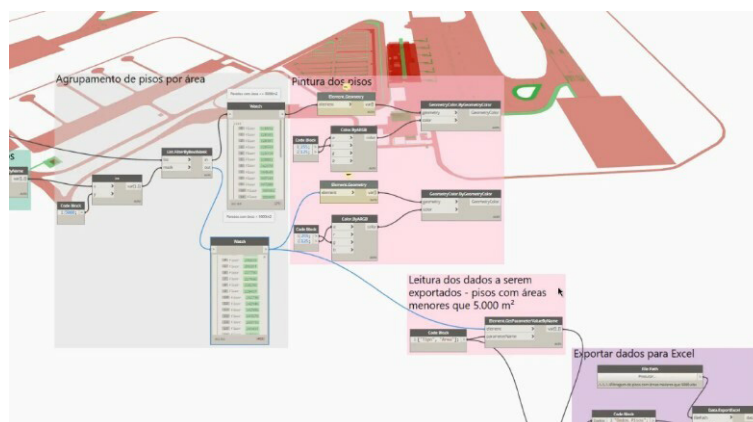


Figura 7
Uso de automação para a identificação de componentes específicos no modelo.

É possível também, por meio de programação visual, transformar elementos 2D, como linhas, desenvolvidas no Autocad (Autodesk), em objetos BIM. Esta função pode ser benéfica para, por exemplo, transformar linhas desenvolvidas em 2D em componentes de paredes ou de pisos no Revit (Autodesk) que podem simbolizar sinalização horizontal no pavimento (Figura 8).

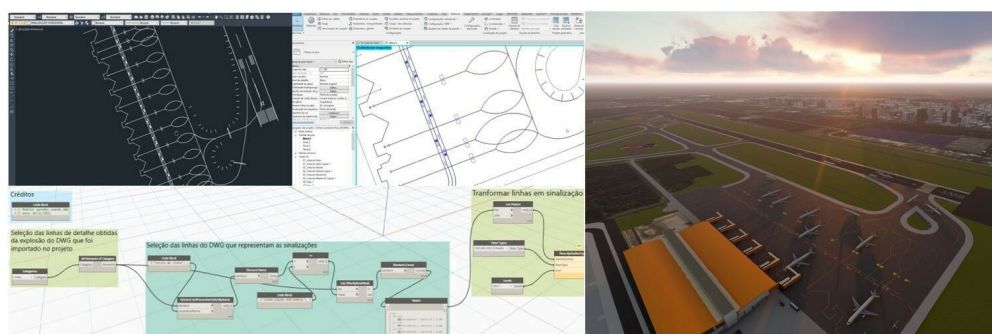


Figura 8
2D em CAD para criação de componentes BIM, como sinalização no pavimento.

2.6. Uso de Power BI integrado ao modelo BIM e geração de BIM 4D.

Outra solução a ser adotada em aeroportos é o uso de recursos de Big Data de forma integrada com modelos BIM. Assim, ao atualizar os modelos BIM, os dados relacionados podem ser atualizados de maneira automática, possibilitando a visualização e compreensão dos resultados por toda a equipe envolvida, com celeridade e eficiência. Em um aeroporto, onde há necessidade de gestão de informações diversas e estas devem ser disponibilizadas e compreendidas por equipes múltiplas, é fundamental o uso dessa integração. Neste caso, usou-se o Power BI (Microsoft) integrado ao modelo BIM, desenvolvido no *software* Revit (Autodesk). Além desse procedimento ser fundamental para o melhor entendimento do Projeto em etapas iniciais do

processo de desenvolvimento – onde há maiores possibilidades de alteração com menores impactos no custo – este modelo integrado pode ser adotado em todo o ciclo de vida do empreendimento. Foram adotados para a identificação de quantitativos e para avaliação da proposta de cronograma para a execução da obra. Neste último, adotou-se o Navisworks (Autodesk) vinculando o cronograma da obra ao modelo tridimensional (BIM 4D) podendo visualizar a simulação da construção e sincronizar os resultados no Power BI (Fig. 9).

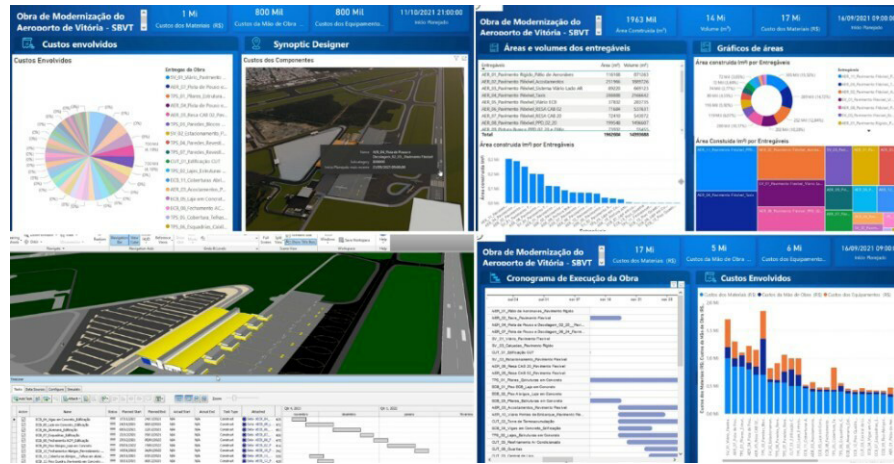


Figura 9
Uso do Power BI integrado ao modelo BIM.

2.7. Resumo gráfico das soluções BIM adotadas

A partir do Resumo Gráfico referente às soluções BIM apresentadas nesse trabalho (Figura 10), pode-se constatar que as modelagens foram realizadas, basicamente, no software Revit. As informações gráficas e não gráficas dos modelos foram integradas ao Power BI, disponibilizando informações para às áreas clientes do aeroporto e para a equipe de desenvolvimento dos projetos. Após isso, os modelos são inseridos em um ambiente integrado envolvendo BIM e SIG possibilitando agregar precisão às avaliações e incorporar componentes de base de dados oficiais. Após isso, o modelo pode ser verificado em um software de verificação de modelos (Navisworks) a fim de investigar se há elementos conflitantes entre disciplinas e com as superfícies livres de obstáculos.

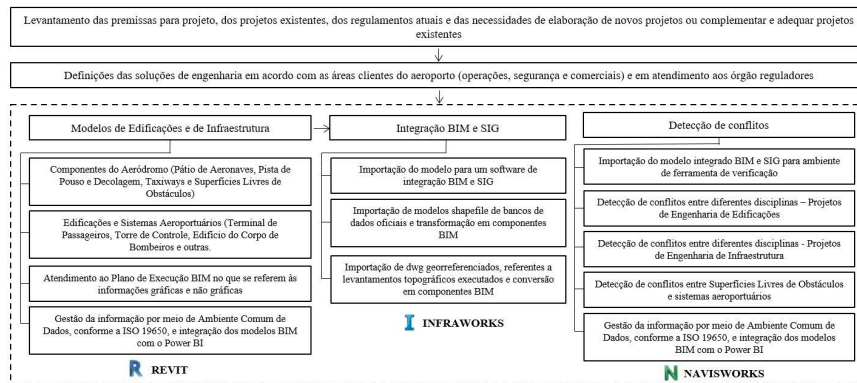


Figura 10
Resumo gráfico referente às soluções BIM apresentadas.

3. Benefícios alcançados e esperados

A Tabela 1 demonstra os principais benefícios obtidos com as soluções BIM apresentadas.

Tabela 1
Soluções BIM adotadas e benefícios identificados.

Soluções BIM Adotadas	Momento de execução	Softwares Envolvidos	Usos BIM	Benefícios
Projetos de Sinalização	Durante as obras de ampliação do aeroporto (DO)	Revit e PathPlanner	Visualização do modelo (V), geração de documentação técnica (D) e levantamento de quantidades (L)	Elevação do desempenho dos projetos (velocidade de execução e qualidade) (DES)
Nova configuração de pontes de embarque	DO	Revit e Pathplanner	V, D e L	DES
Solução para o Edifício do Corpo de Bombeiros	DO	Revit	V, D e L	DES
Definição das superfícies livres de obstáculos	Ensaio após a modelagem total do complexo aeroportuário (EN)	Revit, Infraworks e Navisworks	Deteção de Interferências	Elevação da segurança do aeroporto e uso do modelo durante todo o ciclo de vida do ativo DES
Automatização de rotinas	EN	Revit e Dynamo	Automatização do processo de trabalho	DES
Integração BIM e Power BI	EN	Power BI, Revit e Navisworks		Confiabilidade da informação disponibilizada e melhoria na gestão da informação

4. Conclusão

Constataram-se, durante os processos de execução dos projetos e das obras, elevação da qualidade dos entregáveis e atendimento aos cronogramas. O uso da metodologia BIM apresentou potencial de automatização de processos, melhoria na gestão da informação e mitigação de retrabalhos. Em um ambiente aeroportuário; onde há necessidades diversas de compartilhamento de informações em setores multidisciplinares, com diferentes níveis de maturidade BIM; benefícios como de visualização de modelos e capacidade de encapsulamento de dados, podem ser estrategicamente aproveitados visando otimizar processos. Em relação aos ensaios apresentados a partir da modelagem total do aeroporto, verificam-se potenciais para a adoção em aeroportos brasileiros, principalmente, no que se referem ao uso de automatização de processos, uso do Power BI integrado ao modelo BIM e detecção de interferências com relação às superfícies livres de obstáculos. Pretende-se que as soluções aqui propostas sejam replicadas, adaptando-se às características e às demandas de cada aeroporto, visando a redução de custos de projetos e relacionados à execução de empreendimentos, alcance dos objetivos estratégicos do aeroporto e proporcionar elevação da segurança aeroportuária.

Referências

- [1] S. Young, A. Wells. *Aerportos: planejamento e gestão*. 6 ed. – Porto Alegre: Bookman, 2014.
- [2] Abbondati *et al.* *I-BIM for existing airport infrastructures*. AIIT 2nd International Congress on Transport Infrastructure and Systems in a changing world (TIS ROMA 2019), 23rd-24th September 2019, Rome, Italy. Transportation Research Procedia, 45 (2020) 596–603
- [3] J. Li, M. Kassem, Ciribini, A. L. C., Bolpagni, M., 2019a. *A proposed approach integrating DLT, BIM, IOT and smart contracts: Demonstration using a simulated installation task*. In: International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) Driving Data-Informed Decision-Making. ICE, pp. 275-282
- [4] J. C. Cheng, Q. Lu, Y. Deng. Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Automat. Constr.* 2016, 67, 31-47.
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2016. *Building Information Modeling for Airports*. Washington, DC: The National Academies Press.
- [6] Alvarez *et al.* Opportunities in airport pavement management: Integration of BIM, the IoT and DLT. *Journal of Air Transport Management* 90 (2021)
- [7] Biancardo *et al.* BIM Approach for Modeling Airports Terminal Expansion Infrastructures 2020, 5, 41
- [8] B. Keskin, B. Salman. Building Information Modeling Implementation Framework for Smart Airport Life Cycle Management Transportation Research Record 2020, Vol. 2674(6) 98–112
- [9] R. Aish, Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD. Proc., International Symposium on the use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings, Bath, 1986.
- [10] S. Neath, R. Hulse, and A. Codd, “Building Information Modelling in Practice: Transforming Gatwick Airport, U.K.”, *Civil Engineering*, Vol. 167, Issue CE2, 2014.
- [11] M. Ball, “*Denver’s Airport Expansion Primes a Push toward BIM for Facility Management*”, *Informed Infrastructure*, 2015 [Online]. Available: <https://informedinfrastructure.com/6773/bim-for-denver-airport-expansion/?print=pdf>. buildingSMART UK, “Investing in BIM Competence,” buildingSMART UK, Watford, 2010.
- [12] M. Petruccio, B. Morton, S. A. Jones, D. Laquidara-Carr, S. Lubrano, A. Lorenz, T. Yamada, B. Buckley, K. Logan, and S. Barnett. *The Business Value of BIM for Infrastructure 2017*. SmartMarket Report. Dodge Data & Analytics, Bedford, MA, 2017.

Implantação BIM em procesos de projeto: O caso da companhia brasileira de trens urbanos, superintendência do Recife

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.28>

**Emmanoel Neri¹, Max Andrade²,
Ítalo Santos³, Rafaela Pereira⁴, Laysa Monteiro⁵, Heron Santos⁶**

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0002-8370-1042

² Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0003-0717-1251

³ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0003-4071-246X

⁴ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0001-6753-016X

⁵ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0002-4159-2861

⁶ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, 0000-0002-1052-5172

Resumo

O processo de projeto de arquitetura é comumente relacionado a uma atividade criativa, com resolução de problema de natureza não bem definida. Não possui ponto final, mas nível aceitável de solução. Em projetos de edificações públicas a definição do problema do projeto e os mecanismos de resolução são, geralmente, mais complexos. Além das questões do projeto, envolvem também aspectos políticos, econômicos, de cultura da organização, de legislação etc. Esses processos nem sempre estimulam uma prática produtiva de trabalho. Acredita-se, todavia, que o desenvolvimento de prática de projeto, apoiada em usos BIM, que seja integrada, multidisciplinar, já nas etapas iniciais, pode auxiliar na transparência, eficiência e eficácia desse tipo de projeto. Essa forma de trabalhar exige mudança na cultura da empresa, com redefinições de projeto, inserção de tecnologias de gestão da informação, redistribuição das atribuições e mudanças nos fluxos de trabalho. Essas são algumas questões a serem discutidas neste artigo. Este apresenta resultados parciais de um mestrado que procura demonstrar, por meio de diagnóstico e proposição, que práticas de projetos colaborativos e integrados, apoiados no BIM, podem auxiliar os projetos de edifícios públicos, com melhor escopo, função, custo, eficiência, transparência e auditabilidade. Através de Pesquisa-Ação, baseada no Design Science Research, este trabalho analisou o processo de projeto da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), em Recife. Esta já trabalha com ferramentas BIM, mas pouco transformou suas práticas de projeto. Com base no diagnóstico estão sendo propostas mudanças na gestão do projeto e da informação apoiadas numa cultura BIM.

1. Introdução

O processo de projeto arquitetônico é um termo com sentido amplo e subjetivo, muitas vezes relacionado com a criatividade do projetista. Adicionado a isso, existe a complexidade e variabilidade do projeto em torno da natureza do problema projetual, do perfil do projetista, das necessidades do cliente, etc. Contudo, há características no processo de projeto arquitetônico que são similares, independentemente da variabilidade supracitada, são elas: **mal estruturado, em aberto e sem um ponto de partida** [15]; e há ainda uma característica pertinente à acabativa do processo de projeto, que este **não possui um ponto final** [15].

Os primeiros estudos sobre métodos de projeto arquitetônicos [12], tiveram fortes influências de outras disciplinas, sobretudo da engenharia civil, ergonomia, matemática, cibernética e computação. Mesmo depois de mais de 60 anos de estudos em métodos de projeto observa-se que nos processos de projeto tradicional a integração entre disciplinas apenas ocorre em etapas posteriores à concepção arquitetônica, fazendo com que questões de outras disciplinas, como instalações, estruturas e manutenção se moldem à arquitetura, podendo trazer prejuízos no empreendimento como um todo [14].

Uma solução para a integração multidisciplinar é antecipar as atividades de desenvolvimento do projeto para as fases iniciais, através de práticas de projeto integrado [14]. Essa forma de trabalho exige uma mudança de cultura das organizações que trabalham ainda muito baseadas em práticas tradicionais de projeto. Para essa mudança são necessárias redefinições das etapas de projetos, inserção de novas ferramentas, revisão ou redistribuição das atribuições dos envolvidos, mudanças nos fluxos de trabalhos, entre outras. Nesse contexto, acredita-se que o processo de projeto pode ser desenvolvido através de relações multidisciplinares integradas, onde a melhor solução visa o todo e não partes de disciplinas separadas. E, além da integração espacial, o processo poderá também ser integrado temporalmente, trazendo para a fase de concepção as áreas de manutenção, operação, orçamentação, planejamento e execução de obras (que tradicionalmente estão no final do processo de projeto, pós-projeto), levando em conta todo o ciclo de vida do empreendimento, tornado o processo documentado e retroalimentado.

Uma das formas de realizar esta integração multidisciplinar é através da adoção de ferramentas digitais, em especial, a adoção do Building Information Modeling [14].

A utilização do Building Information Modeling é uma tendência na Indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). No Brasil, algumas empresas já passaram a adotar o BIM em seus processos de trabalho há alguns anos, principalmente no setor privado. Porém, apenas recentemente com os incentivos do Governo Federal à adoção do BIM é que houve mais visibilidade no setor público. Estes incentivos se iniciaram formalmente em 2017, quando foi instituído o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modeling – CE-BIM. A partir de então,

alguns decretos surgiram anualmente [4][5][6] na intenção de ratificar ou adicionar alguns pontos da estratégia do Governo Federal.

Para o setor Público do país, em especial o decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 [4] é o mais importante, pois discorre sobre apoio, incentivo e define marcos temporais para níveis de Implementação BIM. Neste decreto, um parágrafo único ainda reitera que embora não seja obrigatório para todas as empresas públicas, aquelas que desejarem implantar e utilizar BIM em qualquer nível de maturidade, deverão seguir o disposto no mesmo como forma de guia e sugestão. Ainda neste decreto há a definição de metas escalonadas visando a implantação da metodologia desde a fase de projetos até o pós-obra.

A fim de se traçar algumas diretrizes para que o referido decreto seja atingido de forma plena pelas empresas públicas, este artigo analisa a implementação do BIM na Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) do Recife, empresa pública federal brasileira de transporte urbano, definindo diretrizes específicas para o caso desta empresa, que poderiam ser aplicadas ou adaptadas em outras instituições públicas.

2. A proposta

Este artigo mostra os resultados parciais de uma pesquisa de mestrado em andamento que visa propor mudanças e documentações que auxiliem no processo de projeto arquitetônico multidisciplinar no setor público, através de apropriação e adoção do Building Information Modeling (BIM) e de pesquisa laboratorial, de teste e validação, em uma instituição pública, a CBTU Recife. Tal pesquisa se baseia no método Design Science Research [1][11] e visa desenvolver um artefato prescritivo para a instituição pública em questão.

O primeiro passo a adoção do BIM e proposição de mudanças é o desenvolvimento do diagnóstico da empresa, para tanto foi realizado um diagnóstico qualitativo-descritivo do processo de projeto, este baseado em guias de instituições brasileiras [2][3][9], em conformidade com autores nacionais e internacionais,[7][13][18], levantando assim uma descrição organizacional, de pessoas, tecnologias, procedimentos e processos; visando observar previamente quais os pontos de melhoras, os objetivos da empresa, tipo de projeto e entregável, quais Usos BIM que se deseja alcançar e quais os ganhos desejados com a implantação.

Paralelamente, foi desenvolvido um diagnóstico quantitativo do Grau de maturidade BIM, baseado em dois métodos: o BIM Maturity Matrix (BIM³), proposto por Succar [7]; e a Organizational BIM Assessment, proposto pelo Computer Integrated Construction (CIC) Research Group da Pennsylvania State University [16].

A escolha desses métodos se deu pela avaliação bibliográfica [13] da adequação dos mesmos ao objetivo desejado e ao tipo da Instituição avaliada. O BIM Maturity Matrix possui métricas bem distribuídas em relação a três áreas principais do BIM: Processos, Tecnologia e Políticas/Pessoas, sendo indicado para diagnósticos iniciais

em instituições [13]. Já o Organizational BIM Assessment possui mais critérios de pesquisa que o primeiro [13], envolvendo tópicos sobre *capex* e *opex*; sendo, portanto, adequado à situação da CBTU Recife.

3. Diagnóstico na CBTU Recife

3.1. Descrição Organizacional

A Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) é uma empresa pública sob a forma de sociedade anônima, de capital fechado, controlada pela União, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento Regional [10]. Com sede e foro na cidade de Brasília, a empresa possui atualmente operação em cinco estados distintos, que formam as Superintendências de Belo Horizonte-MG (CBTU/BH), João Pessoa-PB (CBTU/Jop), Maceió-AL (CBTU/Mac), Natal-RN (CBTU/Nat) e Recife-PE (CBTU/Rec). Sendo a última a maior Superintendência da empresa em números de funcionários e em extensão de linha, também conhecida como Metrô do Recife [10], na qual está focada esta pesquisa.

Embora a CBTU/Rec possua um denso organograma, com dez grandes gerências, a Implantação BIM será, inicialmente, desenvolvida na Gerência Regional de Implantação e Obras (GIOBR), pois este é o setor responsável pelos serviços de engenharia referentes à realização de Projetos, Orçamentação, Implantação, Contratação, Fiscalização e Acompanhamento de obras da CBTU/Rec, sendo composta pelas Coordenações Operacionais de: Projetos (COPRO); Controle e Acompanhamento de Obras (COACO) e Implantação (COIMP). Atualmente, há na CBTU Recife um “Grupo de Trabalho para Planejamento, Implementação e Disseminação do BIM na CBTU – STU/REC” (GT BIM CBTU/Rec), composto por funcionários da Gerência de Obras, do qual faz parte o autor desta pesquisa. Nesta gerência, há ainda um grupo de profissionais já envolvidos com processos BIM em níveis de modelagem e fase inicial de implantação, conhecido informalmente como Núcleo BIM. Estes grupos internos se formaram no segundo semestre de 2018, quando das primeiras movimentações internas (“*bottom-up*”), no sentido da Implantação BIM na empresa.

3.2. Processo de Projetos

Quanto ao processo de trabalho na Gerência de Obras (GIOBR), pode-se dividi-lo da seguinte forma:

- Processo Pré-Licitatório (Obras Civis): quando há necessidade de implantação, adequação, ampliação ou reforma nas instalações da CBTU;
- Processo Pré-Licitatório (Sistemas): serviços em Sistemas Eletroeletrônicos e de Telecomunicações;
- Início de Obras e Serviços de Engenharia: processo pós-licitatório quando as empresas contratadas iniciam os serviços de Obras, ficando à Cargo da GIOBR o papel de fiscalização.

A implementação atual concentra-se nos processos Pré-Licitatórios, em especial, Obras Civis.

3.3. Pessoas

Como a implantação BIM em questão trata-se apenas da GIOBR, foi realizado um levantamento desta Gerência, que atualmente conta com cerca de 50 funcionários, entre Engenheiros, Arquitetos e Técnicos Industriais.

Como a metodologia BIM é essencialmente colaborativa e disruptiva, faz-se necessária a capacidade de relacionamento e trabalho em equipe, bem como a mudança nas funções e responsabilidades das pessoas envolvidas. Portanto, o diagnóstico da equipe descreve as qualificações atuais dos envolvidos no processo, a fim de se verificar novas aptidões necessárias para a execução dos trabalhos e futuras necessidades de treinamentos ou contratações.

Entre os meses de junho e agosto de 2019, em trabalho conjunto com o GT BIM, foi aplicado um questionário para conhecimento e consolidação da expertise da equipe. Para este diagnóstico, optou-se por analisar inicialmente o perfil dos componentes do Núcleo BIM, que estão engajados nas mudanças propostas pelo BIM.

O perfil traçado dos envolvidos, conforme funções, atribuições, experiências e aptidões, aponta que a equipe é bem dividida entre Arquitetos (31%), Engenheiros (Eletricista e Civil) (31%) e Técnicos Industriais (Edificações e Eletrotécnicos) (38%). Mostrando-se adequado ao princípio de multidisciplinaridade da metodologia BIM. Possuindo também experiências e aptidões diversificadas, pontos necessários para a implementação dos diversos Usos do BIM.

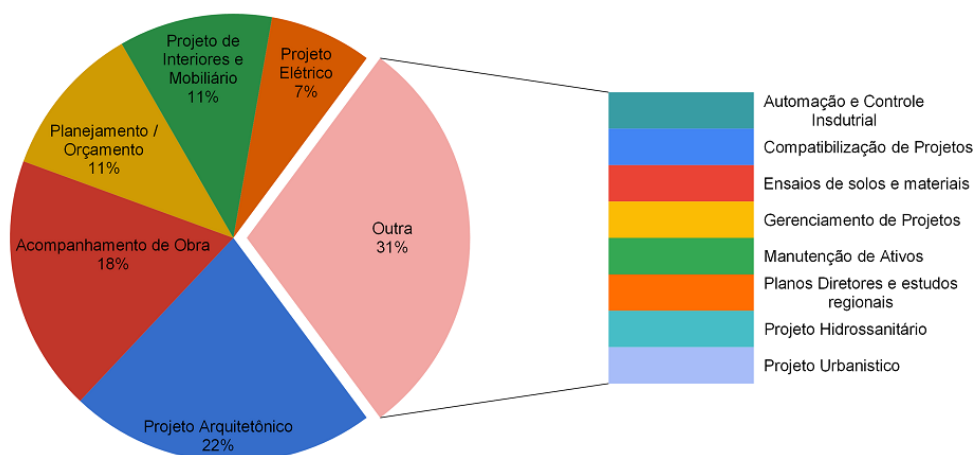


Figura 1
Experiências do Núcleo BIM da GIOBR da CBTU/Rec. (Fonte: GT BIM CBTU).

3.4. Tecnologia

Aqui será descrito um levantamento das condições conhecidas, contudo, as informações de caráter técnico, sigilosas ou de segurança do sistema, ficaram a cargo da Coordenação Operacional de Informática e O&M (COIOM), e não serão divulgadas neste artigo. Estas informações servirão de subsídio para a elaboração do Plano de Implantação BIM, que contará com o planejamento de aquisição de recursos tecnológicos, adequados para cada fase da implantação do BIM.

Quanto aos **softwares** de arquitetura e engenharia da GIOBR que suportam tecnologia BIM com possibilidade de integração, verificou-se que há disponibilidade de licenças do software TQS e do pacote AEC Collection da Autodesk. Contudo, vale a pena salientar que os profissionais ainda estão sendo treinados para uso dos softwares relacionados.

Quanto à **estrutura de rede**, verificou-se que, em virtude do grande fluxo de dados no ambiente de trabalho colaborativo BIM, ainda mais em projetos de edificações metroferroviárias, bem como apresentação contendo, simulações e renderizações, ainda há necessidade de infraestrutura para armazenamento, tráfego de informação e capacidade de processamento.

Quanto ao **acervo de projetos** existente na GIOBR, verificou-se um volume elevado de arquivos que se encontram no servidor, e que já se dispõe de uma estrutura segura e um padrão que atende às necessidades atuais. No caso de projetos em andamento ou novos, seria possível utilizar a mesma opção no servidor local. Devido às restrições de acesso e conexões (segundo normas e regimentos internos), não seria possível conectar o servidor local à nuvem. Como alternativa, no pacote de **softwares** adquirido, é disponibilizado (por licença) um espaço na nuvem da Autodesk para uso da equipe para compartilhamento de modelos.

Em uma avaliação aos **hardwares**, nota-se que os computadores usados tradicionalmente na empresa são em sua maioria desktop, com configurações definidas para “trabalhos básicos de escritórios públicos”, o que dificulta a execução de **softwares** gráficos de arquitetura e engenharia, que demandam melhor configuração tecnológica.

3.5. Procedimentos de entregáveis

Em uma análise quanto à nomenclatura e codificação de arquivos de projetos, levantou-se que os documentos elaborados e executados pela STU Recife são armazenados em servidor interno, para a codificação e nomenclatura deles há um procedimento padrão definido no Manual de Codificação de Projetos. Porém, em virtude da grande quantidade de projetos e reformas nas edificações existentes na STU Recife, ao longo do tempo, percebeu-se a duplicidade dos códigos em situações específicas.

Quanto aos entregáveis e troca de arquivos entre disciplinas, atualmente são arquivos de desenhos vetorizados 2D em extensão .DWG ou .RVT, que ficam disponibilizados

no servidor. A solicitação do arquivo entre equipes ocorre verbalmente e por e-mail, e a análise e coleta das informações necessárias é feita individualmente pelo receptor. Os entregáveis finais, tanto para processos internos, como licitações externas, são pranchas técnicas impressas, em arquivo .PDF e em extensões nativas.

3.6. Diagnóstico do Grau de Maturidade

Como definição do ponto de partida, as informações já registradas em 2018, antes da origem do GT BIM CBTU/Rec, foram também submetidas aos métodos de análise de maturidade BIM, permitindo uma análise comparativa temporal.

As Tabelas 1 e 2 a seguir demonstram os respectivos resultados das análises temporais do Grau de Maturidade conforme os dois métodos supracitados, BIM Maturity Matrix e Organizational BIM Assessment. Tais resultados também se encontram apresentados de forma gráfica, conforme Figuras 2 e 3, respectivamente.

Ano	Σ Pontos	Grau de Maturidade	Índice de Maturidade	Classificação	Estágio
2018	15	1,3	3%	Nível Inicial (Baixa Maturidade)	Estágio 1
2021	65	5,4	14%	Nível Inicial (Baixa Maturidade)	Estágio 2

Tabela 1

Grau de Maturidade BIM da GIOBR CBTU/Rec – (BIM³). (Fonte: o Autor).

Elementos Avaliados	Nível Inicial (2018)	Nível Atual (2021)	Nível Desejado (2022)
Estratégia	20%	48%	68%
Usos BIM	0%	20%	30%
Processos	0%	0%	20%
Informação	7%	7%	33%
Infraestrutura	20%	33%	60%
Pessoal	12%	52%	76%
Média Percentual	10%	27%	48%

Tabela 2

Grau de Maturidade BIM da GIOBR CBTU/Rec – BIM Assessment. (Fonte: o Autor).

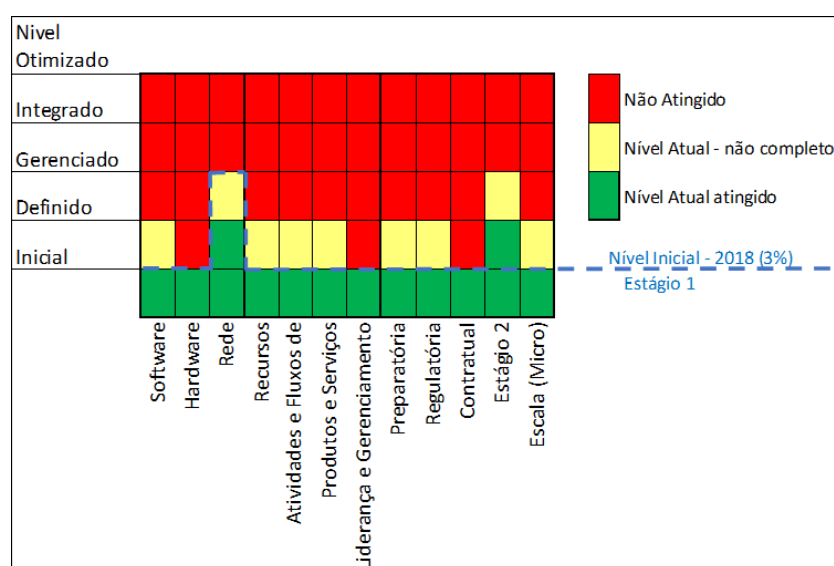


Figura 2

Maturidade BIM da GIOBR CBTU/Rec – BIM Maturity Matrix. (Fonte: o Autor).

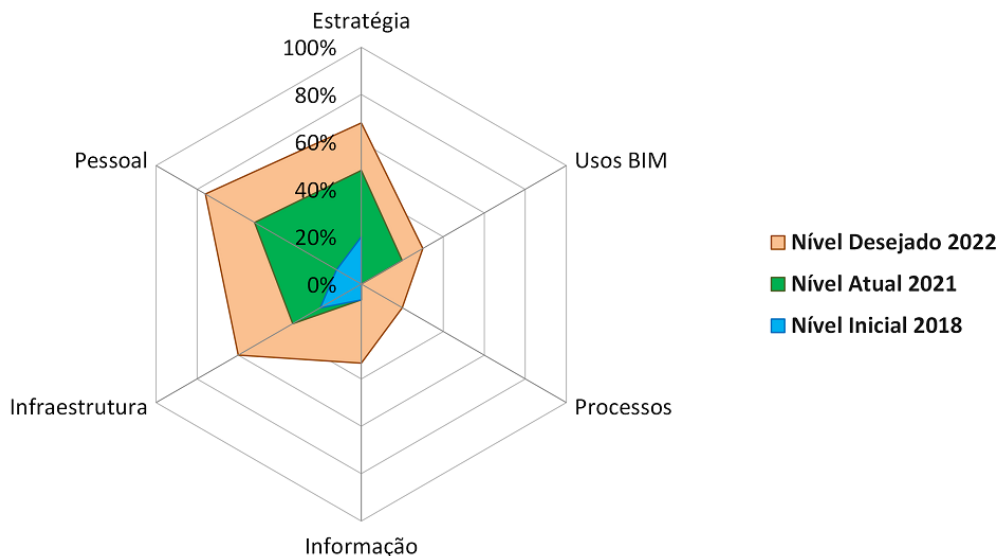


Figura 3
Maturidade BIM da
GIOBR CBTU/Rec – BIM
Assessment. (Fonte: o
Autor).

4. Resultados, Discussões e Sugestões

É notável que as mudanças ocorridas entre 2018 e 2021 foram focadas nos “pontos fortes”, as áreas mais desenvolvidas (Pessoal, Estratégia e Infraestrutura) se desenvolveram mais, e as demais (Usos BIM, Processos e Informação) ficaram estagnadas. Tal impacto ocorreu devido uma implementação “*bottom-up*” baseada em “oportunidades e desafios”; uma vez que se trata de uma empresa pública do governo federal brasileiro, de organograma extenso, onde segundo a estrutura matricial os recursos e estratégias organizacionais nem sempre se alinham com todas as frentes de trabalho operacionais.

Outro contribuinte fator para a estagnação na área de Informação, é que esta é comumente avaliada com baixa maturidade no Brasil [13], devido à falta de normas voltadas à Classificação da Informação próprias do país, que ainda estão em desenvolvimento.

Quanto aos avanços identificado entre 2018 e 2021, é que a empresa se encontrava no Estágio 1 (Modelo Baseada em Objetos) e atualmente encontra no Estágio 2 (Colaboração baseada em modelo), na escala da BIM Maturity Matrix [7]; já havendo colaborações em BIM para casos de processos de projetos de edificações.

Outro crescimento de maturidade expressivo é na área de Pessoal e Estratégia, fato ocorrido devido aos esforços do GT BIM CBTU/Rec para realização de capacitações e programas de educação e treinamentos internos e externos.

Para os anos seguintes, se propõe a definição de algumas diretrizes conceituais a serem aplicadas na CBTU/Rec a fim de que se atinjam as metas desejadas. Tais diretrizes resumem-se a seguir, conforme áreas exploradas no diagnóstico de Grau de Maturidade:

Estratégia: Para avançar na maturação da estratégia os principais pontos de ação envolvem a inclusão formal da alta gestão no GT BIM/Rec, permitindo uma implementação “top-down” e a aquisição de recursos apropriados. Será necessário também desenvolver múltiplos “BIM Champions” [16], um em cada coordenação (COPRO, COIMP, COACO). E, há uma necessidade de indicadores para os objetivos BIM, permitindo que sejam mensuráveis.

A exemplo de sugestões bibliográficas [18], o foco dos indicadores deve ser monitorar qualidade, produtividade e acurácia. Como critério de produtividade deve-se relacionar as horas técnicas aplicadas nos projetos e o porte deles, além da rentabilidade de cada posto de trabalho. Como critério de qualidade e acurácia [18], pode-se relacionar o volume de problemas encontrados e discutidos ao longo do projeto e no acompanhamento da obra.

Para o acompanhamento dos problemas de projeto sugere-se a criação de um fluxo de trabalho para coordenação e comunicação de projetos em BIM que sejam baseados em BIM Collaboration Format (BCF) [8].

O BCF permite que diferentes aplicações BIM comuniquem os problemas (*issues*) dos modelos entre si. Estes *issues* podem ser associados aos projetistas responsáveis, à tags desejáveis, a imagens e localização do problema no modelo BIM [8]. Assim sendo, os *issues* podem ser levantados e suas quantidades podem ser utilizadas como indicadores da qualidade dos projetos.

Outro indicador sugerido é o controle de quantidade de revisões por projetos desenvolvidos pela empresa. De tal maneira que é possível identificar a frequência com que há solicitações de alterações de projeto e como isso afeta a quantidade final de horas técnicas.

Para as etapas de fiscalização de obras, sugere-se dois indicadores importantes para empresas públicas: o levantamento dos pedidos de adição de contratos de tempo e valor, e seus respectivos quantitativos percentuais em relação aos números iniciais do projeto.

Usos BIM: Será necessário, junto ao GT BIM e alta gestão, mapear e documentar os Usos BIM necessários na instituição, sejam para Projetos (*capex*) ou Operações (*opex*) [16][17];

Processos: Sendo um dos itens que menos se desenvolveu na empresa entre os dois períodos de medição de maturidade, a implementação em processos deverá ocorrer de forma mais lenta, porém continuada. Para tanto, os primeiros passos para o desenvolvimento deverá ser a documentação de alto nível dos processos em BIM para projetos, para os principais Usos BIM [16]; e os processos organizacionais, de troca de arquivos armazenamentos, documentações, relações multidisciplinares e afins.

Informação: A maturação da Informação BIM apresenta-se como um dos mais críticos pontos, tanto a nível organizacional, quando a nível nacional, principalmente

no que tange às empresas públicas, pois a normas de Sistemas de Classificação de Informação da Construção nacionais ainda não estão completas e divulgadas [13].

Sugere-se, a fim de se alcançar as metas traçadas, a utilização de padrões internacionais como o OMNICLASS, uma vez que as normas brasileiras NBR15965 estão sendo desenvolvidas como uma derivação deste [2].

Outro passo a maturação da Informação, será a definição e documentação do LOD [16][17] necessário para os elementos do projeto, a serem definidos no Plano de Execução BIM [17]; e a documentação e padronização dos dados de facilities para a operação das edificações.

Infraestrutura: Na área de infraestrutura, deverá haver investimento em software, para que esteja disponível para todos os envolvidos; em hardware para trabalho com sistemas avançados; e em instalações de espaço físico dedicado ao BIM, com possibilidade de visualização suficiente para múltiplos participantes em colaboração.

Pessoal: A área de pessoas foi a que mais se desenvolveu entre a instituição do GT BIM CBTU/Rec e medição atual de maturidade. Para a continuidade da maturação e alcance das metas estabelecidas será necessário expandir a atuação do GT BIM para todos os setores da Gerência de Obras; desenvolver programas de educação e treinamento periódicos e dar continuidade ao processo de conscientização para a que responsabilidade BIM e o preparo para a mudança necessária seja aceito por todos os indivíduos.

5. Conclusões

Através da aplicação de métodos de diagnóstico e acompanhamento de implementação BIM como o BIM Maturity Matrix e o Organizational BIM Assessment, alinhado com métodos acadêmicos como é o caso do Design Science Research foi possível estruturar uma implementação BIM em uma empresa de projetos, com foco em seus processos. Tal formalização da implementação permite que as equipes de projeto e os responsáveis pela implementação definam um Plano de Implementação, com metas, objetivos, Usos BIM pretendidos, e indicadores de mensuração.

O diagnóstico realizado na CBTU Recife, permite analisar ainda que uma implementação BIM “*bottom-up*”, baseada em “oportunidades e desafios”, embora com esforços louváveis das equipes internas de técnicos e funcionários, não permite a eficiência desejável, devido a necessidade de realização de recursos financeiros, tecnológicos, de atividades e funções, sendo necessário para tal a inclusão da alta gestão no processo (implementação “*top-down*”).

É ainda possível verificar que para o caso específico de empresa pública Brasileira, como é a CBTU Recife, há a necessidade de melhores definições governamentais, a nível nacional, quanto à normas e prescrições jurídicas para a definição de Requisitos para Classificação da Informação e Usos BIM.

Referências

- [1] A. Hevner et al, “Design Science in Information Systems Research”, *MIS Quarterly*. 2004, <https://www.researchgate.net/publication/201168946>
- [2] Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), “Processo de Projeto BIM: Coletânea GUIAS BIM ABDI-MDIC”, Vol. 1 a 6, 2017.
- [3] Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA), “Guia ASBEA Boas Práticas em BIM”, 2015.
- [4] Brasil, “Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020 – Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019”, *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 5, 3 abr. 2020.
- [5] Brasil, “Decreto nº 9.377, de 17 de maio de 2018 – Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling”, *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 3, 18 mai. 2018.
- [6] Brasil, “Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 – Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling”. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, p. 2, 23 ago. 2019.
- [7] B. Succar, “Building Information Modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders”, *Automation in Construction*, 2009.
- [8] Building Smart International, “BIM Collaboration Format (BCF)”, 2021, <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/bim-collaboration-format-bcf/>
- [9] Câmara Brasileira da Indústria da Construção, “Implementação BIM – Parte 2: Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras”, Brasília: CBIC, 2016. 72 p.
- [10] Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), CBTU Website, 2018, <https://www.cbtu.gov.br/>
- [11] D. Lacerda et al, “Design Science Research: A Research method to production engineering, 2012”, <https://www.researchgate.net/publication/260764214>
- [12] G. Broadbent, *Design in architecture: architecture and the human sciences*, London: John Wiley & Sons, 1973.

- [13] L. de O. Lima, “Análise de modelos de maturidade para medição da implementação do building information modeling”, 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Curitiba, 2019.
- [14] M. L. V. X. de Andrade and R. C. Ruschel, Building Information Modeling (BIM), In: D. C. C. K. Kowaltowsk et al, “O processo de Projeto em arquitetura”, São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- [15] M. Vries and H. Wagter, A CAAD model for use in early design phases, In: M. McCullough, W. Mitchell, and P. Purcell. “The electronic design studio: architectural knowledge and media in the computer era”, Cambridge: MIT Press, 1991.
- [16] Pennsylvania State University, Computer Integrated Construction (CIC) Research Group, “BIM Planning Guide for Facility Owners”, V 2.0, 2013.
- [17] Pennsylvania State University, Computer Integrated Construction (CIC) Research Group, “Building Information Modeling (BIM) Project Execution Planning Guide”, 2010.
- [18] S. R. L de Amorim, *Gerenciamento e coordenação de projetos BIM: um guia de ferramentas e boas práticas para o sucesso de empreendimentos*, 1. ed., Rio de Janeiro, LTC, 2020.

Infraestruturas do aeroporto do Montijo – Projeto base

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.29>

**Pedro Serra¹, António Pereira da Silva¹,
Filomena Serra¹**

¹ COBA – Consultores de Engenharia e Ambiente

Resumo

O presente artigo descreve os trabalhos de implementação e desenvolvimento BIM no Projeto Base do Novo Aeroporto do Montijo. A cargo da COBA estavam as especialidades das Infraestruturas do Aeroporto, que teriam de ser desenvolvidas, por requisito do cliente, através da metodologia BIM. Estas incluíam a reconversão e expansão da pista existente, acessos rodoviários, terraplanagens, sinalização, redes de drenagem, saneamento e abastecimento de água, iluminação, etc.

O Projeto beneficiou da utilização de diferentes soluções tecnológicas, suportadas por uma gestão de processos clara e permeável às necessidades de cada equipa. Os desafios BIM eram amplificados devido à natureza do trabalho a desenvolver na área das infraestruturas, com características e especificidades menos usuais. Estas diferenças refletiram-se em temas como a georreferenciação e coordenação de modelos, a definição do nível de detalhe dos vários objetos, e os usos e requisitos BIM que se traduziam em diferentes exigências de interoperabilidade, para os quais foram particularmente relevantes os formatos abertos IFC e LandXML.

Apesar dos desafios, o BIM é hoje uma realidade que, mesmo em projetos complexos, como é exemplo o Aeroporto do Montijo, permite elevar os níveis de qualidade e fiabilidade durante as diferentes fases de implementação do Empreendimento.

1. Introdução

O presente artigo pretende demonstrar a aplicação da metodologia BIM ao projeto base do Aeroporto do Montijo, nomeadamente no desenvolvimento das infraestruturas do aeroporto: rede de abastecimento de água, drenagem e saneamento, acessos rodoviários, e estudos e projetos relacionados com a pista e especialidades aeronáuticas. Em primeiro lugar será feita uma breve apresentação do âmbito do projeto, seguindo-se uma descrição da abordagem BIM.

2. Descrição do Projeto

O novo aeroporto do Montijo localiza-se na margem esquerda do rio Tejo, aproximadamente a 25 km de Lisboa, e resulta da reconversão da Base Aérea Militar nº 6, um aeródromo da Força Aérea Portuguesa.

A implantação do aeroporto numa base aérea em funcionamento permite o aproveitamento de algumas infraestruturas existentes, nomeadamente a Pista 01/19 que será expandida para acomodar as necessidades de tráfego dos aviões comerciais. Fazem também parte do projeto a construção de um Terminal de Passageiros, edifícios de apoio, novos sistemas de drenagem, saneamento e abastecimento de água, parques de estacionamento e acessos rodoviários, iluminação, sinalização horizontal e vertical, as várias especialidades aeronáuticas da pista, etc.

O Projeto encontra-se dividido por áreas funcionais do Aeroporto, nomeadamente:

- O Lado Ar, designado por *Airside* que compreende a Pista 01/19, os trabalhos necessários à sua reconversão, os caminhos de circulação e a placa, e as Especialidades Aeronáuticas da Pista (sistemas de navegação, iluminação, sinalização, etc.).
- O Lado Terra, ou *Landside*, composto por todas as infraestruturas de acesso e apoio ao aeroporto, nomeadamente: estradas, passeios, acessos e parques de estacionamento e respetivas especialidades, saneamento, drenagem, abastecimento de água, redes elétricas e de telecomunicações, sistemas de controlo de acessos, CCTV, etc.
- O conjunto dos Edifícios, que engloba todas as especialidades afetas ao Terminal e aos edifícios mais relevantes do Aeroporto como a Estação dos Bombeiros, Hangares, Check-Points de controlo de acessos, etc.
- O *Land Reclamation* que trata da extensão da Pista que se prolonga sobre o rio do Tejo.

Ficou a cargo da COBA, o desenvolvimento do Projeto Base de todas as Infraestruturas do *Airside* e do *Landside*, bem como da extensão da Pista – *Land Reclamation*.

O *Landside* é constituído por uma via de acesso principal que efetua a ligação entre o Aeroporto e a rede viária existente na região, e por uma malha de circulação complexa, com início após a Via de Acesso principal, fazendo a ligação aos parques de estacionamento, ao Terminal, aos acessos do *Airside* e às zonas técnicas do Aeroporto. São também projetados no *Landside* todos os parques de estacionamento com um total de mais de 5000 lugares. Embora as velocidades de circulação sejam baixas, com características de zona urbana, a conjugação de diferentes tipologias de circulação, com peões, velocípedes e veículos ligeiros e pesados, conduziu à necessidade de tomar medidas de dimensionamento geométrico, com sinalização e equipamentos de segurança que condicionam e orientam a circulação, permitindo limitar o conflito entre os vários utilizadores. Adicionalmente foi projetado um sistema de gestão e controlo de acessos e respetivas infraestruturas de comunicação que contempla as máquinas de pagamento instaladas junto dos quiosques, máquinas de bilhetes, barreiras, câmaras com sistema de deteção de matrículas, espiras de deteção de veículos e câmaras de videovigilância para controlo dos parques.

Fazem ainda parte do projeto, o restabelecimento das vias militares que irão ser afetadas pela construção, incluindo uma passagem superior com uma extensão de aproximadamente 70m distribuídos por 3 vãos, com um gabarito vertical mínimo de 5.50m, um tabuleiro único de 10m de largura corrente em betão armado, apoiado por vigas pré-fabricadas.

Todas as zonas pavimentadas foram dimensionadas para o tráfego solicitante e projetadas com um sistema de drenagem eficaz, dotados de dispositivos de drenagem longitudinal superficial e profunda que garantem a proteção das diferentes plataformas. Salienta-se, no projeto de drenagem, os problemas de assoreamento que foram considerados nas inclinações mínimas do traçado implementado, e a consideração de válvulas de não retorno nos descarregadores com cotas de descarga reduzidas. Estão também previstas válvulas de maré que efetuam o fecho do sistema, sempre que o nível de maré não permitir a descarga direta dos caudais de cálculo.

O Projeto de infraestruturas contempla também toda a rede de abastecimento de água e combate a incêndio do aeroporto. Esta rede é composta por adutoras gravíticas para abastecimento a partir dos reservatórios municipais, um furo de captação, e a central de reserva com respetiva estação elevatória para as redes de abastecimento, combate a incêndio e rega.

Para além das redes de abastecimento, faz também parte do âmbito do projeto a definição de um sistema de saneamento de águas residuais domésticas, composto por uma rede gravítica e um ponto de elevação de caudais. A orografia natural do projeto é pouco acidentada, com uma zona mais elevada no local de implantação do edifício do Terminal na zona central. Esta situação dificulta a implantação de uma rede gravítica, tendo sido necessário estudar várias alternativas de traçado e funcionamento.

3. Metodologia BIM

O Projeto do Montijo estava dividido em 3 áreas:

- A área das Infraestruturas, quase na totalidade da responsabilidade da COBA, e da qual faziam parte todas as infraestruturas do Aeroporto do Lado Ar e do Lado Terra, juntamente com os trabalhos do *Land Reclamation*;
- A área dos Edifícios, onde estavam envolvidas várias entidades que se ocupavam do edifício do Terminal e de todos os restantes edifícios (Hangares, Quartel dos Bombeiros, Edifícios de controlo de acessos, Edifícios Técnicos, etc.);
- Uma área dedicada aos restantes estudos e projetos do Aeroporto (Certificação LEED, Especialistas em Segurança e Incêndio, Levantamentos Topográficos, Levantamentos Geológico-Geotécnicos, etc.).

Na definição de intervenientes no processo BIM, estavam previstas as funções de BIM Manager por parte do Cliente, BIM Manager da parte do General Contractor, e de seguida, vários BIM Correspondents, para as várias equipas de projeto do Aeroporto, em função das atividades a desenvolver, como é apresentado na Figura 1.

O Client BIM Manager tinha uma área de atuação de nível alto, definindo objetivos BIM, e com capacidade para influenciar os usos e requisitos BIM para o projeto. A operacionalização deste objetivos ficou a cargo do General Contractor BIM Manager, que desenvolveu o BEP e garantiu a sua aplicação. Os BIM Correspondents de cada especialidade tinham como principal função coordenar as suas equipas de trabalho, e garantir que os modelos entregues cumpriam os requisitos do BEP e seguiam os fluxos de trabalho acordados.

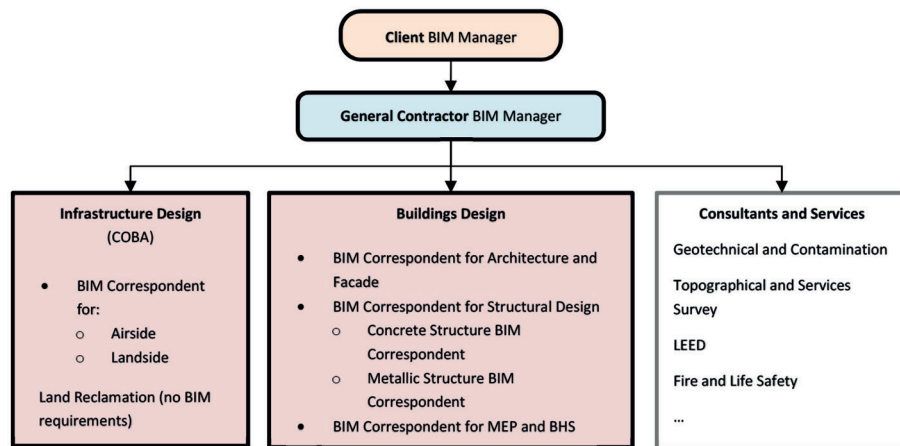


Figura 1
Organograma BIM do Projeto.

Uma vez que os projetos da área de Infraestruturas estavam quase na sua totalidade a cargo da COBA, este conjunto ficou representado apenas por um BIM Correspondent. No entanto, e devido às várias equipas de trabalho envolvidas, para cada

especialidade existia um responsável BIM que garantia o desenvolvimento dos modelos e a sua articulação com as restantes equipas.

Os requisitos para a partilha de informação entre intervenientes era diferente consoante o tipo de interação em causa. Por um lado era necessário garantir os entregáveis do projeto, nos formatos acordados, e cumprindo as disposições do BEP. Por outro, existiam algumas exigências e fluxos de trabalho internos, que não eram compatíveis com o formato destes entregáveis. Por exemplo, durante a definição planimétrica e altimétrica do Aeroporto um dos outputs BIM era constituído pela “superfície de projeto” um elemento base de praticamente todas as especialidades., tendo influência na definição do traçado das redes hidráulicas, em particular nas de funcionamento gravítico. Este elemento tinha por isso de ser partilhado num formato que permitisse que as restantes equipas o utilizassem nos seus *softwares* de forma ativa (era necessário que os objetos paramétricos das redes hidráulicas reconhecessem esta superfície como um elemento nativo de forma a serem colocados altime-tricamente de forma automática). Para dar resposta a estas diferentes necessidades, foram implementados dois CDEs distintos:

- O CDE interno da COBA para partilha de informação entre as equipas de projeto das Infraestruturas, gerido pela empresa e disponível apenas para as equipas internas.
- O CDE do Projeto do Aeroporto do Montijo, onde eram disponibilizados os modelos de ambas as equipas Infrastructure e Buildings, mantido e gerido pelo General Contractor BIM Manager com um sistema de controlo de acessos que permitia a leitura da informação a todos os intervenientes no Projeto.

Equipa de Projeto	Software BIM	Formato Nativo	CDE COBA	CDE Aeroporto
Estudo Planimétrico e Altimétrico	Civil 3D	DWG	LandXML	DWG
Iluminação	Civil 3D	DWG	DWG	IFC
Sinalização Horizontal	Civil 3D	DWG	DWG	DWG
Sinalização Vertical	Civil 3D	DWG	DWG	IFC
Vedações	OpenBuildings Designer	DGN	DGN	IFC
Especialidade Aeroportuárias	Civil 3D	DWG	DWG	IFC
Controlo de Acessos	OpenBuildings Designer	DGN	DGN	IFC
Rede de Drenagem	OpenBuildings Designer	DGN	DGN	IFC
Rede de abastecimento de água e Incêndio	OpenRoads Designer	DGN	DGN	IFC
Rede de Saneamento	OpenRoads Designer	DGN	DGN	IFC
Equipamentos	OpenBuildings Designer	DGN	DGN	IFC
Edifícios - Arquitetura	Revit	RVT	IFC	RVT
Edifícios - Estruturas	Revit	RVT	IFC	RVT
Edifícios - Águas e Esgotos	Revit	RVT	IFC	RVT
Edifícios - Drenagem	Revit	RVT	IFC	RVT
Edifícios - Eletricidade	Revit	RVT	IFC	RVT
Obras de Arte	Tekla	TSMD	IFC	IFC
Paisagismo	Revit	RVT	IFC	RVT
Geologia e Geotecnia	OpenBuildings Designer	DGN	DGN	IFC
Buildings Design	Revit	RVT	IFC	RVT

Figura 2
Tabela dos formatos BIM utilizados no Projeto.

Internamente, podemos afirmar que existiam dois momentos distintos de coordenação. O primeiro era um momento informal, realizado pelos próprios utilizadores no decurso normal das suas atividades uma vez que conseguiam observar no seu ambiente BIM, em direto, o que estava a ser produzido nos modelos das restantes especialidades.

O segundo momento de coordenação, formal, era realizado nos dias imediatamente anteriores e posteriores à atualização do CDE geral do Aeroporto. Utilizando o *software* Navisworks Manage, todos os modelos partilhados, eram agregados e compatibilizados. Verificava-se, antes desta atualização, se tinham sido retificados os problemas identificados nas sessões anteriores e era confirmado que estavam a ser cumpridas todas as disposições do BEP.

Apesar do Contrato exigir um LOD200 [1][2] de forma indiscriminada para todos os objetos, o BEP era propositadamente omissivo, focando a exigência de modelação nos usos BIM. O grau de detalhe dos objetos foi por isso definido através de linguagem informal, em reuniões de preparação para o projeto, durante as quais foram apresentados exemplos concretos dos elementos que se pretendiam modelar. De forma genérica e para quase todas as especialidades, ficou acordado que os objetos seriam desenvolvidos com um grau de detalhe suficiente para que, através de uma inspeção visual, fossem facilmente identificados. Adicionalmente, os metadados associados aos elementos teriam de completar esta identificação, de maneira a serem facilmente associados aos itens da lista de quantidades através de *queries* digitais.

Estes modelos foram também utilizados nos testes de interoperabilidade com o BIM Manager do Aeroporto, em reuniões de trabalho presenciais, onde os processos de transferência de informação foram testados.

O estudo planimétrico e altimétrico do aeroporto, em fase de Projeto Base, incluía a representação BIM das zonas pavimentadas e terraplanagens do *Airside* (pista e placas) e do *Landside* (acessos, parques, ciclovia e zonas de expansão). Para esta representação ficou acordado, em linha com o LOD200 [1][2] que estava contratado, a entrega destes elementos como “Superfícies de Projeto”, isto é, as camadas de pavimento não eram materializadas, geometrizando-se apenas a superfície exterior das camadas superficiais.

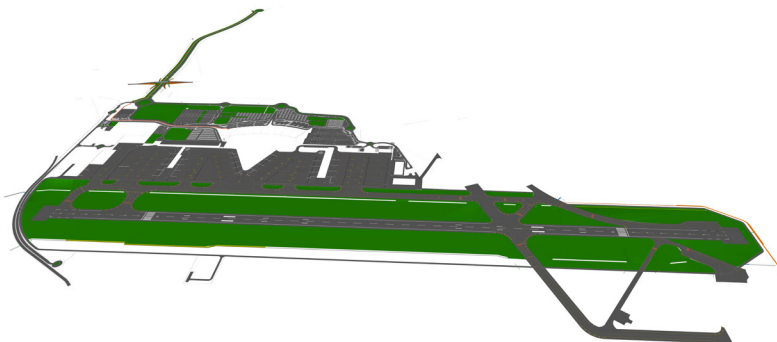


Figura 3
Superfícies de Projeto
do novo Aeroporto.

Este Nível de Detalhe prevê a compatibilização de cotas entre todos os elementos no eixo da faixa rodoviária. Os restantes elementos (bermas e limites do asfalto) são compatibilizados apenas nas zonas mais relevantes, remetendo para o LOD300 [1][2] a definição integral de todas as pendentes de drenagem.

Esta simplificação coloca algumas limitações no uso que pode ser dado aos modelos, nomeadamente para obter antevisões realistas da infraestrutura. Na realidade, com esta definição, as pendentes de drenagem da via resultam na incompatibilidade entre superfícies, em particular nas zonas mais afastadas dos eixos das vias, e na intersecção entre diferentes estradas.

Para ultrapassar esta limitação (a visualização era um uso chave do projeto), foi necessário recorrer a dois modelos distintos: o “Modelo de Projeto”, uma representação precisa das soluções projetadas, em LOD200 [1][2], que servia para documentar o projeto, e um segundo modelo onde eram resolvidas, de forma artificial, as incompatibilidades entre as superfícies das diferentes vias. Resultando apenas de uma inspeção visual, este segundo modelo tinha a aparência de LOD300 [1][2], mas na realidade, a definição altimétrica não estava trabalhada no âmbito do projeto, podendo por isso apenas ser utilizado para efeitos de visualização.

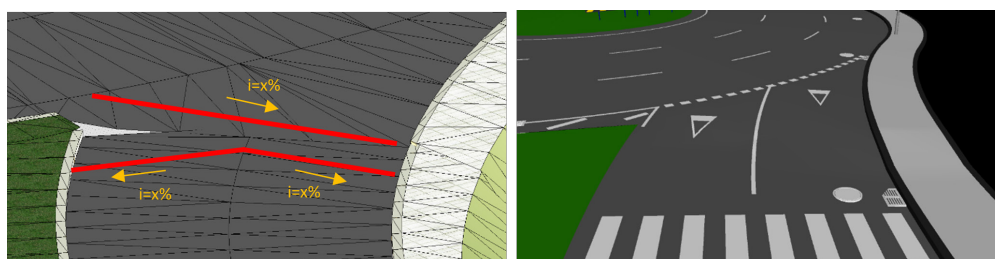


Figura 4
Superfícies de Projeto à esquerda e Superfícies Compatíveis à direita.

Para a definição das Redes Hidráulica, a COBA utiliza um fluxo de trabalho que permite, no mesmo ambiente de trabalho realizar todas as suas atividades de projeto, isto é, o modelo BIM permite realizar o cálculo da rede sem ser necessária outra plataforma de trabalho. Com esta integração as equipas de projeto conseguem observar e interagir com os modelos das outras especialidades. Isto acontece, por exemplo, com as superfícies da definição Planimétrica e Altimétrica, (partilhadas no formato aberto LandXML) que determinam as cotas e alinhamentos do projeto, e os ficheiros IFC dos edifícios que permitem identificar as fundações a evitar no traçado das redes e os pontos de ligação para abastecimento ou recolha de caudais. Adicionalmente, estes modelos “externos” podem ainda ser utilizados na produção de desenhos das redes, de forma a clarificar as opções de projeto que são tomadas, promovendo a relação com o cliente através da transparência da informação que é apresentada.

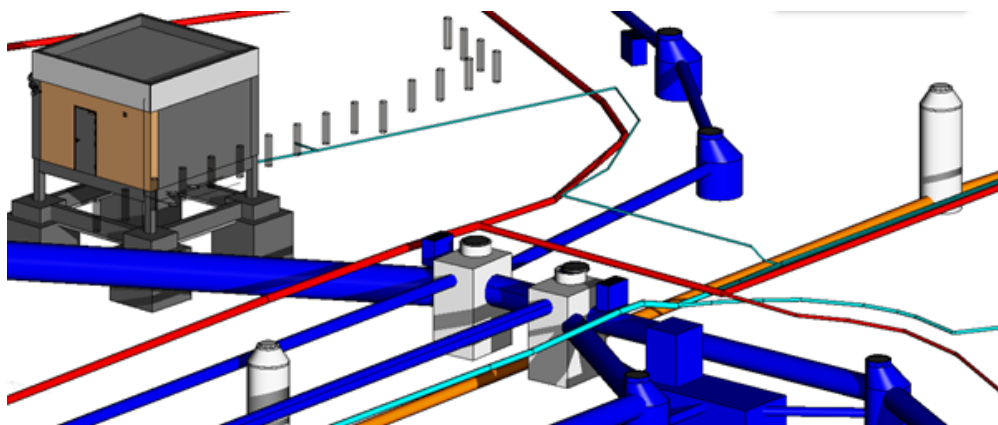


Figura 5
Modelo BIM e de Cálculo das redes hidráulicas, e integração com IFC dos edifícios.

A capacidade da equipa em realizar todas as suas atividades no mesmo ambiente foi fundamental no estudo e validação da rede de drenagem. A orografia do Aeroporto era particularmente difícil de vencer com um sistema gravítico. No entanto, esta integração BIM simplificou o processo de estudo e apresentação de alternativas, deixando claro, que a solução final, era de facto a que apresentava melhores características técnicas e económicas.

4. Boas práticas BIM e lições aprendidas

O projeto do Aeroporto do Montijo foi um desafio exigente e complexo, tanto ao nível do projeto de engenharia, como na gestão de processos e metodologias BIM. O envolvimento de múltiplas equipas e especialidades, utilizando diferentes plataformas de modelação, com vários usos e requisitos de interoperabilidade, levantaram desafios tecnológicos relevantes. Estes desafios eram amplificados devido à natureza do trabalho a desenvolver, diferente das áreas tradicionais dos edifícios, com características e especificidades que nem sempre são abordadas na temática do BIM. As lições retiradas deste projeto resultam em grande parte destas especificidades que fazem já parte do dia a dia nos projetos de Infraestruturas, nos quais é cada vez mais relevante a aplicação da metodologia BIM.

Quando o trabalho é desenvolvido numa única plataforma, os problemas de coordenação espacial e georreferenciação são facilmente ultrapassáveis através das ferramentas nativas de gestão de coordenadas de cada *software*. Os maiores desafios surgem quando é necessário partilhar ficheiros através de formatos compatíveis como o IFC. A especificação do IFC apresenta vários mecanismos para partilhar coordenadas geográficas[6], e cada *software* faz uma implementação diferente desta especificação, facto que dificulta a tarefa de coordenação espacial entre modelos. Quando a especificação IFC e a sua implementação tiver alcançado um nível de maturidade pleno por parte dos vários *softwares* BIM, este problema deixará de existir. Até que esse nível de maturidade seja atingido, é necessário ter em conta não só as possibilidades que cada *software* oferece para coordenar os vários modelos, mas também a respetiva implementação nas operações de exportação e importação IFC. No aeroporto do Montijo, infelizmente, este problema foi detetado demasiado tarde, tendo

sido necessário recorrer a ficheiros intermédios de tradução de coordenadas para compatibilizar geograficamente os modelos partilhados.

Apesar de o IFC ser atualmente o *standard* BIM para partilha aberta de informação, existem outros formatos que podem ser utilizados para o mesmo efeito, nomeadamente o LandXML, um padrão comum na indústria AEC e com um grau de maturidade bastante elevado na partilha de informação topográfica e rodoviária. No entanto, as principais plataformas BIM como o Revit e o OpenBuildings não têm nos seus protocolos de interoperabilidade, implementadas soluções que permitam interpretar este tipo de informação. Esta situação é uma lacuna, sobretudo atendendo à larga implementação que este protocolo já tem nos programas da especialidade como Civil 3D e o OpenRoads.

O LandXML não é habitualmente reconhecido na área do BIM, mas pode ser bastante útil nos campos de atuação onde o IFC ainda não está desenvolvido. Aliás, os dois formatos partilham de algumas semelhanças: são ambos não proprietários, abertos, mantidos e desenvolvidos por organizações independentes, com o objetivo de facilitar as trocas de informação digital entre *softwares*. Neste projeto o LandXML foi crucial na partilha das Superfícies de Projeto.

O CDE geral do Aeroporto foi implementado através da plataforma de gestão de documentação em nuvem BIM360. Esta foi acompanhada da definição de regras para nomenclatura e partilha de modelos, definição de processos de trabalho para partilha de informação, sessões organizadas e estruturadas para deteção de conflitos entre especialidades, e inclusivamente de mecanismos para a gestão dessas incompatibilidades através da atribuição de prioridades aos problemas, sugestões de melhoria, e um sistema de acompanhamento destes “*issues*”.

Observou-se durante o processo que, apesar da componente humana na implementação do CDE ter seguido todas as regras de boas práticas sobre o tema, a maior limitação para que seja alcançado um nível de maturidade BIM superior, continua a ser tecnológica. Uma das primeiras limitações, prende-se com o facto de muitas das funcionalidades possíveis com a plataforma, estarem ainda disponíveis apenas para ficheiros RVT. Mesmo para estes ficheiros, existem ainda processos que não são possíveis de realizar. É possível, no BIM360, partilhar modelos automaticamente, bem como consultar de forma independente, os vários ficheiros carregados na plataforma. No entanto, para serem observados modelos em conjunto (para por exemplo, compatibilizar especialidades), estes têm de ser preparados na forma de modelos “linkados”, fora da plataforma, e apenas depois disponibilizados no BIM360. Como resultado, assistiu-se à duplicação da informação (os entregáveis de cada equipa, e os modelos “linkados” para coordenação).

Ainda assim, a implementação deste sistema contribui para o sucesso do projeto. A acessibilidade da informação, o controlo de acessos, e os vários sistemas de gestão dos modelos foram amplamente utilizados durante o projeto, e trouxeram uma dimensão diferente, mais colaborativa e mais transparente, à resolução de problemas e conflitos entre especialidades.

Na definição de requisitos e usos BIM para os modelos de cada especialidade, devem ser tidas em atenção as especificidades de cada tipologia de projeto e a forma como os *softwares* estão desenhados para funcionar. Por exemplo, no projeto rodoviário, e utilizando os *softwares* de modelação típicos como o Civil 3D ou o OpenRoads, o modelo BIM é um output do processo de desenho, isto é, o utilizador pode trabalhar apenas em 2D, planimetricamente e altimetricamente, e o respetivo modelo 3D surge de forma quase automática. Podemos por isso dizer que o processo de modelação acontece um pouco ao contrário do que é habitual nos edifícios.

Esta realidade, muito particular dos projetos de infraestruturas, colide com a formulação típica de um dos usos BIM mais comuns: a “extração de desenhos”. Talvez seja por isso recomendável clarificar que o projeto tem de ser desenvolvido de forma paramétrica, com recurso a ferramentas que permitam esta integração entre modelo 3D e desenhos 2D.

Por outro lado, existem projetos que, para o nível de maturidade BIM atual, têm poucos usos BIM que lhes possam ser imputados, como é o exemplo da Sinalização Horizontal. Existem sem dúvida várias áreas de atuação onde os modelos BIM desta especialidade podem vir a ser extremamente úteis. A simulação das condições de tráfego rodoviário em projeto; durante a construção os automatismos na validação de autos de medição; a utilização de ferramentas de BIM-to-site; e os vastos campos de atuação no âmbito das smart cities, são áreas onde a digitalização do projeto da sinalização irá ser relevante[4][5]. No entanto, nesta fase do projeto, nenhum destes usos foi colocado em prática, o que diminuiu consideravelmente a valia do desenvolvimento deste modelo.

5. Conclusão

O Projeto do Aeroporto do Montijo constituiu um desafio BIM de larga escala, que foi ultrapassado apenas devido à combinação entre o elevado nível de desempenho e maturidade BIM de todos os intervenientes no processo; e o realismo e simplicidade da abordagem adotada por parte dos Gestores BIM do empreendimento.

Este projeto é um exemplo de trabalho colaborativo entre diferentes empresas de forma aberta, mesmo utilizando diferentes soluções tecnológicas, desde que suportadas por uma gestão de processos clara e permeável às diferentes necessidades de cada equipa. Não obstante os problemas tecnológicos que surgiram, foram sempre procuradas soluções de conjunto que no final, incrementaram valor tanto no projeto, como nos processos internos de cada interveniente.

Durante o projeto foram desenvolvidos, apenas para as Infraestruturas do Aeroporto, 78 modelos, utilizando o Revit, o Civil 3D, OpenBuildings Designer, OpenRoads Designer, e Tekla, partilhados nos formatos IFC e LandXML, resultando num total de aproximadamente 10 Gb de informação BIM produzida.

Existem ainda muitas áreas que podem melhorar para que se atinjam os níveis de implementação BIM pretendidos, em particular nos projetos de Infraestruturas. Ainda assim, o BIM já é uma realidade que permite aumentar a qualidade durante o Projeto, a Obra e a Gestão do Empreendimento.

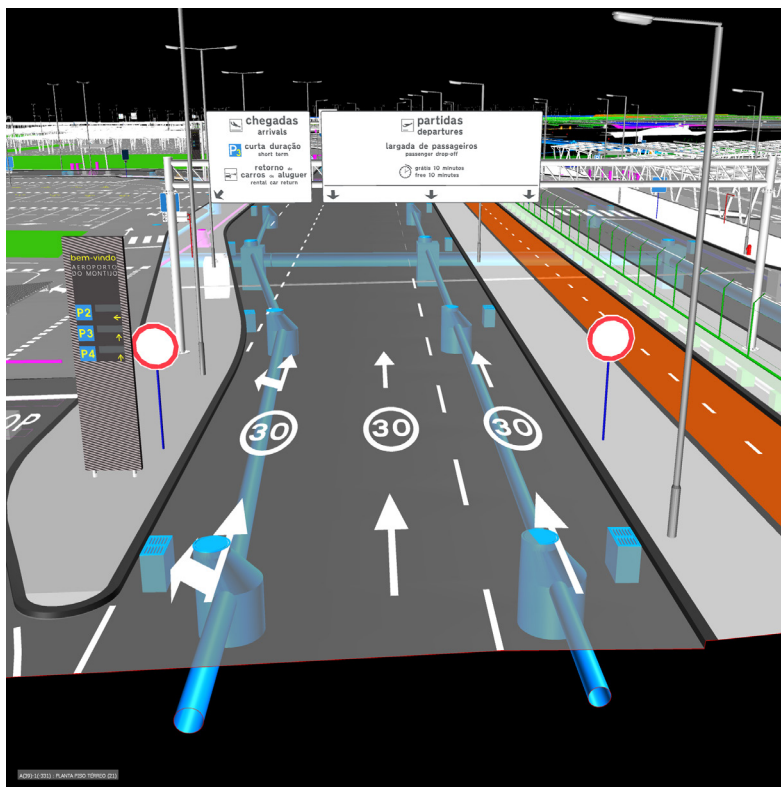


Figura 6
Antevisão do acesso à
área de partidas/chega-
das do Aeroporto.

Referências

- [1] BIM FORUM, *Level of Development Specification Guide*, November 2017.
- [2] American Institute of Architects, *AIA Document G202 – Project Building Information Modeling Protocol Form*, 2013.
- [3] N. Davies, *Practical Architectural Modelling with AECOSim Building Designer*, 1st ed. Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2008.
- [4] C. Eastman, *BIM Handbook, a guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, John Wiley & Sons Inc., 2011
- [5] Bentley Systems, Incorporated, "2016 Infrastructure Yearbook", Bentley, 2017.
- [6] C. Clemen e H. Gorne, *Level of Georeferencing (LoGeoRef) using IFC for BIM*, *Journal of Geodesy, Cartography and Cadastre*, 2019

Interoperabilidade, colaboração e coordenação de projeto de 2 hospitais em Angola

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.30>

Hugo Silva¹, Luís Ribeirinho¹, Sofia Henriques¹

¹ TPF – Consultores de Engenharia e Arquitetura, S.A., Lisboa

Resumo

No âmbito de um projeto internacional relativo a 2 Hospitais em Angola, desenvolvido em BIM por equipas multidisciplinares espalhadas geograficamente, foram adotados processos e ferramentas BIM em resposta aos desafios do projeto.

Os principais requisitos de projeto foram transmitidos através de modelos IFC produzidos pelo Cliente, tendo sido o ponto de partida para o desenvolvimento do projeto. Considerando que a TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S. A., e o Cliente utilizavam programas de modelação distintos (*Revit* e *Archicad*, respetivamente), o IFC foi o formato utilizado para a partilha de informação, não só geométrica, mas particularmente não-gráfica. Foi vital que os ficheiros IFC cumprissem os requisitos de informação especificados pelo Cliente, alinhados com o basicIDM guideline e com a classificação da buildingSMART.

O *BIM360 DOCS* da *Autodesk* foi o CDE do projeto, tendo-se enquadrado a sua estrutura ao recomendado pela ISO19650-1. A modelação, em *Revit*, foi realizada colaborativamente na nuvem, através do *BIM Collaborate Pro* da *Autodesk*, permitindo que os modelos transitassem de estado de forma automatizada entre “WIP” e “Shared”.

A coordenação e a comunicação das questões de projeto foram integradas na nuvem *BIMcollab*, com a gestão de assuntos efetuada através de plug-ins, *BIMcollabZOOM*, ou no próprio *browser*.

1. Introdução

A TPF – CONSULTORES DE ENGENHARIA E ARQUITETURA, S. A., realizou um projeto multidisciplinar de 2 Hospitais em Angola, liderando a coordenação e o desenvolvimento de todos os projetos de especialidades e infraestruturas (Figura 1).

Cada Hospital era composto por um edifício principal de 3 pisos, circundado por diversos edifícios de apoio, com áreas totais de construção aproximadas de 25.000 m² e 27.000 m².

A complexidade do número de instalações especiais e a dimensão dos empreendimentos obrigaram a um controlo rigoroso na sua coordenação interdisciplinar.

A metodologia BIM teve um papel fundamental no sucesso conjunto deste Projeto, ao aproximar as equipas em prol de um trabalho mais eficiente e de excelência, enquadrado com as necessidades intermédias e finais do Cliente.

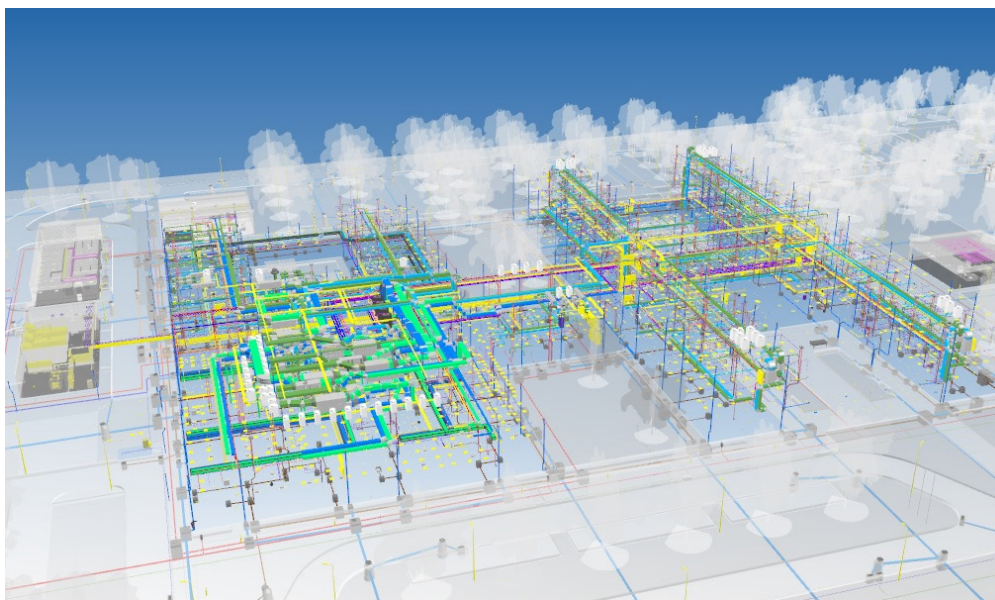


Figura 1
Extrato de modelos IFC federados produzidos pela TPF Consultores.

1.1. Usos BIM

A maturidade BIM tem vindo progressivamente a evoluir no seio da TPF Consultores, fruto da forte aposta em adotar incrementalmente esta metodologia nos seus projetos, quer esta seja, ou não, exigida pelo Dono de Obra/Cliente. Neste projeto específico, a adoção desta metodologia ficou particularmente consolidada, uma vez que houve essa exigência por parte do Cliente, tendo este definido requisitos específicos referentes às entregas dos modelos BIM.

O Cliente, responsável pela gestão do projeto e gestão da construção, pelo fornecimento do equipamento médico, e ainda pela posterior operação do empreendimento,

revelou ter uma maturidade BIM elevada. Esta foi sendo revelada, não só através do processo de aferição de capacidade BIM exigida para concurso, como também através dos modelos IFC que partilharam, e das auditorias que realizaram à informação transmitida nos modelos que receberam. Tendo havido uma participação ativa do Cliente na elaboração do BEP, permitiu o debate de ideias e concertação de metodologias BIM a um nível avançado e contínuo, durante todo o ciclo do projeto. Esta colaboração conjunta, foi importante para moldar práticas, procedimentos e processos digitais, ao encontro das expectativas e necessidades do Cliente, dando simultaneamente, maior significado e relevância ao trabalho desenvolvido por cada ator do Projeto.

Para além dos usos BIM empregues neste projeto, que já têm sido regulares em outros projetos BIM produzidos na TPF Consultores – tais como colaboração, extração de documentação 2D, visualização e coordenação 3D, e quantificação automática – o formato IFC foi também utilizado como veículo de informação gráfica e não-gráfica, proporcionando a interoperabilidade necessária para a comunicação de dados entre as várias partes. Do lado do Cliente, o IFC basculava os requisitos inerentes ao projeto, nomeadamente cargas, necessidades MEP e terminais de instalações a servir. Da parte do projetista, transportava a informação técnica pertinente dos elementos, resultante da conceção analítica da respetiva especialidade.

Deste modo, a produção dos modelos BIM ganhou uma destacada significância e relevância, considerando que tiveram um maior grau de consumo, quando comparado a uma utilização circunscrita à extração de segmentos de informação para peças de projeto.

Para auxiliar as equipas das especialidades no cumprimento dos requisitos do Cliente e no alinhamento com os fluxos de partilha de informação, a TPF acrescentou à sua equipa, para além do seu BIM Manager, um Coordenador BIM para realizar o trabalho de Coordenação e de apoio às equipas no desenvolvimento quotidiano do seu trabalho.

2. Interoperabilidade

O ponto de partida para o desenvolvimento do projeto foi a recolha e análise de informação contida em modelos IFC fornecidos pelo Cliente. Estes modelos resultaram do Programa Base produzido pelo Cliente em *Archicad*, programa de modelação distinto daquele que viria a ser utilizado pelas equipas de projeto: *Autodesk Revit 2021*. Estes modelos de informação serviram como elementos de análise para comentários e discussão das premissas de projeto. Em fase subsequente, deu-se o arranque do projeto de execução da Arquitetura e especialidades com a modelação em *Revit*, utilizando como base inicial, os referidos modelos fornecidos em IFC. Estas bases permitiram às equipas iniciarem a modelação em simultâneo, minimizando constrangimentos de interdependência das diferentes disciplinas, particularmente entre Arquitetura e as restantes especialidades.

Ao longo de todo o processo de desenvolvimento do projeto, os IFCs foram partilhados semanalmente. Esta troca de informação regular deveu-se, não só ao desejo do Cliente de efetuar um controlo contínuo de plausibilidade de *Take-offs*, mas também por este ser o responsável pela execução do projeto dos equipamentos médicos, obrigando a uma coordenação contínua com as demais especialidades.

2.1. IFC – Modelo federado

A pedido do Cliente, os modelos IFC foram federados com base na origem interna dos modelos, em detrimento da sua posição geográfica de coordenadas absolutas. Numa fase inicial, essa abordagem simplificou de certo modo, o processo de interoperabilidade exportação/importação, quanto à posição espacial entre IFCs. No entanto, com a evolução do projeto, surgiram desafios adicionais, vindos da necessidade de articular infraestruturas e localizar os edifícios satélite, assim como de reutilizar modelos parciais comuns aos 2 hospitais. Um exemplo destes desafios surgiu com a evolução da conceção das infraestruturas rodoviárias do complexo, que envolveu ajustes da localização dos edifícios periféricos; ao ter sido adotada uma origem interna comum a todos os modelos, a eficiência destes ajustes foi afetada, implicando alterações aos modelos, ao invés da redefinição de georreferenciação dos mesmos. Na perspetiva da TPF Consultores, conhecendo a posição geodésica dos edifícios, será tendencialmente preferível utilizar um ponto comum de coordenadas absolutas, local onde ficaria posicionado o *Survey Point* (tanto nos modelos *Revit*, como *Archicad*). O *Survey Point*, seria assim a origem pela qual se efetuariam a exportação do ficheiro IFC (em detrimento do *Project Base Point* ou *Internal Origin*).

Para fins de controlo da correta posição relativa dos modelos, foram definidos 3 objetos geométricos em localizações fixas pré-definidas. Estes marcadores de posição, estando presentes em todos os modelos tridimensionais, facilitam a deteção de eventuais desvios.

2.2. IFC em *Revit*

A utilização do IFC em *Revit* pode ser realizada de duas formas: por ligação do modelo IFC, através da qual é gerado automaticamente um ficheiro *Revit* que fica ligado ao modelo; ou por abertura do IFC diretamente no *Revit*, em que os elementos são convertidos para o modelo *Revit*. Ambos os métodos foram válidos para a consulta dos dados dos IFCs do Programa Base fornecidos pelo Cliente. Estes dados foram confirmados com o uso paralelo dos programas *BIMCollabZOOM* e *BIMVision*, permitindo uma dupla validação, através da consulta de informação associada a elementos por amostragem. Embora o segundo processo referido, incorra num primeiro processamento de dados mais moroso, comparativamente ao primeiro, constatou-se que este apresentava vantagens quanto à integridade da informação transferida para uma primeira estimativa de cálculos térmicos de AVAC. No entanto, esta vantagem apenas teve alguma relevância para fins de estimativa energética preliminar, pois ainda que a envolvente dos elementos de arquitetura, convertida do IFC, estivesse

bem caracterizada (ex.: paredes, tetos, janelas, etc.), em alguns casos, o cálculo energético no *Revit* falhou em reconhecer superfícies que conduziram a perdas térmicas, não ficando estas contabilizadas.

Só com o modelo *Revit* desenvolvido pela equipa de arquitetura, foi possível considerar o cálculo automático de cargas térmicas, para a elaboração do projeto de execução de AVAC.

De notar, que embora tenha sido bem-sucedida a conversão geométrica dos elementos, incluindo a correta conversão de entidade IFC para categoria *Revit* (conseguido através de um mapeamento específico para cada modelo), não foi possível aproveitar estes elementos, por perda de parametrização e de dissociação dos elementos às famílias. Portanto, conforme expectável, foi necessário proceder à modelação de raiz, recorrendo a famílias *Revit*.

2.3. Estrutura/exportação IFC

O conteúdo e a estrutura de um ficheiro IFC deve ser ajustado ao uso a que se destina, abrangendo apenas a informação relevante para o efeito que se pretende. As recomendações do *basicIDM guideline*, fornecem indicações importantes para uma troca de informação de qualidade, em torno de uma utilização eficiente e efetiva do IFC. Estas orientações tiveram um papel marcante no cuidado a ter no tratamento da informação, nomeadamente: cumprir a correta classificação IFC; renomear adequadamente as entidades IFC para efeitos de exportação; alocar os objetos aos pisos correspondentes na estrutura do ficheiro IFC.

Para os casos das disciplinas de Arquitetura e Estruturas, foi relativamente simples definir um mapeamento global, que traduzisse os elementos categoria *Revit*, para a entidade IFC correspondente. No entanto, para os modelos MEP, onde cada categoria *Revit* abrange várias funções, que por sua vez determinam a respetiva entidade IFC, foi necessário atribuir individualmente o respetivo *IfcObjectType* e *IfcObjectTypeEnum* a cada elemento.

A Figura 2 ilustra um exemplo do processo de classificação das entidades IFC, onde foi adotada o *schema* IFC4 ADD2 TC1. No *website* da buildingSMART puderam ser encontradas as entidades IFC correspondentes para serem consideradas nos elementos do modelo nativo, conforme indicam as setas a vermelho da figura. Com a criação de parâmetros no modelo *Revit*, “*IfcExportAs*” e “*IfcExportType*”, cumprindo a regra PascalCase, permitiu fazer a atribuição das entidades *IfcObjectType* e *IfcObjectTypeEnum*, respetivamente, para o modelo IFC, conforme representado nas setas a azul da referida figura.

7.5.2.31 IfcUnitaryEquipmentTypeEnum buildingSMART

Natural language names

EN	Unitary Equipment Type Enum
FR	Énumération des types d'équipement unitaire

Change log

Item	SPF	XML	Change	Description
4.0.0.0				
IfcUnitaryEquipmentTypeEnum				
DEHUMIDIFIER			ADDED	

7.5.2.31.1 Semantic definitions at the type

Type definition
Enumeration defining the functional type of unitary equipment.

HISTORY New enumeration in IFC3x. DEHUMIDIFIER added in IFC4.

Enumeration definition

Constant	Description
AIRHANDLER	A unitary air handling unit typically containing a fan, economizer, and coils.
AIRCONDITIONINGUNIT	A unitary packaged air-conditioning unit typically used in residential or light commercial applications.
DEHUMIDIFIER	A unitary packaged dehumidification unit. Note: units supporting multiple modes (dehumidification, cooling, and/or heating) should use AIRCONDITIONINGUNIT.
SPLITSYSTEM	A system which separates the compressor from the evaporator, but acts as a unitary component typically within residential or light commercial applications.
ROOFTOPUNIT	A packaged assembly that is either field-erected or manufactured atop the roof of a large residential or commercial building and acts as a unitary component.

Revit

Type Properties

Family: AHU_1_EME

Type: AHU_1_EME

Type Parameters

Parameter	Value
IFC Parameters	
Renovation Status	
NameOverride	
Tag	
IfcExportAs	IfcUnitaryEquipment
IfcExportType	AIRHANDLER
Data	
O2a_Filter, Bagfilter	

IFC

Unitary Equipment

Summary	Location	Material
Property		
Model	HGV-IME-APR-AA-0001.0-BIM-00	
Prefix		
Name	AHU_1_EME:AHU_1_EME:1364616	
Phase	ANTEPROJETO PRELIMINARY DESIGN	
Type	AHU_1_EME:AHU_1_EME	
Type Name	AHU_1_EME:AHU_1_EME	
Description		
Material Name		
Layer	M-EQPM-_-_-OTLN	
System	Mechanical TPF-AVA-INS 18, Mechanical	
Ifc Element	IfcUnitaryEquipment	
Predefined Type	AIRHANDLER	
Tag	1364616	
GUID	3gcur9UoLaiQG2hNOeX5W9	

Figura 2
Fluxo para a classificação IFC dos elementos dos modelos.

Foi igualmente importante fazer uma conversão de nomes de objetos e famílias definidas no modelo *Revit*, para uma nomenclatura mais específica para fins de exportação IFC. Para esse efeito, foram criados parâmetros que permitiram a transição de denominações de propriedades dos objetos, de *Revit* para IFC. Os valores desses parâmetros foram igualmente reutilizados para a preparação de extração automática de informação, nomeadamente para *DataSheets*. O facto de o projeto ser bilingue, com as peças de projeto em português e a partilha de informação com o Cliente em inglês, pode ser considerado como mais um exemplo da necessidade de correspondência de parâmetros.

Na Figura 3 encontra-se indicado a azul um exemplo de substituição do nome do “Piso 2” através do parâmetro *Revit* *IfcName*, para “Level 2”. O lado esquerdo da figura representa um extrato das propriedades do piso no modelo *Revit*, estando na parte central da figura o resultado da exportação IFC.

A alocação dos objetos aos pisos correspondentes na estrutura IFC, revelou ser também particularmente importante, para fins de preparação de Take-Offs por parte do Cliente. Na exportação por defeito do *Revit* para IFC, os objetos ficam frequentemente

te associados ao piso a que estão relacionados (independentemente da sua relação no espaço). Para instalações que são modeladas sob tetos de compartimentos, facilmente se verifica este tipo de situação, em que muitas vezes estando localizados no piso n , estão relacionados com o piso $n+1$ com *offset* negativo. De modo a não afetar o método de modelação, foi criado um parâmetro *IfcSpatialContainer* que possibilitasse a associação dos elementos aos pisos correspondentes, sempre que necessário e de forma manual, aquando da exportação IFC.

Na Figura 3 encontra-se indicado a vermelho um exemplo de substituição da alocação de um segmento de conduta que está associada ao piso “Cobertura”. Sem indicação contrária, este elemento também ficaria associado a este piso, tendo sido então contrariado pelo parâmetro *IfcSpatialContainer*. De apontar, que o valor a substituir deve ser igual ao nome nativo do piso, e não ao do seu *IfcName*.

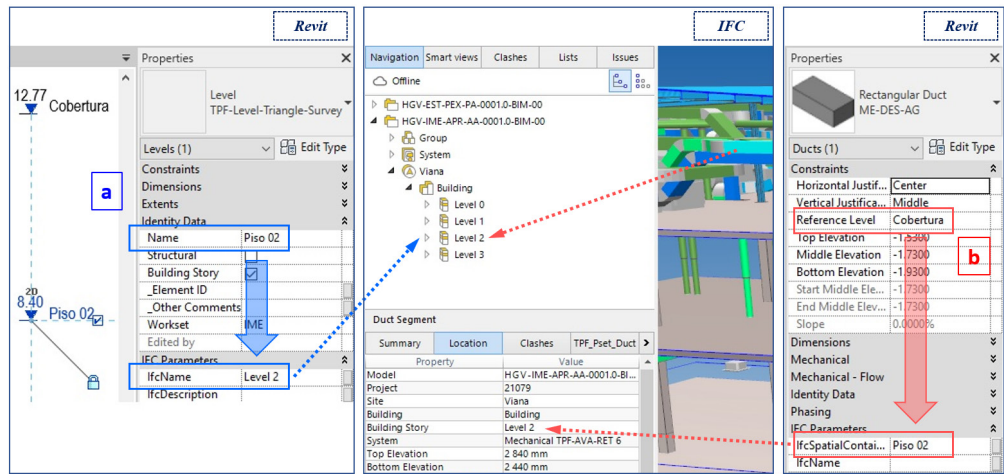


Figura 3
a) Substituição do nome da entidade IFC;
b) Alocação do elemento ao piso IFC.

Conforme referido no início deste subcapítulo, é essencial que seja transmitida, apenas e toda, a informação relevante nos modelos IFC. Para esse efeito, toda a informação foi previamente tratada no modelo *Revit*. Foram criadas tabelas com definições personalizadas para efeitos de exportação, para que os conteúdos ficassem contidos e organizados em separadores embebidos no ficheiro IFC.

3. Colaboração

O trabalho em ambiente colaborativo tem sido um importante substantivo, diferenciador da metodologia BIM, comparativamente aos métodos de trabalho tradicionais, não tendo sido diferente para este Projeto. O gradual desenvolvimento das ferramentas tecnológicas, tem permitido avanços importantes no trabalho colaborativo, que não só tem evoluído enquanto funcionalidade interna dos programas proprietários, mas também na crescente comunicação e interligação entre diferentes fornecedores tecnológicos.

3.1. CDE – Common Data Environment

A gestão da documentação deste Projeto foi administrada colaborativamente na *cloud* da *Autodesk BIM360 DOCS*, local onde os contentores de informação ficaram alojados e organizados em estrutura de pastas de acordo com o estado dos documentos, alinhado com o recomendado na ISO19650-1. Esta plataforma cadastrava automaticamente as várias versões da documentação, permitindo um fácil rastreio da informação e da sua evolução. A informação podia ser igualmente acedida em tempo real, tendo em conta que esta *cloud* suportava a visualização de uma grande variedade de formatos de ficheiros. Com a utilização do *BIM Collaborate Pro* da *Autodesk*, em associação ao *Revit*, o trabalho colaborativo de modelação foi possível ser feito em ambiente *Cloud* no CDE. Esta ferramenta, articulada com o módulo *Design Collaboration* do *BIM360*, facultou a capacidade de partilhar e consumir os modelos, de um modo integrado entre as equipas, possibilitando assim, a transição de estado dos modelos, de forma automatizada entre “WIP” e “Shared”, reforçando o controle de versões e de fluxos de partilha.

3.2. Peças escritas

Alguns ficheiros de formato proprietário da *Microsoft Office*, foram igualmente produzidos colaborativamente sempre que a coautoria ou coresponsabilidade era aplicável. De modo a facilitar o acesso ao ficheiro em edição, este era alojado no *Microsoft Teams*, em canal próprio da respetiva equipa do Projeto. A produção do BEP foi um exemplo desse trabalho colaborativo, considerando ter sido um documento sujeito a ajustes e a incremento de informação à medida que o projeto evoluiu.

3.3. BCF (BIM Collaboration Format)

A gestão de interferências de projeto foi centralizada na plataforma *BIMcollab*. Este serviço de BCF em nuvem, possibilitou a comunicação integrada entre todas as partes, alavancando o processo de rastreamento e gestão colaborativa das questões do projeto a atender. A comunicação fluía bidireccionalmente com diversos programas distintos (ex.: *Revit*, *Solibri*, *Navisworks Manage* e *BIMcollabZOOM*), sendo que todos os assuntos eram automaticamente compilados, catalogados e atualizados (Figura 4).

Response	Id	Title	Created by	Modified	Assignee	Area	Category	Deadline	Labels	Approver	Priority	Type	Status
	400	PUB 044_PUB 043 check	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0R - Café	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	398	DIA 910 add principal work	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0C - Main Building (Block C)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	398	WFC Stage 01	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0B - Main Building (Block B)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	397	WFC Stage 02	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0C - Main Building (Block C)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	395	Change room	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	394	Create a new room	Andrea Manhartz	06-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Active
	393	Plaque 001 door 00A-002	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Resolved
	392	Door 001 door 00A-002	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Critical	Issue	Resolved
	391	Wrong description	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	AA - All Buildings-building specific	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	390	Element without...	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	AA - All Buildings-building specific	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Active
	389	Wrong Level Position	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0R - Café	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	388	Wrong Level Position	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	387	Building Element...	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0A - Main Building (Block A)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	386	Wrong Class	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	AA - All Buildings-building specific	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	385	WFC of 2	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0B - Main Building (Block B)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	384	Change room 1	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	0E - Main Building (Block E)	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture, Damage	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved
	383	Model 0010_A00_image1	Andrea Manhartz	05-12-2021	Patricia Antelo	AA - All Buildings-building specific	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Active
	382	RAID 010 - TIC Equipment	David Cordeiro	07-12-2021	Andrea Manhartz	AA - All Buildings-building specific	Detail Design - PEX	31-12-2021	Architecture, Medical Equipment	Andrea Manhartz	Normal	Issue	Resolved

Figura 4
Comunicação integrada BCF em cloud na plataforma BIMcollab.

4. Coordenação de projeto

A metodologia BIM, e as ferramentas tecnológicas a si associadas, têm promovido um avanço importante na vertente da coordenação de projeto. A possibilidade de coordenação técnica de projeto em ambiente 3D, deteção automática de colisões, e mecanismos de comunicação integrada, sem dúvida que têm oferecido vantagens excepcionais à indústria AEC.

Com a crescente multiplicidade de ferramentas tecnológicas que têm vindo a emergir, afigura-se importante que seja acompanhada a evolução dos produtos e serviços que o mercado oferece, com o fim de conhecer o potencial de cada recurso tecnológico disponível. A estratégia de coordenação num projeto BIM deve desejavelmente ser construída tirando proveito da articulação de várias ferramentas informáticas, mesmo que estas não sejam utilizadas em toda a sua extensão individual. A coordenação 3D, ao contrário do que por vezes aparenta ser promovido, não se circunscreve à utilização de um determinado programa de deteção automática de colisões e disseminação do respetivo relatório. É sim, um sistema que serve a coordenação de projeto, de modo a conferir maior robustez ao seu processo num todo.

4.1. Coordenação 3D

Embora neste Projeto particular, tenha sido utilizado o *BIM360 Docs*, com a possibilidade de agregar o módulo *Model Coordination*, para deteção automática e transmissão de colisões no seio do CDE, verificou-se, que não seria o que mais se adequava ao contexto do Projeto, uma vez que nem todos os projetistas estavam a trabalhar em *Revit*. A adoção da plataforma *BIMcollab* permitiu uma articulação mais alargada e interoperacional com outros programas, nomeadamente o *Solibri* e o *BIMcollabZOOM*. Estes dois programas, utilizados pelo Cliente e pela equipa de projeto, respetivamente, tiveram um papel vital para a validação dos modelos IFC. O controlo da qualidade e a deteção de colisões de elementos dos modelos IFC foram conduzidos a partir da

definição de regras dinâmicas respeitantes às propriedades dos elementos, devolvendo as pretendidas listas e vistas inteligentes para o efeito. Em complemento ao *BIMcollabZOOM*, a equipa de projeto usou pontualmente o *Navisworks Manage* para deteção de colisões, equipado com o respetivo plug-in *BCF Manager* para comunicação via *BIMcollab*. Recorrendo a estes dois programas para deteção e comunicação de colisões, combinaram-se as vantagens que cada um tinha a oferecer, tendo dependido a escolha da extensão e do tipo de análise que se pretendia efetuar. Enquanto o *BIMcollabZOOM* foi um programa que proporcionou uma performance rápida e utilização simples, o *Navisworks Manage* apresentou maior robustez na definição de regras mais complexas para deteção de colisões. Assim, para uma monitorização corrente e de análise de carácter mais genérico, foi dada preferência ao *BIMcollabZOOM*. O *Navisworks Manage* teve um papel mais presente na fase final do Projeto de Execução, uma vez que houve necessidade de efetuar análises com maior especificidade.

Note-se que a realização e comunicação das colisões geométricas no *timing* adequado do projeto é de extrema importância. Estas devem ser feitas de acordo com o grau de maturidade de cada modelo (ou conjunto de elementos) e alinhadas com o nível de exigência que o *momentum* do projeto requer. Uma comunicação de interferências demasiado precoce, pode em muitos casos, ter um efeito nocivo ao processo de produção e à coordenação de projeto, com os custos indiretos associados à perda de eficiência.

4.2. Comunicação

Embora o formato BCF, associado à sincronização integrada em *cloud*, seja uma ferramenta essencial de comunicação relação-espaco, é importante, no entanto, que sejam definidas regras para se obterem mensagens de qualidade. Para além de vistas personalizadas, vinculadas aos GUIDs dos elementos, deve ser introduzida informação complementar que permita uma melhor compreensão e acompanhamento de cada assunto. Deve ser incorporada a zona/local, o tipo de conflito, a descrição sumária, as disciplinas envolvidas, e deve ser atribuída a responsabilidade de resolução a uma única pessoa, de modo a evitar ambiguidades de *follow-up*. É igualmente importante, que a correção dos modelos nativos relativa às interferências comunicadas em BCF, seja feita, sempre que possível, com a alteração dos elementos já existentes, em detrimento de apagar e criar novos elementos. Com a eliminação e criação de novos elementos, os respetivos GUIDs dos objetos ficam perdidos, podendo afetar o rastreio das interferências dos elementos em questão.

Para a comunicação corrente do projeto, tanto síncrona, como assíncrona, o *Microsoft Teams* mostrou-se um recurso muito eficiente para a aproximação das equipas. Foram criados diversos canais/espacos de trabalho, agrupando membros do Projeto por relevância às linhas de comunicação necessárias. Assim, não só foi possível garantir uma comunicação integrada entre toda a equipa, mas também, e simultaneamente, estreitar eficientemente a troca de conteúdos a cada indivíduo, conferindo um maior significado aos assuntos trocados.

5. Conclusões

Tanto a produção, como a coordenação de um projeto BIM, são sem dúvida estimulados pela tecnologia, que tem vindo a crescer e alargar-se na indústria AEC. Com o ritmo crescente do desenvolvimento de novas ferramentas, vem a necessidade de direcionar esforços em torno da inovação, e adaptar processos de componente metodológica que se adequem à realidade singular de cada projeto. É essencial acompanhar a evolução dos recursos informáticos num todo, e não necessariamente só as denominadas tecnologias BIM. A crescente variedade de ferramentas tecnológicas que têm emergido tem endereçado cada vez mais a preocupação de permitir fluxos de interoperabilidade, colaboração e comunicação entre programas num todo.

Por vezes, os desafios assentam na definição de políticas de decisão, que devem ser alinhadas com o nível de maturidade das equipas e com eventuais assimetrias internas.

O incremento de eficiência que a metodologia BIM se propõe a introduzir na indústria AEC passará não só pela aceleração de processos, mas também pela redução do desperdício. Desse ponto de vista, a relevância é um substantivo fundamental para qualquer processo eficiente, tanto no trabalho de produção, como no de partilha de informação. Os conteúdos de trabalho e de informação devem ser o mais otimizados possível. Para uma comunicação de informação com relevância, é igualmente importante que seja seguida uma mesma linguagem, com uma metalinguagem bem definida, ficando esclarecido quais os conteúdos e como devem ser partilhados.

O projeto dos Hospitais foi um reflexo dos aspetos acima referidos. Os processos definidos para o desenvolvimento do projeto e o trabalho colaborativo foram determinantes para o cumprimento de prazos apertados. No entanto, dada à dimensão das equipas, foi necessário fazer esforços para manter o rigor na observância dos procedimentos adotados. Considera-se que a escolha das ferramentas informáticas foi acertada, embora tenha obrigado a um apoio contínuo aos intervenientes do projeto, devido à variedade de tecnologias adotadas e à necessidade de uma correta interligação entre as mesmas.

Tendo em conta a possibilidade de colaboração e a capacidade de integração com diferentes programas, a utilização do BCF em nuvem com o BIMcollab, foi essencial para o trabalho de coordenação 3D. Contudo, a comunicação em BCF pode ainda ser objeto de maior amadurecimento em algumas equipas, principalmente no que respeita à devolução de respostas relativas às interferências de projeto comunicadas.

Este projeto deu uma importante oportunidade de serem aprofundados conhecimentos de interoperabilidade na TPF Consultores, nomeadamente com o uso do formato IFC. Embora a utilização de objetos contidos no formato IFC tenha tido limitações no desenvolvimento do projeto, este formato foi crucial para utilizar e partilhar informação com, e entre, programas distintos. Considerando que pode ser longa a aprendizagem de uma correta utilização do IFC, a TPF Consultores tem por objetivo a

curto prazo, alargar os conhecimentos desenvolvidos neste projeto a outras equipas, e utilizar este formato de forma mais corrente na empresa.

Referências

- [1] International Organization for Standardization, "BS EN ISO 19650-1:2018 Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles". 2018.
- [2] buildingSMART community, "Guidelines for BIM basic Information Delivery Manual". Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/users/user-guides>>. Acesso em 18 dez. 2021.
- [3] buildingSMART International Limited, "IFC Specifications Database". Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications>>. Acesso em 12 jan. 2022.

O BIM e a compatibilização dos projetos em obras públicas: O caso de estudo de uma escola brasileira

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.31>

Saul Ferreira¹, José Oliveira², Geórgia Jereissati³,
José Cavalcante⁴, Francisco Oliveira⁵, Paulo Almeida⁶

¹ Centro Universitário Christus, Fortaleza, 0000-0002-0941-9161

² CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0002-2417-9653

³ CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2683-2748

⁴ CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-2205-9241

⁵ CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0003-0089-3112

⁶ CIAUD, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 0000-0001-5649-0246

Resumo

Um empreendimento de construção civil é composto por vários sistemas, necessitando de uma fragmentação dos conhecimentos específicos para cada área. Devido à falta de comunicação entre os profissionais, são geradas incompatibilidades entre os projectos, a ocasionar retrabalhos e desperdícios, inclusive em obras públicas. O uso de uma metodologia integrada e parametrizada como o *Building Information Modelling* (BIM), se torna uma opção para evitar tais problemas. Este artigo propõe a utilização desta metodologia em obras públicas, para reduzir problemas gerados pelas interferências entre os projectos. O estudo se iniciou com a evolução das tecnologias utilizadas na elaboração dos projectos, seguido pelo embasamento teórico, inclusive com as normas vigentes. Foi realizado o estudo de caso, projecto de uma escola profissionalizante no Brasil, que constituiu na modelagem paramétrica e compatibilização das disciplinas de estrutura e instalações hidrossanitárias. Detetaram-se trinta e cinco incompatibilidades entre os sistemas de tubulações e trinta e duas entre as tubulações e os elementos estruturais, sendo propostas soluções. Com isso, o uso do BIM beneficia obras públicas a fim de evitar erros de compatibilização entre projectos, que se forem resolvidos antes da obra poderão gerar grande economia de custo e produtividade, assim as empresas e os contratantes não teriam problemas com atrasos e aditivos contratuais.

1. Introdução

A união entre os projectos das diversas áreas da construção de um empreendimento acaba em ocasionar as chamadas incompatibilidades de projectos, que são as interferências entre as disciplinas distintas, onde comprometem a qualidade, utilização e desempenho da edificação.

Quando não compatibilizados na fase de elaboração dos mesmos, as interferências serão evidenciadas na fase de execução, havendo a necessidade de alterações e adaptações do projecto inicial, a ocasionar aumento de custos, descumprimento de prazos, patologias, redução na qualidade dos serviços, entre outros problemas, que poderiam ter sido evitados, caso fosse investido parte do tempo da elaboração dos projectos em sua compatibilização.

Em obras públicas no Brasil é muito comum se deparar com incompatibilidades em sua execução, seja devido à mão de obra desqualificada, projectos mal elaborados e não serem feitas as devidas correções dos mesmos.

Está claro que a prática atual de se projetar pode ocasionar em diversos transtornos e possíveis prejuízos para a população de maneira geral, uma vez que o modelo tradicional 2D muitas vezes é de difícil visualização, no que acarreta em identificar possíveis falhas na fase de execução, gerando gastos imprevistos e desnecessários, que não agregariam ao produto final.

Portanto, a aplicação da metodologia BIM em obras públicas é de comum interesse, já que essa metodologia possibilita a criação de um protótipo virtual do empreendimento com geometrias e informações construtivas exatas, as quais auxiliam no processo de planejamento e execução da obra de maneira mais assertiva e precisa evitando possíveis imprevistos.

Segundo [1], com o processo de modelagem do empreendimento virtualmente, o objeto gerado possui informações necessárias e precisas para a sua construção, fabricação de peças, quantidade de insumos, custos e tempos gastos com as atividades a serem executadas. Tal processo passou a se chamar de Modelagem da Informação da Construção (BIM)

Tendo em vista tal problemática, o Governo Brasileiro dispõe, por meio do Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019, a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling no Brasil* - Estratégia BIM BR, para promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no país, estabeleceu ainda, por meio do Decreto nº 10.306/20, a utilização do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da Administração Pública Federal.

Com a implantação do BIM nas obras públicas, haverá menos gastos desnecessários, a população se beneficiará com obras entregues em menor período de tempo e de melhor qualidade, com projectos mais precisos e transparentes, facilitará os serviços

dos órgãos fiscalizadores, além de gerir melhor os custos em manutenção dos novos empreendimentos.

Este artigo tem como objetivo geral demonstrar os benefícios e as vantagens da implementação da metodologia BIM em obras de edificações públicas no estado do Ceará (Brasil).

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto Estratégico com a referência UIDB/04008/2020.

2. Estado da Arte

2.1. BIM

A modelagem da informação da construção é uma metodologia utilizada no setor da arquitectura, engenharia e construção, o termo teria sido utilizado pela primeira vez por Charles Eastman, como sendo “um modelo digital que representa um produto, que, por sua vez, seria o resultado do fluxo de informações do desenvolvimento do seu projecto”. Mas apenas com o acesso a computadores domésticos com capacidade de processamento suficiente para a utilização de softwares foi que o termo passou a ganhar maior notoriedade. [1]

Na Figura 1, é possível observar o ciclo de vida de uma edificação, a partir da implantação de um modelo BIM. Pode-se concluir que a ideia inicial do ciclo começa com o conceito do empreendimento. Após esta etapa existe o estudo de viabilidade, na qual realizam-se análises críticas e possíveis alterações, definido dessa forma o conceito do projecto. Depois são geradas as documentações, com base nas informações já previamente parametrizadas, seguindo para a produção industrial e construção que terá um acompanhamento com gerenciamento do tempo e do custo. Com base neste acompanhamento, é prevista a melhor logística para um eficiente andamento da construção. Finalizado a obra, segue o BIM orientando as operações e manutenções, que prosseguirão por toda vida útil do empreendimento, que pode passar por atualização, ou demolição, iniciando um novo ciclo de vida do projecto



Figura 1
BIM no ciclo de vida do empreendimento [2].

O BIM por se tratar da criação de um modelo 3D inteligente atribuindo informações de maneira integrada e parametrizada de construção, insumos e manutenção aos objetos e ao empreendimento em suas diversas disciplinas, com tais recursos disponíveis considera-se o modelo como sendo multidimensional. Com isso é possível tomar decisões mais complexas e assertivas devido a maior quantidade de informações de diferentes tipos serem modelados dando então aquele modelo um maior número de dimensões. [3]

Segundo [4], as dimensões do BIM são classificadas a seguir:

- **3D Modelagem:** acrescenta dimensão espacial à representação plana, permite visualizar os objetos em perspectiva. Nessa dimensão é possível realizar simulações como de iluminação, eficiência energética, e também detecção de interferências e conflitos entre os projectos;
- **4D Cronograma:** informações referentes ao tempo são adicionadas. Permite definir datas de compra, armazenamento, preparação, instalação, utilização, etc.
- **5D Orçamento:** trata de informações de custo de cada etapa da obra, alocação de recursos e o impacto no orçamento;
- **6D Sustentabilidade:** ajuda a realizar análises energéticas. Aqui se introduz os aspectos que se referem ao gerenciamento de energia, com o uso de softwares de simulações energéticas para assessorar nos ajustes dos modelos BIM, a fim de possibilitar aferições de atendimento às normas, ou certificações de edificações sustentáveis. [5]
- **7D Gestão das Instalações:** adiciona a dimensão de pós ocupação ao modelo. Permite ao usuário do empreendimento extrair informações de funcionalidade e características dos elementos para eventuais manutenções.
- **8D Segurança:** segundo [6] nesta dimensão é possível identificar os riscos oferecidos pelo ambiente de trabalho por ações individuais do trabalhador, sendo assim possível elaborar um local seguro, onde é possível seguir protocolos contra acidentes.
- **9D Lean Construction:** A produção enxuta, na qual tem-se a redução das perdas com a continuidade do fluxo de produção, além da padronização, alto nível de organização do trabalho, mecanização, dentre outros;
- **10D Construção Industrializada:** é a industrialização da construção, que permite a execução de produtos padronizados, com alta qualidade, na qual cria-se um ritmo de produção que propicia ordem ao ambiente de trabalho [7]

É fato que para alcançar essas dimensões é necessário que haja a colaboração, parametrização e interoperabilidade como requisito e o BIM seja entendido como um processo. [1]

O projecto de arquitectura se desenvolve e amadurece ao longo das fases, com informações que evoluem ao longo do seu desenvolvimento e da viabilidade do projecto executivo [9].

Buscando melhorar o desempenho dos processos e garantir qualidade gráfica, programadores passaram a usar a técnica de LOD para simplificar a geometria dos modelos 3D, mantendo sua qualidade de visualização e garantir armazenamento reduzido, menores taxas de processamento e rapidez na transferência de dados. [10]

Porém é muito comum que existam variações e adaptações na definição dos níveis de desenvolvimento para diferentes autores de documentos e guias BIM adequando-os a realidade do local. [4]

2.2. Compatibilização de projectos

Com o crescimento das cidades e o aumento populacional houve uma maior demanda no setor imobiliário, fazendo com que os profissionais comesçassem a se especializar em áreas específicas da construção como por exemplo arquitetura, estruturas, instalações entre outros. Inicialmente tal abordagem de segmentação entre os projectos deu certo pois os profissionais ainda tinham um conhecimento abrangente entre as diversas disciplinas que compunham uma edificação, porém com o desenvolvimento das especializações o conhecimento generalizado foi se perdendo com o tempo. Como consequência, esses distanciamentos entre os projectos dos subsectores da construção começaram a apresentar incompatibilidades que só seriam detectadas apenas na fase de execução. [12]

A ausência de comunicação entre os projectos acaba em gerar diversas falhas e incompatibilidades tendo um impacto negativo no valor final e na qualidade da obra.

Normalmente as empresas preparam seus projectos em etapas como arquitetura, estrutura, instalações e outros, onde em cada área está responsabilizada por um profissional específico, o que torna esse método por existência, fragmentado. Além disso cada setor específico do projecto global, realiza seu projecto desconexo dos demais, complicando a possibilidade de uma comunicação entre os participantes do projecto, afetando sua qualidade, deixando-o lento, custoso e favorável a gerar desperdícios e falhas desnecessárias. [13]

Diante do exposto, observa-se a necessidade da utilização da metodologia BIM como um novo processo para realizar as compatibilizações dos projectos, uma vez que por meio dessa metodologia além da representação tridimensional precisa, é possível realizar uma simulação virtual da execução do empreendimento. Além de possibilitar a colaboração antecipada entre todas as disciplinas presentes na construção ainda na fase de projecto. [13]

3. Metodologia

A metodologia desse trabalho consiste num estudo de caso de carácter exploratório de uma edificação pública de dois pavimentos, com o intuito de realizar a modelagem paramétrica do edifício em questão, utilizando ferramentas BIM a partir dos projectos originais aprovados no processo licitatório realizados da maneira tradicional,

sem a utilização de ferramentas BIM, com o objetivo de apontar os benefícios da utilização da metodologia BIM na elaboração e na compatibilização dos projectos e foi formatada como exposto a seguir:

- Revisão da literatura para fundamentação dos conceitos BIM e sua aplicação na realização de projectos e compatibilização, dos decretos, das normas existentes sobre essa metodologia;
- Obtenção dos projectos originais de uma escola profissionalizante do Estado do Ceará, que foram analisados
- Execução da modelagem paramétrica dos projectos de arquitectura, estrutura e hidrossanitário através do *software* AutoDesk Revit 2021;
- Realização da varredura de interferências com o auxílio do recurso do *software* AutoDesk Revit 2021 de “verificação de Interferências”;
- Verificação do impacto das interferências no orçamento da obra e o que melhoraria caso tivesse sido utilizado a metodologia BIM.
- Avaliação dos benefícios da aplicação da metodologia BIM no projecto do estudo de caso.

4. Estudo de Caso

O Governo Federal Brasileiro instituiu o Programa Brasil Profissionalizado no ano de 2007, para estimular o ensino médio integrado à educação profissional. Seguindo o mesmo intento o Governo do Estado do Ceará implantou, em 2008, o projecto de criação das Escolas Estaduais de Educação Profissional – EEEP, a Rede de Educação Profissional do Estado, integrando o Ensino Médio à formação profissional de nível técnico, em tempo integral.

No Ceará, inicialmente foram adaptados os prédios escolares públicos existentes, posteriormente o governo passou a utilizar o Projecto Escola Padrão do Ministério da Educação (MEC), contando atualmente com 122 unidades implantadas, sendo 80 novas padrão MEC. [14]

A escola é projetada em blocos independentes, composto por 12 salas de aula, 6 laboratórios básicos, auditório, biblioteca, teatro de arena, refeitório, área de vivência, quadra poliesportiva coberta e 2 grandes laboratórios especiais.



Figura 2
Foto aérea de uma escola profissionalizante do estado do Ceará [15].

Dessa forma, o programa arquitetónico contendo os espaços citados, foi definido em seis blocos de acordo com a função e interligados por circulação coberta, da seguinte forma: Auditório; Bloco de Acesso e Biblioteca; Bloco Pedagógico/Administrativo; Bloco de Serviços e Vivência; Quadra esportiva Coberta; Bloco de Ensino Profissionalizante (Figura 2)

4. Resultados e Discussões

4.1. Identificação das incompatibilidades

Nos projectos hidráulicos elaborados em CAD 2D, as tubulações são representadas por linhas localizadas no eixo da tubulação, onde não é possível ter uma real dimensão dos diâmetros das tubulações e suas conexões, o que acaba passando despercebido pelo projetista e que na hora da execução ocorre a sobreposição e o cruzamento destas tubulações tendo então assim a necessidade de realizar alterações na obra, gerando retrabalho e desperdício.

Primeiramente foram analisadas as interferências entre tubulações x tubulações.

4.1.1. Tubulações x Tubulações

Ao executar a verificação de interferências das tubulações entre si, o Revit gerou a lista presente na Tabela1, na qual se observa que foram encontradas trinta e cinco inconformidades. Algumas incompatibilidades entre as tubulações de água e esgoto nos projectos de instalações hidrossanitárias, uma vez que são feitas em várias plantas separadamente em relação a ambientes distintos nos seus respectivos pavimentos, inclusive pode-se observar variações de locais de tubulação quando se alterava o projecto a ser analisado.

Tabela 1

Listagem das incompatibilizações da combinação Hidrossanitário x Hidrossanitário.

ITEM	ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	QUANTIDADE
1	Tubulação: água fria soldável	Tubulação: água fria soldável	15
2	Tubulação: água fria soldável	Tubulação: esgoto s. N c/bolsa	14
3	Tubulação: esgoto s. N c/bolsa	Tubulação: esgoto s. N c/bolsa	6

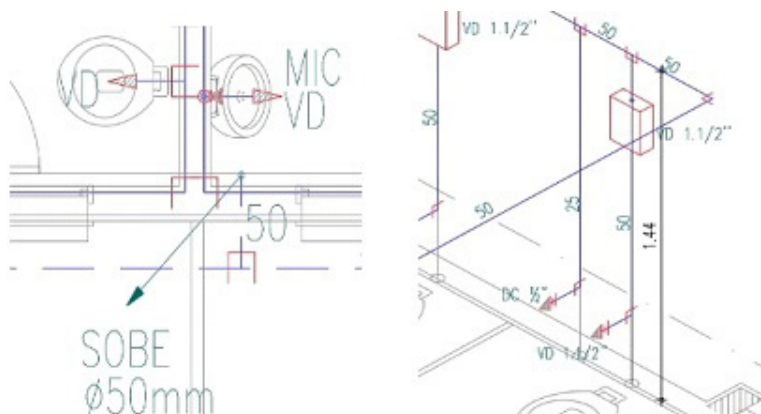


Figura 3

Planta baixa mais isometria das instalações de água do sanitário feminino, pavimento térreo, bloco pedagógico.

Como exemplo na Figura 3 estão as indicações das tubulações de água que abastecem os vasos sanitários e as duchas higiênicas do sanitário feminino do pavimento térreo do bloco pedagógico com sua planta baixa e isometrias em CAD. Devido as tubulações serem representadas por linhas, não representando assim a real dimensão dos diâmetros das tubulações e das conexões, fica difícil a visualização para quem for ler o projecto identificar algum tipo de incompatibilidade.

Após a modelagem das instalações hidrosanitárias dos banheiros, mostrados na Figuras 3 por meio do Revit, foi gerado as imagens presentes na Figura 4 onde estão sendo representadas a planta baixa e ao lado uma visualização 3D do trecho.

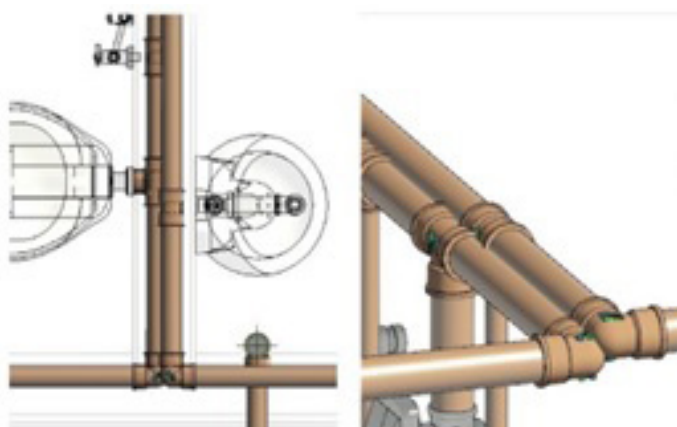


Figura 4
Modelo paramétrico 3d
das instalações de água.

Dessa forma, no Revit é possível representar os diâmetros das tubulações e suas conexões onde pode ser identificado a sobreposição de tubulações de água na mesma parede devido a suas respectivas alturas.

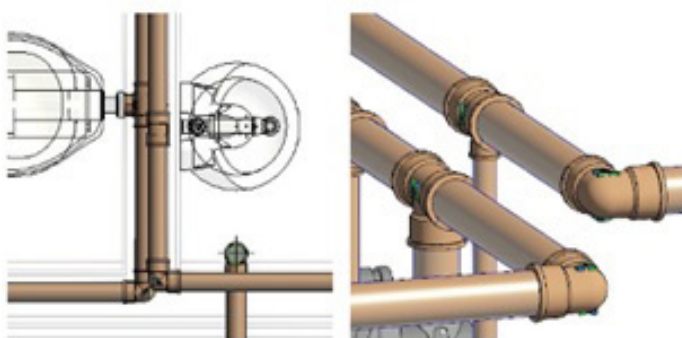


Figura 5
Modelo paramétrico 3D
das instalações de água
instalação sugerida.

Neste caso, uma possível solução seria alterar as alturas das tubulações para evitar a sobreposição entre as tubulações que abastecem os sanitários e os mictórios dos banheiros masculino e feminino do pavimento térreo do bloco pedagógico conforme é demonstrado na Figura 5.

4.1.2. Tubulações x Estrutura

Ao efetuar a verificação das incompatibilidades das tubulações com as peças estruturais, o Revit concebeu a lista contida na Tabela 2, a seguir, no qual observa-se trinta e duas interferências.

Tabela 2

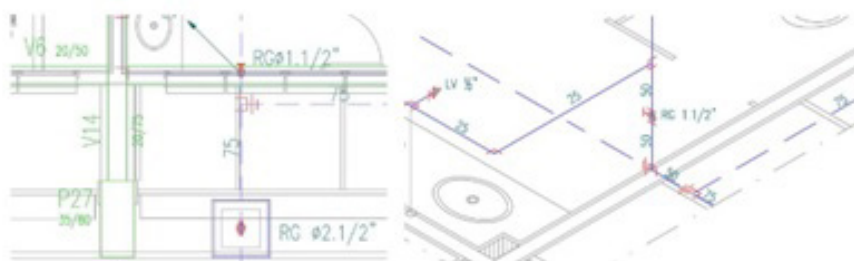
Listagem das incompatibilizações da combinação Hidrossanitário x Estrutural.

ITEM	ELEMENTO 1	ELEMENTO 2	QUANTIDADE
1	Tubulação: água fria soldável	Viga	8
2	Tubulação: esgoto s. N c/bolsa	Viga	24

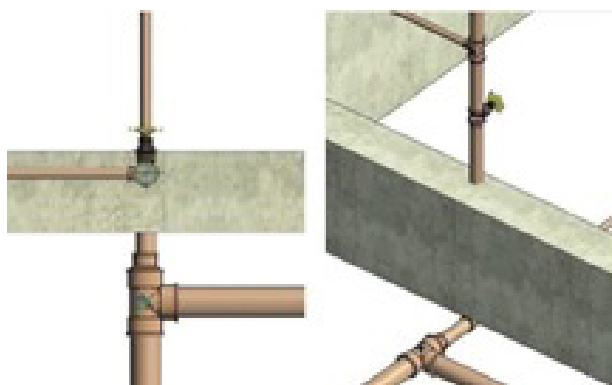
Na Figura 6 estão representados um exemplo destas incompatibilidades, a planta baixa das instalações de água e a planta baixa de estrutura sobrepostas e o isométrico da instalação hidráulica do abastecimento de água do sanitário feminino do pavimento térreo do bloco pedagógico. Seguidamente a integração do projecto estrutural com o projecto hidráulico, pode-se constatar uma possível incompatibilidade, porém sem muita precisão e a real proporção desta interferência devido a representação em 2D dos projectos.

Figura 6

Planta baixa das instalações de água e de estrutura sobrepostas e o isométrico das instalações hidráulicas do sanitário feminino do pavimento térreo do bloco pedagógico.



A modelagem das instalações hidossanitarias e da estrutura do banheiro (Figura 6), mediante o uso do Revit, foi concebida as imagens contidas na Figura 7, onde representa-se a planta baixa e ao lado uma visualização 3D do trecho com a interação das duas disciplinas em conjunto.

**Figura 7**

Modelo paramétrico 3D das instalações de água e das estruturas.

Novamente fica claro que por meio do Revit é possível representar os diâmetros das tubulações e suas conexões do projecto hidrosanitário e as dimensões reais dos elementos no projecto estrutural e suas devidas posições, tornando assim fácil a identificação da incompatibilidade com precisão e real proporção onde a tubulação de abastecimento de água está passando dentro de uma viga estrutural.

Uma possível solução seria deslocar a coluna do abastecimento de água do banheiro, desviando assim da viga e criar um enchimento na parede internamente para ocultar a tubulação, a fim de posicionar adequadamente o registro geral do banheiro como pode ser visto na Figura 8.

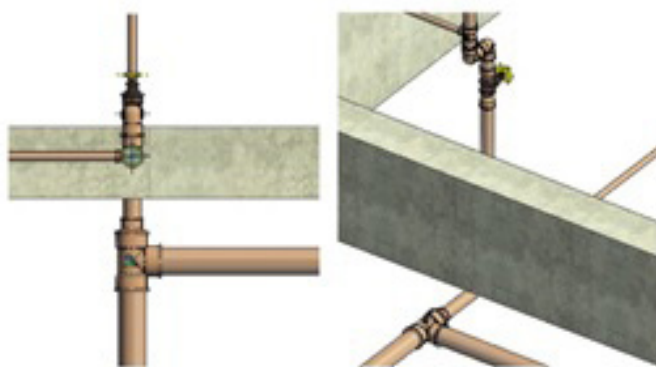


Figura 8
Modelo paramétrico 3D das instalações de água e das estruturas solução sugerida.

5. Conclusão

A partir da análise dos resultados obtidos neste trabalho, notou-se que após a modelagem realizada no Revit, com base nos projectos obtidos em CAD, puderam ser identificadas incompatibilidades entre os projectos. O que denota a importância da etapa de compatibilização de projectos para evitar assim retrabalhos e desperdícios na fase de construção.

Porém, tal etapa utilizando o método tradicional 2D torna-se um processo árduo e bastante complexo, onde a metodologia BIM veio para facilitar este processo e obter resultados mais precisos, trazendo assim vários benefícios para a indústria da arquitectura e engenharia civil.

Com a visualização tridimensional das interferências tem-se um maior entendimento e compreensão dos problemas encontrados, colaborando na tomada de decisões para solucioná-los.

Tais benefícios podem ser identificados a partir da Curva de MacLeamy uma vez que ao adiantar as tomadas de decisões para fase de projecto ocasiona em menores custos nas alterações que porventura vierem a surgir.

Portanto, a aplicação da metodologia BIM em obras públicas pode auxiliar no processo de fiscalização. Desse modo, as empresas contratadas que utilizarem essa

metodologia se beneficiariam podendo identificar falhas no projecto facilmente, antes mesmo do início da obra e assim marcar reuniões com a contratante para solucionar os problemas de forma mais eficiente. Com isso o contratante não teria futuros problemas com atrasos na entrega e aditivos.

Referências

- [1] C.M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação*. Porto Alegre, RS, Brasil: Bookman, 2014.
- [2] FIEMS, “Centro de Inovação do SESI desenvolve *software* para reduzir acidentes na construção”, *Agência de Notícias da Indústria*, 17 de maio de 2018, disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/centro-de-inovacao-do-sesi-desenvolve-software-para-reduzir-acidentes-na-construcao/>.
- [3] T. Campestrini, M. Garrido, R. Mendes, S. Scheer e M. Freitas, *Entendendo BIM: Uma visão do projecto de construção sob o foco da informação*. Curitiba, Paraná: UFPR: 2015.
- [4] C. W. Comarella, E. V. Ferreira, R. K. Silva, “Níveis de Desenvolvimento BIM de Guias Nacionais e Internacionais – Estudo de Caso”, Trabalho de conclusão de curso, Curitiba, Universidade Positivo, Curitiba, Paraná, Brasil, 2016.
- [5] M. E. Amorim, R. T. H. Feuerharmel, A. L. P. Abreu, “Avaliação do desempenho energético nas etapas iniciais de um processo BIM de um projecto público”, in IX ENSUS, Encontro de Sustentabilidade em Projecto, UFSCm Florianópolis, SC, Brasil, 2021, pp. 470-481, url: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228812>.
- [6] I. Kamardeen, “8D BIM modelling tool for accident prevention through design”, in *26th annual ARCOM conference. Leeds: Association of Researchers in Construction Management (2010)*, Leeds, UK, 2010, pp. 281-289.
- [7] C. E. M. Gomes; A. L. Vivan; E. P. Sichieri e J. C. Paliari. “Light Steel Frame: Construção industrializada a seco para habitação popular: Práticas sustentáveis”, in *Encontro Latino Americano de edificações e comunidades sustentáveis (2013)*, Curitiba, Paraná, Brasil, 2013. doi: 10.12702/978-85-89478-40-3-a022.
- [8] J. Dairós, “Guia Completo: BIM 10D construção industrializada”, *Utilizando BIM, ilding Information Modelling: D’s do BIM*. Florianópolis, 24 julho 2019.
- [9] K. M. Coelho, “A implementação e o Uso da Modelagem da Informação da Construção em Empresas de Projecto de Arquitectura”, Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, 2017.

- [10] J. P. Vilela, R. F. Lopes e F. Lima, “Modelagem 3D de Edifícios Históricos: A Influência do Lod no Processo de Reconstrução Virtual”, *Gestão & Tecnologia de Projectos*, vol. 16, n. 3, pp. 147-162, Agosto 2021, doi: <https://doi.org/10.11606/gtp.v16i3.174398>.
- [11] W.S. Catelani e E.T. Santos, “Normas Brasileiras sobre BIM”, *Concreto & Construção*, vol. 84, pp.54-59, ISSN 1809-7197, 2016.
- [12] E.N. Costa, “Avaliação da metodologia BIM para compatibilização de projectos”, Dissertação de Mestrado, Ouro Preto, Programa de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro, Minas Gerais, Brasil, 2013.
- [13] P. Praia, “A plataforma BIM na compatibilização de projectos de arquitectura e estrutura: estudos de caso”, Dissertação de Mestrado, Brasília, Universidade de Brasília, Distrito Federal, Brasil, 2019. p. 180, 2019.
- [14] S.E.D.U.C. Ceará, “Escolas Padrão MEC”, *Governo do Estado do Ceará*, pp. 1, Fevereiro 2015. Disponível em: https://educacaoprofissional.seduc.ce.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=176&Itemid=343.
- [15] G.E. Ceará, “Tabuleiro do Norte ganha nova sede da Escola de Educação Profissional Avelino Magalhães”, *Governo do Estado do Ceará*, pp. 1, Abril de 2018. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2018/04/13/tabuleiro-do-norte-ganha-nova-sede-da-escola-de-educacao-profissional-avelino-magalhaes/>.

Maturidade digital da indústria da construção – Exigências, aplicações e novos desafios

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.32>

Bruno Caires¹, Francisco Reis¹, José Carlos Lino²

¹ BIMMS – BIM Management Solutions, Porto

² BIMMS – BIM Management Solutions, Porto, ID ORCID 0000-0002-1227-600X

Resumo

O BIM chegou definitivamente à preparação das grandes obras a nível mundial. Clientes e Empresas envolvidas na fileira da construção perceberam o potencial de gestão de risco e de otimização de recursos ao anteciparem os seus processos de fabrico e montagem através de um verdadeiro gémeo digital. Esta necessidade ganha ainda maior relevância no caso de edifícios de elevado grau de complexidade, altamente exigentes na integração das diversas especialidades, civis e eletromecânicas, tais como hospitais, edifícios de ensino, data centres, ou fábricas para as indústrias de componentes tecnológicos.

No último quinquénio a BIMMS tem tido a oportunidade de participar em vários dos maiores projetos do mundo nestas áreas, apoiando o cliente e construtores em gestão de projeto, coordenação de equipas e modelos e preparação de obra, com identificação de problemas e respetiva proposta de alternativas.

Neste artigo apresentam-se alguns dos desafios que este tipo de obras tem apresentado à BIMMS, bem como as soluções que foram adotadas para os ultrapassar, algumas padronizadas e escaláveis e outras feitas à medida e fruto de desenvolvimento. Alguns dos casos relatados descrevem esses casos nomeadamente apoio ao concurso em BIM, apoio à gestão contratual, gestão de modelos, coordenação de equipas, estudos de compatibilidade entre especialidades, estudos de construtibilidade e otimização, gestão de alterações e análises de dados.

Palavras-chave: BIM Management, Construção Digital, Coordenação Técnica, Analytics, Preparação de Obra, Gémeo Digital.

1. Introdução

Cada vez mais os mercados estão a atingir maturidades elevadas e os requisitos e exigências e expectativas dos clientes em relação ao BIM são cada vez maiores [1]. Nos projetos de elevada dimensão e complexidade, os donos de obra procuram controlar o risco e o retorno do seu investimento, forçando a adoção de práticas de gestão da informação ao longo das diversas fases do projeto, construção e operação. A BIMMS tem tido oportunidade de participar em alguns desses projetos, pelo que reúne neste artigo um conjunto de experiências colhidas ao longo dos últimos 5 anos.

Essas experiências procuram apresentar-se aqui de um modo estruturado, em torno dos principais setores em que a BIMMS tem atuado, nomeadamente em grandes edifícios para educação, para Data Centres e para Produção de Semicondutores. Nestes casos, e em particular no que se refere à fase de projeto e construção digital, são elencados os novos requisitos dos clientes, descritos os desafios e relatadas as metodologias e processos que foram necessários implementar para atingir as soluções requeridas.

Destas experiências extraíram-se análises de tendências, identificaram-se oportunidades e inovações que cada vez mais, se tornam obrigatórias para quem necessita de atuar nestes mercados em que a maturidade digital é muito elevada.

Assim o principal objetivo desta publicação é o de partilhar este conhecimento e experiência e contribuir para a identificação de uma padronização nos empreendimentos BIM com níveis de exigência mais elevados, que possa servir os profissionais e as empresas que atuam nesta área.

2. Indústria da Construção - Exigências

A construção é um sector estratégico para o desenvolvimento das economias e os governos e os atores públicos contratantes, por um lado, bem como os grandes clientes privados, por outro, são o seu principal motor. Contudo, existem alguns problemas conhecidos que podem afetar o processo de construção: níveis de colaboração, subinvestimento em tecnologia e I&D e má gestão da informação. Por conseguinte, o investimento na melhoria do processo de construção junto dos grandes clientes, representado pela metodologia BIM, é fundamental para ajudar a garantir o sucesso da digitalização no sector da construção. Os principais benefícios reconhecidos que a tecnologia BIM pode proporcionar podem ser encontrados no controlo dos custos do ciclo de vida, no processo eficaz de construção, na melhoria da conceção e da qualidade, no apoio à tomada de decisões e na gestão dos riscos. A falta de benefícios a curto prazo, juntamente com um longo período de retorno do investimento estão listados como os principais fatores negativos abrandando a adoção do BIM [2]. A adoção do BIM nos concursos públicos é um processo muito longo e complexo,

muito ligado a uma mudança cultural do que à simples introdução de novo software e *hardware* para apoiar o trabalho do dia a dia (Figura 1).

Uma análise feita pela McKinsey & Company encontra três tendências-chave que estão a moldar a indústria: constelações emergentes de soluções em torno de casos de usos correntes, a aceleração do investimento em tecnologia e um conjunto em expansão de casos de uso promissores (Ver Figura 2) [3]. Da análise do ecossistema da tecnologia da construção apresentado nessa figura, conseguem encontrar-se tendências emergentes, constelações de soluções e um universo cada vez maior de casos de usos de tecnologia que estão a consolidar a nova forma como planeamos, concebemos e executamos projetos. Pelas ligações entre si e consistência na sua bidirecionalidade podem-se identificar clusters de atividades, que se agruparão principalmente em três áreas: Back-office e serviços adjacentes e de suporte, que indiretamente fazem os processos funcionar (como a gestão de recursos humanos e de equipamentos ou a monitorização e controlo em tempo real); a Colaboração digital, virada para a equipa, em que podemos encontrar campos como a gestão documental e contratual, e mesmo a gestão de modelos e ambientes partilhado de dados; e a Execução na obra, muito alinhada com a verificação da qualidade, as inspeções e a consequente formação de profissionais.

Sobre as constelações que tendem a criar tendências, são reconhecíveis: a impressão 3D, modularização e robótica; os gémeos digitais; e a inteligência artificial e analítica, que estão em posição de ser transformacionais para esta indústria [4] [5]. Uma quarta constelação, a da otimização da cadeia de fornecimento e dos mercados, tem evidenciado também um rápido crescimento.



	STRENGTHS	WEAKNESSES
BIM ADOPTION IN PUBLIC TENDERS	Improvement in management and coordination	Few or no benefits at the beginning
	Improvement in maintenance activities - operation phase	Low productivity and additional effort required
	Reduction of contingencies through improvement of clash detection and quality check	Specific knowledge and expertise required
	Improved time management and efficiency in time scheduling	High costs of adoption
	Improvement in costs estimation and information management	Complexity and lack of flexibility
	Reduction of total projects' costs	Interoperability issues
	Improvement in projects' quality	
	OPPORTUNITIES	THREATS
BIM ADOPTION IN PUBLIC TENDERS	Regularisation and streamlining of the national AEC procedures	Lack of a clear regulatory framework and incentives for adoption
	Digitalisation of the aec sector	Cultural and procedural obstacles
	Specific studies on and analyses of costs and benefits associated with BIM	Monopoly of certain software companies
	Development of a clear regulatory frameworks and introduction of incentives	High costs of adoption

Figura 1
Análise SWOT resultante dos levantamentos nos países participantes (EU) [2].

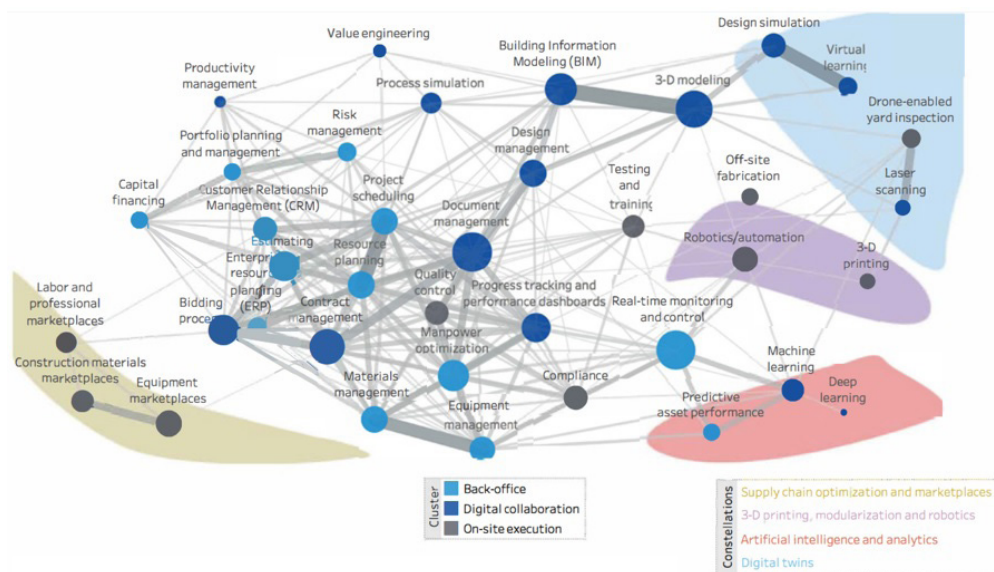


Figura 2
Ecosistema de tecnologia de construção – tendências e constelações de atividade em torno de casos de utilização estabelecidos e emergentes [3].

É neste enquadramento que os grandes Clientes e as Empresas envolvidas na fileira da construção apostam na antecipação dos seus processos de fabrico e montagem através de um verdadeiro gémeo digital em resposta ao potencial de gestão de risco e de otimização de recursos. Esta necessidade ganha particular relevância no caso de edifícios de grande dimensão ou elevado grau de complexidade, tais como os edifícios de ensino, os data centres, ou as fábricas para as indústrias de componentes tecnológicos. Apresenta-se de seguida a recolha da experiência da BIMMS acerca destas três tipologias de edifícios.

3. Maturidade Digital por Sector – Aplicações

No último quinquénio a BIMMS tem tido a oportunidade de participar em vários dos maiores projetos do mundo nestas três áreas, apoiando o cliente e construtores em gestão de projeto, coordenação de equipas e modelos e preparação de obra, com identificação de problemas e respetiva proposta de alternativas. Apresentam-se de seguida essas experiências em cada um dos três tipos de edifício, estruturando-se essa apresentação por: (i) Âmbito de atuação da BIMMS nesses trabalhos em particular; (ii) Desafios que este tipo de obras tem apresentado; e (iii) Soluções que foram adotadas para os ultrapassar, algumas padronizadas e escaláveis e outras feitas à medida e fruto de desenvolvimento. Alguns dos casos relatados descrevem esses usos, nomeadamente apoio ao concurso em BIM, apoio à gestão contratual, gestão de modelos, coordenação de equipas, estudos de compatibilidade entre especialidades, estudos de construtibilidade e otimização, gestão de alterações e análises de dados, entre outros.

3.1. Sector Educação

Os dados aqui relatados e recolhidos ao longo de mais de 6 anos, desde 2015, baseiam-se principalmente na participação intensa da BIMMS na coordenação técnica

de projeto, preparação de obra, gestão BIM, compilação técnica e apoio na integração modelo com sistema AM, da Ulster University em Belfast na Irlanda do Norte [7].

Como âmbito de atuação, a BIMMS assumiu a Gestão dos Projetos, a Gestão do Processo BIM, nomeadamente das várias partes interessadas, a Coordenação de Projetos e apoio à obra e a Engenharia de valor (Value Engineering).

Vários foram os desafios colocados pelo cliente, nomeadamente o Elevado Envolvimento da Equipa do Cliente (vários clientes e várias partes interessadas), o Desenvolvimento do Projeto com envolvimento de múltiplos projetistas e subprojetistas, a Pormenorização de Projeto, exigindo um elevado nível de detalhe, as Restrições de Coordenação Espacial, a Interface com os atores da Gestão de Ativos para a Fase Operativa, Relatórios de Projeto de elevado grau de detalhe e elevado nível de interface com as condições existentes.

Em resposta a estes desafios foram implementadas as Normas de Projeto BIM (reconhecidos pela indústria), a Gestão de Dados e Colaboração entre as Partes Interessadas, a Estratégia de coordenação de projeto, gestão do espaço e o processo de deteção de conflitos (Ver Figura 3).

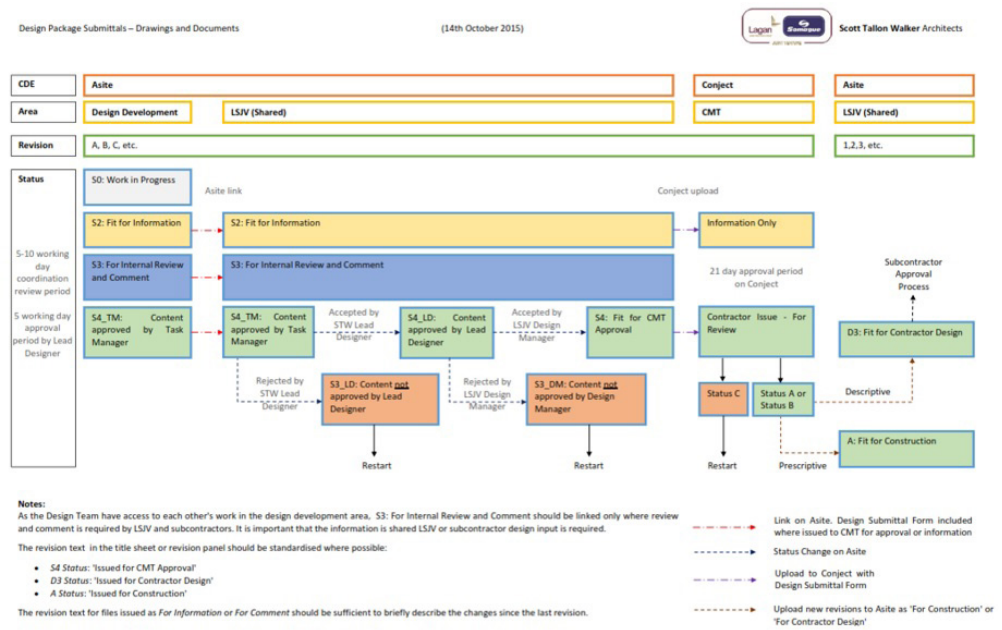


Figura 3
Processo de aprovação dos entregáveis de projeto.

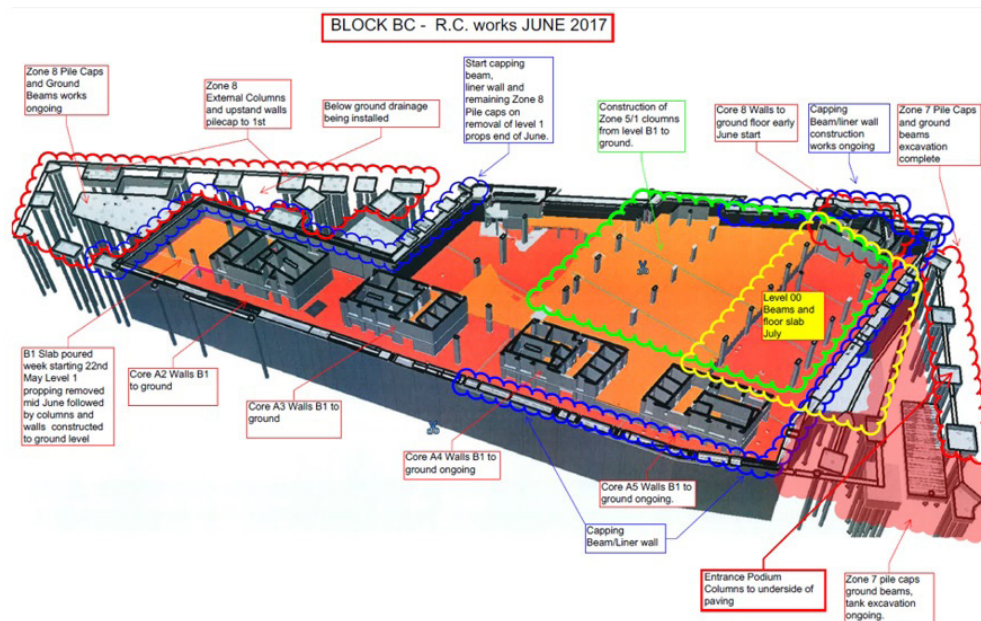


Figura 4
Preparação de projeto
– desenhos de prepara-
ção.

Além disso foram também implementados a automatização da C-Sheet (Folha de Desenhos técnicos de disposição integrada) (Ver Figura 4), diversas Simulações com vista à Otimização de projeto (engenharia de valor), Digitalização a laser (Tecnologia de Nuvem de Pontos) e ainda Integração de Técnicas de Análise de Dados, incluindo Relatórios do Projeto e de Gestão de ativos. Estas soluções foram implementadas com sucesso e com aprovação reconhecida pelo cliente.

3.2. Setor Data Centres:

Em relação aos *Data Centres*, vários foram os projetos que deram origem aos dados aqui apresentados, localizados principalmente na Alemanha, na Holanda e também no Reino unido. A BIMMS teve um papel importante nas atividades de revisão de pré-construção, coordenação MEP, preparação de obra multidisciplinar, controlo de quantidades, gestão BIM, assistência técnica à obra e compilação técnica/as-built [8] [9].

Como âmbito de atuação, a BIMMS assumiu a Revisão da Qualidade dos Modelos, a Coordenação de Projeto, nas Fases de Pré-Construção e Construção, a Coordenação da conceção do fabrico, o Controlo das Quantidades e dos custos bem com a Entrega de modelos – PIM para AIM.

Dos vários desafios colocados pelo cliente, identifica-se o Programa - Conceção e Construção numa Abordagem rápida, a Interface com as múltiplas partes interessadas, a Pormenorização de projeto com um Elevado nível de detalhe e o Optioneering (Pedido de alternativas por parte do cliente) como se pode ver na Figura 5).

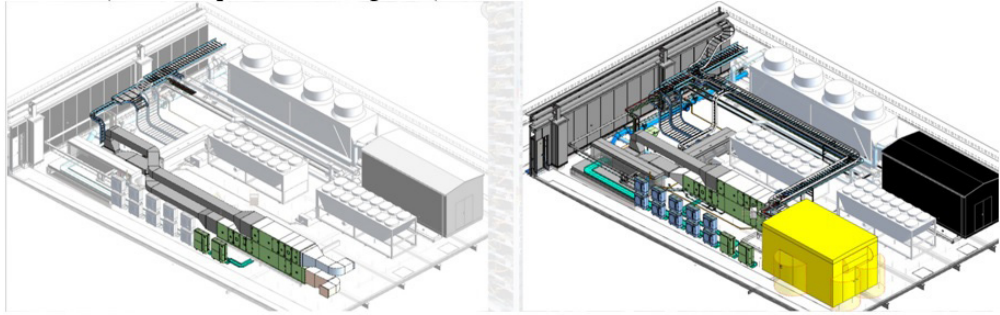


Figura 5
Opções de projeto.

Além destes outros desafios foram também o Ritmo acelerado da obra e a respetiva dificuldade no acompanhamento, as Restrições de Coordenação Espacial e o Relatório de Projeto de Elevado grau de detalhe.

Em resposta a estes desafios foram implementadas as Normas de Projeto BIM (reconhecidos pela indústria) com Gestão de Dados e Colaboração das Partes Interessadas, a Estratégia de coordenação de projeto incluindo gestão do espaço e do processo de deteção de conflitos, o Conceito do modelo ativo, com Colaboração total com as outras partes interessadas via Cloud, Programação API para Otimização de Tarefas Repetitivas, a Implementação de HoloBuilder ou soluções equivalentes permitindo uma visão diária do progresso na obra (back office) (ver Figura 6) [6], a Integração de Técnicas de Análise de Dados incluindo Relatórios de Projetos e de Gestão de ativos bem como Função de Opções de Projeto a análise das Capacidades do Software BIM.

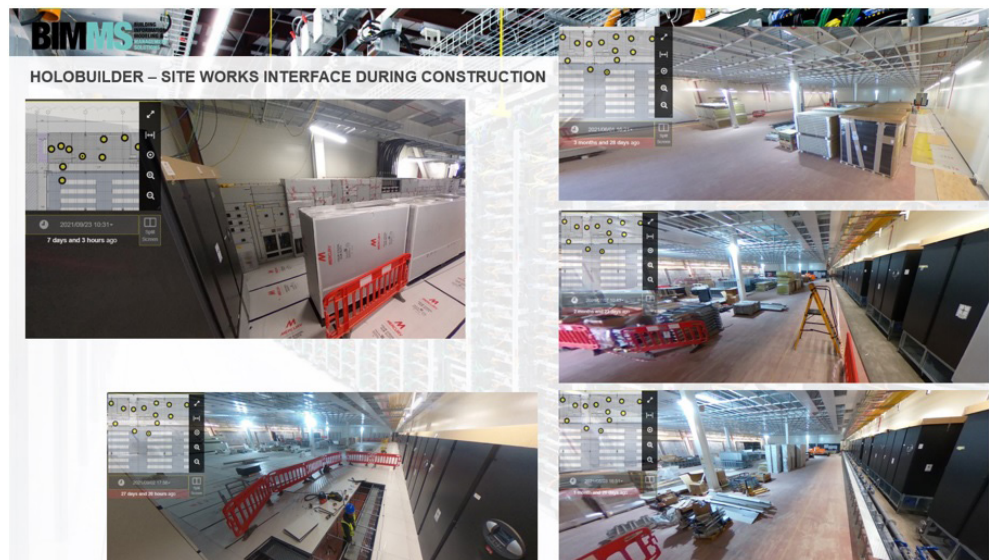


Figura 6
HOLOBUILDER – Interface de trabalhos de obra durante a construção.

3.3. Sector Semicondutores:

Os dados aqui relatados e recolhidos baseiam-se principalmente na participação da BIMMS na Coordenação MEP, na preparação de obra multidisciplinar, na preparação de fabricos, no controlo de quantidades e na assistência técnica à obra e suporte as-built, de uma mega-fábrica de semicondutores [10].

Como âmbito de aplicação a BIMMS assumiu a Coordenação elétrica, a Conceção do fabrico, a Otimização e apoio ao projeto e a Coordenação de Instalação de Ferramentas.

O Cliente no BEP (BIM Execution Plan) acabou por elencar como usos as Medições e Quantidades (Modelação 5D), as Revisões de conteúdo, o Controlo da qualidade (QA/QC), o Planeamento de fases (Modelação 4D), a Validação do código, as Especificações e Detalhes Padrão, a Lista de equipamento, a Gestão do Espaço do MEP, a Base de dados (FASTR) de pontos de ligação (POC), o Fornecimento do conteúdo de pré-processado, pré-fabricado, e fabrico fora da obra, o Controlo e Planeamento 3D (Layout Digital / BIM para a obra), o Projeto e fabrico de parceiros comerciais, o Projeto de métodos de construção, a Coordenação de Construção 3D e a Modelação de existências.

Vários foram os desafios colocados pelo cliente, nomeadamente a programação de rastreio rápido, a Pormenorização de projeto (LOD400/LOD500), o Portal de Aprovação, a Metodologia de controlo de qualidade QA/QC, a existência de Projetos Multidisciplinares, ter mais de 300 partes interessadas (ao vivo) e Elevada Precisão para alimentar o Gémeo digital.

Em resposta a estes desafios foram implementadas as seguintes metodologias e soluções:

- (i) Normas sobre Processos de Modelação: As Validações do equipamento, Especificações do fornecedor, Princípios de exequibilidade e Relatórios de cálculo de apoio;
- (ii) Processos e padrões internos de controlo de qualidade GQ/CQ: As Diretrizes e Princípios de GQ/CQ a serem revistos, as Rotinas de revisão que produzem dados brutos – analisados posteriormente, as Verificações de viabilidade – admissibilidades específicas a serem cumpridos;
- (iii) Analíticas BIM: Quantificação de problemas de qualidade, Decisões de gestão baseadas no relatório de qualidade, reuniões de Alinhamento com relatórios de qualidade, Avaliação da Coordenação do progresso através de informação de dados, Controlo da quantidade – tempo decorrido (ver Figura 7).



Figura 7
Rotinas de controle de
qualidade internas QA/
QC – Análíticas BIM.

4. Novos Desafios & Inovação

Com base nos casos de estudo acima relatados e apresentados, foi possível identificar como principais Desafios da indústria de construção atual o Elevado Envolvimento do Cliente, o Aumento do detalhe de projeto (Demonstração de Conformidade), a Coordenação das múltiplas partes interessadas, os Requisitos adicionais para a coordenação espacial (conformidade CDM), o Relatório de Progresso – BIM aplicado à Gestão de Projetos, a Engenharia de valor que passa a ser a norma, a Solução Pré-fabricada e a Construção fora do local que também é uma realidade, a Transparência, a Abordagem Rápida que passa a ser a norma, o *Optioneering* (escolha de diferentes opções) pela equipa do cliente, o Trabalho à distância sempre que possível, o Controlo e Monitorização de Quantidades, as Entregas sob um Modelo de informação do ativo.

A indústria atual exige assim processos colaborativos digitais, em tempo real, simplificados, interoperáveis e modelos BIM preparados para suportar múltiplos usos.

Nesta mudança para a chamada Construção Digital, identifica-se uma estratégia de base que tende a tornar-se a norma vigente nestes projetos de grande dimensão e complexidade, em que se podem resumir como principais Objetivos estratégicos:

Na Perspetiva do cliente: A Abordagem digital da gestão de ativos e existências e a Integração digital com *software* de Manutenção; a Melhor interação durante as fases-chave de desenvolvimento do projeto e entrega da instalação; a mitigação do risco global; o marketing – endomarketing & público;

Na Perspetiva da gestão de projeto: A análise de relatórios – controlo de progresso/controlo de qualidade/indicadores de performance; a implementação de um registo digital integrado de restrições;

Na Perspetiva do construtor: Análises de viabilidade, otimização e coordenação detalhada antes do fabrico e instalação; a Melhoria da exatidão e a consistência dos produtos de fabrico de construção (desenhos, medições);

os Métodos digitais para extrair, controlar e rever quantidades e a sua respetiva interface BOQ; as Simulações do programa - melhor visualização/comunicação para sequenciamento de instalação com definição de marcos de projeto e revisão crítica do processo; o Controlo de custos integrado; o Apoio à contratação com Extração de pacotes de contratação consistentes; a Integração da obra - Procedimentos digitais para Snagging; a Melhoria do Planeamento e logística do local; a Saúde e segurança - Digitalização de procedimentos de avaliação de risco e gestão de riscos;

Na Perspetiva do desenvolvimento de projeto: A Melhoria das análises de conformidade de requisitos e códigos, de coordenação multidisciplinar, de instalação e de acessibilidade, a Melhoria da integração das estratégias de manutenção O&M com as verificações de conformidade CDM durante o desenvolvimento do projeto, o Controlo de Medições e orçamentos com Implementação de um valor objetivo de projeto baseado em limites máximos orçamentais, a Informação de projeto digitalmente integrado (modelos BIM, desenhos, esquemas, especificações, medições) prevenindo inconsistências; a Abordagem melhorada à engenharia de valor; a Sustentabilidade: BREEAM/LEED e Integração BIM; a Análise de localização – Otimização da posição do edifício e verificação dos regulamentos aplicáveis; a Análise energética – demonstração de conformidade e abordagens otimizadas; a Gestão das alterações de projeto – Implementação de traceabilidade

Soluções Pré-fabricadas – análise de viabilidade; Aceleração da pre-construção – permissão de trabalhos antecipados.

5. Conclusão

A tendência dos requisitos da indústria AECO tem vindo a progredir. A digitalização e a sua evolução continuarão a surgir como resposta aos desafios, nomeadamente destacando-se áreas como o *machine learning*, o *E-Procurement*, o *digital twin* – a integração sensorial IOT, o *compliance checking*, as tools em plataformas web-based, entre outras.

A digitalização implementada ao nível estratégico e ao nível do processo operativo é umas das soluções que viabilizam o desempenho competitivo atualmente exigido pela indústria. A congregação da digitalização com os conhecimentos nas áreas de gestão de projeto, arquitetura, engenharia, construção e gestão de ativo é expressivo para corresponder aos atuais desafios impostos.

Através do levantamento e apresentação de casos de estudo do último quinquénio, em que a BIMMS teve um papel intenso de coordenação BIM, é notório o incremento significativo, identificado dum modo progressivo e transversal, quanto à exigência de desempenho requerida em projetos de construção e no contexto colaborativo da indústria AECO.

O gestor de contracto, construtores e diversos intervenientes estão a ser confrontados com novos desafios que requerem uma resposta diferenciada à da tradicional, exigindo assim uma necessidade de conformidade e competitividade, uma revisão aos processos de trabalho e de comunicação e conseqüentemente formato da tomada de decisão que deverá ser ainda mais dinâmica e sustentada analiticamente. Conseqüentemente, impõe a necessidade de melhoria contínua e demonstração de evidências por parte do executor com processos de escrutínio técnico, económico e respetivas monitorizações de desempenho.

A exigência verificada foi agrupada por fatores de (i) incremento dos requisitos técnicos ao nível de especificações e regulamentação, (ii) de flexibilidade para alterações de projeto que visa a otimização (*value engineering*), (iii) de controlo e monitorização económica, (iv) de aumento dos standards de qualidade e acompanhamento dos trabalhos e (v) de simulação e controlo do planeamento dos trabalhos.

Referências

- [1] Observatory, E. construction sector, “Building Information Modelling in the UK construction sector”, 2019;
- [2] European Innovation Council and SMEs Executive Agency, “Calculating Costs and Benefits for the Use of Building Information Modelling in Public Tenders - Methodology Handbook”, European Commission, 2021;
- [3] Jose Luis Blanco, Andrew Mullin, Kaustubh Pandya, Matthew Parsons, and Maria Joao Ribeirinho, “Seizing opportunity in today’s construction technology ecosystem”, *Capital Projects & Infrastructure*, McKinsey & Company, 2018.
- [4] A. Zabin et al., “Applications of machine learning to BIM: A systematic literature review”, *Advanced Engineering Informatics*, 2022.
- [5] H. Liu et al., “A knowledge model-based BIM framework for automatic code-compliant quantity take-off”, *Automation in Construction*, 2022.
- [6] S. V. Tran et al., “Generative planning for construction safety surveillance camera installation in 4D BIM environment”, *Automation in Construction*, 2022.
- [7] BIMMS, Greater Belfast Development Ulster University, Atividades de coordenação técnica de projeto, preparação de obra, gestão BIM, compilação técnica e apoio na integração modelo com sistema AM (2015 – presente), 2022.
- [8] BIMMS, Data Center Localizado em Londres, UK, Atividades de revisão de pré-construção, coordenação MEP, preparação de obra multidisciplinar, controlo de quantidades, gestão BIM, assistência técnica à obra e compilação técnica/as-builts (2019 – 2020), 2022.

- [9] BIMMS, Data Center Localizado em Frankfurt, Alemanha, Atividades de revisão de pré-construção, coordenação MEP, preparação de obra multidisciplinar, controlo de quantidades, gestão BIM, assistência técnica à obra e compilação técnica/as-built (2020 – 2021), 2022
- [10] BIMMS, Semiconductor Factory, Europe, Atividades de coordenação MEP, preparação de obra multidisciplinar, preparação de fabricos, controlo de quantidades, assistência técnica à obra e suporte as-built (2019 – presente), 2022

Persistência de barreiras institucionais para adoção do BIM no setor público brasileiro

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.33>

Eduardo Nardelli¹

¹ *Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, ID ORCID 0000-0002-8519-3213*

Resumo

Este artigo descreve e comenta os recentes avanços institucionais para a adoção do BIM – Building Information Modelling, nas licitações e contratações do setor público brasileiro. Apresenta um breve relato desta trajetória, com a descrição dos atos governamentais recentes que redefiniram o novo marco regulatório dessas atividades. Em seguida discute as repercussões desses atos em relação às características específicas do processo BIM e conclui com considerações finais sobre eventuais avanços e barreiras institucionais que o novo marco regulatório representa para a adoção deste processo disruptivo tanto para os agentes públicos como para o setor de AEC no Brasil.

1. Introdução

Conforme demonstrado por Nardelli [2018], a partir da assinatura de um MoU - Memorando de Entendimento – entre o Ministério do Comércio Internacional do Reino Unido e o então MDIC – Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços do Brasil, prevendo a troca de informações sobre as estratégias de cada país para disseminar a tecnologia BIM, a adoção deste processo disruptivo de realização de projetos e obras pelo setor público brasileiro ganhou um novo impulso.

De fato, além do engajamento decisivo do setor privado, como a adesão, por exemplo, da CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção [CBIC, 2016], o próprio setor público desenvolveu ações objetivas para estabelecer no país o marco regulatório necessário para concretização dessa proposta, como a edição, em 05/06/2017, do Decreto 14.473/17, criando o Comitê Estratégico de Implementação do BIM – CE-BIM, um grupo interministerial coordenado pelo então MDIC, com a participação, além de vários outros ministérios, também de consultores, especialistas e pesquisadores *ad hoc*. [SINAENCO, 2018]

Trabalhando intensamente, este Comitê foi capaz de aprofundar o tema viabilizando, em apenas um ano, a edição do Decreto 9.377 de 17/05/18, que instituiu a “*Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil – Estratégia BIM BR*”, tendo por objetivo “(...)promover um ambiente adequado ao investimento em Building Information Modelling - BIM e sua difusão no País(...)” e consagrando, neste sentido, nove objetivos específicos (citados mais adiante, na análise do novo decreto) para o estabelecimento de uma agenda para implementação do BIM no setor público brasileiro.

Partindo deles, o Comitê Gestor definiu uma agenda – assim chamada *Roadmap* - para os dez anos seguintes, estabelecendo quatro marcos temporais, 2018, 2021, 2024 e 2028, em cujos respectivos intervalos esperava-se alcançar resultados específicos, considerando-se oito níveis de abordagem: governança, infraestrutura tecnológica e inovação, arcabouço legal, regulamentação técnica, investimentos, capacitação, indução pelo governo federal e comunicação. Sendo o ano de 2021 escolhido como marco inicial formal para o início das contratações em BIM pelo setor público federal.

Desse modo, a *Estratégia BIM-BR* participou da transição para o novo governo federal, eleito em 2018, com uma proposta de trabalho bastante estruturada.

No entanto, ainda de acordo com Nardelli [2018], o pano de fundo deste avanço institucional, constituído pelo marco regulatório das contratações públicas no país, permaneceu o mesmo, referindo-se apenas ao modo tradicional de contratação de projetos e obras, sem uma nomenclatura e regras apropriadas ao processo BIM, tanto no que se refere à definição do objeto e respectivos entregáveis de uma licitação, quanto ao conceito de que as boas contratações são sempre pelo menor preço, em detrimento da qualidade da proposta técnica. Constituindo-se, desse modo, em barreiras institucionais para o avanço da agenda proposta pela *Estratégia BIM-BR*.

Como se verá a seguir, este quadro seria alterado ao longo do novo governo, todavia, sem eliminar de vez essas barreiras, quando não, criando obstáculos novos a serem transpostos.

Inicialmente, foi necessária a edição de um novo decreto, adequando os termos do Decreto 9.377/18 à nova realidade administrativa definida pelas alterações introduzidas pelo governo que se iniciava na estrutura administrativa federal, com a extinção e criação de Ministérios.

Na sequência, foi publicado outro decreto que se constituiu no marco legal que estabeleceu a nomenclatura e o *modus operandi* para o uso do BIM em serviços de engenharia e realização de obras de forma direta ou indireta pelos órgãos da administração pública federal.

E, finalmente, promoveu-se a reformulação do marco regulatório para a realização de licitações e contratações no âmbito das Administrações Públicas diretas, autárquicas e fundacionais da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios brasileiros, com a aprovação e promulgação da Lei 14.133/21, em substituição gradual às Leis 8.666/93 e 12.462/2011, que até aqui regiam estes procedimentos.

Nos tópicos seguintes esses novos marcos regulatórios são analisados e discute-se o potencial de seus termos no sentido de facilitar ou persistir na imposição de barreiras institucionais para a implementação do BIM no setor público brasileiro.

2. Decreto nº 9.983, de 22 de Agosto de 2019

Este decreto teve por finalidade, basicamente, atualizar, no contexto administrativo definido pelo novo governo, aquilo que o decreto 9.377 de 17/05/18 já havia feito, ao estabelecer a “*Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR*”.

É composto por apenas 16 artigos, ao longo dos quais reafirma os termos do decreto que o precedeu, inclusive os nove objetivos estabelecidos no Art 2.º do anterior, que são:

“(..)

- I – difundir o BIM e os seus benefícios;
- II – coordenar a estruturação do setor público para a adoção do BIM;
- III – criar condições favoráveis para o investimento, público e privado, em BIM;
- IV – estimular a capacitação em BIM;
- V – propor atos normativos que estabeleçam parâmetros para as compras e as contratações públicas com uso do BIM;
- VI – desenvolver normas técnicas, guias e protocolos específicos para adoção do BIM;
- VII – desenvolver a Plataforma e a Biblioteca Nacional BIM;

- VIII – estimular o desenvolvimento e a aplicação de novas tecnologias relacionadas ao BIM; e
- IX – incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM (...)” [BRASIL, 2019]

Da mesma forma, manteve a criação do Comitê Gestor (Art. 3º.) e suas respectivas funções (Arts. 4º. e 5º.) que são:

“(…)

- I – definir e gerenciar as ações necessárias para o alcance dos objetivos da Estratégia BIM BR;
- II – elaborar anualmente o seu plano de trabalho, que conterá cronograma e estabelecerá as ações prioritárias para o período;
- III – atuar para que os programas, os projetos e as iniciativas dos órgãos e das entidades públicas que contratam e executam obras públicas sejam coerentes com a Estratégia BIM BR;
- IV – promover o compartilhamento de informações e analisar o impacto das iniciativas setoriais relacionadas a BIM, com vistas à harmonização e à promoção de eficiência e sinergia entre as ações dos órgãos e das entidades públicas;
- V – acompanhar e avaliar periodicamente os resultados da Estratégia BIM BR e subsidiar as atividades de articulação e de monitoramento de programas de governo da Presidência da República, quando solicitado;
- VI – articular-se com instâncias similares de outros países e dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios; e
- VII – deliberar sobre a atualização e a revisão periódica da Estratégia BIM BR (...)” [BRASIL, 2019]

A inovação acontece no Art. 6º, onde a composição do Comitê Gestor é atualizada de acordo com a nova estrutura ministerial implantada pelo governo que se iniciava.

Do Art. 7º ao 14º estabelece a estrutura interna de gestão do Comitê, periodicidade (trimestral) das reuniões ordinárias e detalhes operacionais, mantendo aberta a possibilidade de participação de convidados internos e externos à administração pública, como pesquisadores, técnicos e representantes de entidades interessados no tema, com o objetivo de oferecer suas respectivas contribuições às atividades do Comitê, contudo, sem direito a voto.

Preserva, ainda, a instituição do Grupo Técnico da Estratégia BIM BR com a finalidade de assessorar as atividades do Comitê Gestor, neste caso composto por servidores públicos, civis ou militares, indicados pelos respectivos gestores dos órgãos que representam.

No Art. 15º, enfim, revoga o Decreto n.º 9.377, de 17 de maio de 2018, que o antecedeu.

3. Decreto 10.306 de 02/04/2020

Este decreto estabelece o uso do BIM em serviços de engenharia e realização de obras de forma direta ou indireta pelos órgãos da administração pública federal, de acordo com os parâmetros definidos pela “*Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – Estratégia BIM BR*”, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.

Incorpora o “*RoadMap*” estabelecido pelo Comitê Gestor, ainda sob a vigência do Decreto 9.377/18 e define toda a nomenclatura e procedimentos necessários para a utilização do BIM - Building Information Modelling nesse contexto.

Possui apenas onze artigos que, no entanto, alteraram profundamente o panorama da adoção do BIM pelo setor público brasileiro.

Os Art. 1.º e 2.º dedicam-se à definição do objeto (utilização do BIM na administração federal, implementado de forma gradual) e à abrangência de aplicação do Decreto (Ministérios da Defesa e Infraestrutura de forma direta e demais órgãos que tiverem interesse em aderir à agenda da *Estratégia BIM-BR*).

Desse modo, estes Ministérios, por meio das atividades realizadas pelo Exército, Marinha e Força Aérea Brasileira e pela Secretaria Nacional de Aviação Civil e pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, tornaram-se protagonistas diretos do esforço para adoção do BIM pelo setor público brasileiro, ainda que outros órgãos também possam aderir à iniciativa.

O Art. 3.º, com nove incisos e respectivas alíneas, dedica-se à definição de toda a nomenclatura necessária para a contratação em BIM.

Assim, nesse artigo define-se – e de uma forma sequencialmente confusa - o que é BIM (inciso II, consagrando a definição do Decreto 9.377/18), modelo BIM (inciso V), Ciclo de Vida de uma edificação (inciso III), uma “Construção Nova” (inciso IV), uma “Ampliação” (inciso I), uma “Reabilitação” (inciso VIII), uma “Reforma” (inciso IX) e uma “Obra de Arte Especial” (inciso VI).

Da mesma forma, no inciso VII, define o que é Projeto de Arquitetura e Engenharia, detalhando em suas alíneas os respectivos níveis de desenvolvimento, a saber:

- “(…)
- a) anteprojeto;
 - b) projeto básico;
 - c) projeto executivo; ou
 - d) outras etapas de projeto não definidas em lei (...)” [Brasil, 2020]

No Art. 4.º formaliza a adoção do *RoadMap* proposto pelo Comitê Gestor criado pelo Decreto 9377/18, estabelecendo nos incisos I, II e III, os marcos temporais das três fases previstas para a implementação do BIM, respectivamente, 2021, 2024 e 2028,

i.e., etapas sequenciais de quatro anos, durante as quais pretende-se aprofundar a complexidade e abrangência de usos do BIM.

Desse modo, na primeira fase, pretende-se usar o BIM para o desenvolvimento, no mínimo, de projetos de Arquitetura, Estrutura e Instalações Hidráulicas, Elétricas, Ventilação, Aquecimento e Ar-Condicionado em construções novas, ampliações ou reabilitações, consideradas de grande relevância para a disseminação do BIM, tendo como foco a detecção de interferências e compatibilização dos projetos entre si, a extração de quantitativos e a geração da respectiva documentação técnica.

Na segunda fase, além dos usos já previstos na anterior, pretende-se utilizar o modelo para orçamentação, planejamento e controle da obra e produção do “as built” e, na terceira e última fase, além dos usos já previstos nas fases anteriores, pretende-se o gerenciamento e a manutenção do empreendimento após a sua construção.

O Art. 5.º estabelece que tanto na execução direta de projetos e obras, i.e., quando a administração pública realiza o serviço de *per se*, ou na execução indireta – quando o trabalho é contratado de empresas privadas –, o BIM será usado em mais de uma etapa do Ciclo de Vida da construção e, neste sentido, no parágrafo 1.º do inciso II condiciona a transferência de recursos financeiros oriundos do Orçamento Fiscal e da Seguridade Social da União para a contratação de tais serviços, ao uso do BIM, deixando claro o caráter mandatório da estratégia de migração proposta pelo Decreto.

O Art. 6.º trata das obrigações dos contratados, regulando ao longo de nove incisos desde os usos BIM, conforme previstos no Art. 4.º., até as condições de habilitação dos interessados em participar das licitações, passando pelas condições de disponibilização dos arquivos dos modelos e documentação técnica, inovando, contrariamente ao disposto no inciso IX do Art. 2.º. do Decreto 9.983/19 ao estabelecer a entrega do modelo BIM também em formato proprietário conforme a redação do inciso II do Art. 6.º

“(…)

II – disponibilização dos arquivos eletrônicos, que deverão conter os modelos e os documentos técnicos que compõem o projeto de arquitetura e engenharia, em formato aberto (não proprietário) e em outro formato exigido pela contratante no edital de licitação (...)” (grifamos) [Brasil, 2019]

Exigência que se agrava quando, adiante, o mesmo Artigo impõe aos contratados a inteira responsabilidade pelo treinamento e capacitação dos profissionais habilitados para compor a equipe que desenvolverá o escopo da licitação, **sem qualquer ônus adicional para o órgão licitante**, i.e., cabe ao contratado simplesmente adequar-se à definição do aplicativo proprietário estabelecido, seja lá como for, pelo contratante.

O Art. 7.º estabelece a possibilidade de a administração pública federal contratar a adaptação ao BIM de projetos já realizados anteriormente de forma tradicional e o Art. 8.º define como responsabilidade do contratante o estabelecimento do nível de detalhamento e de informação dos modelos BIM, considerando as melhores práticas profissionais e os objetivos do serviço licitado.

O Art. 9.º estabelece que, na hipótese dos projetos de Arquitetura e Engenharia não terem os requisitos mínimos exigidos por lei federal, deverão ser desenvolvidos pelos contratados obedecendo os parâmetros mínimos estabelecidos no Decreto, as melhores práticas para execução de fluxos de trabalho utilizando BIM e as Normas Técnicas.

O Art. 10.º refere-se às disposições transitórias dando um prazo de noventa dias para que os órgãos e entidades mencionadas no Art. 2.º apresentem ato com a “(...) *definição dos empreendimentos, dos programas e das iniciativas de média e grande relevância para a disseminação do BIM(...)*”, contendo as suas respectivas especificações e as demais características necessárias à sua aplicação.

E, finalmente, o Art. 11.º estabelece o dia 02 de abril de 2020 como a data a partir da qual iniciou-se a vigência do Decreto 10.306/20.

4. Lei nº 14.133, de 1º de Abril de 2021

Esta Lei teve como objetivo estabelecer um novo marco legal para a realização de licitações e contratações no âmbito das Administrações Públicas diretas, autárquicas e fundacionais da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios brasileiros, em substituição paulatina, num prazo de dois anos, das leis 8.666/1993 e 12.462/2011, que até aqui regiam estes procedimentos.

Tem 193 Artigos, que definem a nomenclatura, estrutura e procedimentos necessários para a realização dos processos licitatórios e de contratação.

Objetivamente, para o foco deste trabalho, o Art. 19.º é o mais relevante, uma vez que se refere às contratações de obras e serviços, referindo-se diretamente ao BIM no parágrafo 3º. do inciso V, nos seguintes termos:

“(...)

V – Promover a adoção gradativa de tecnologias e processos integrados que permitam a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de obras e serviços de engenharia (...)

(...) § 3º Nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, sempre que adequada ao objeto da licitação, será preferencialmente adotada a Modelagem da Informação da Construção (Building Information Modelling – BIM) ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la (...) [BRASIL, 2021]

No entanto, cabe mencionar que esta referência não vai além disso, desconsiderando completamente que a “*adoção gradativa de tecnologias e processos integrados*” constitui-se, na realidade, num passo disruptivo em relação aos processos tradicionais de realização de serviços de projetos e obras que, por certo, demandarão definições mais detalhadas em relação, por exemplo, aos critérios de contratação, estrutura e

gestão dos contratos, tendo em vista as particularidades e respectivas competências específicas do processo BIM.

Neste sentido, vale observar que as definições estabelecidas no Art. 6º., referentes à contratação de serviços e obras, tratam o tema exclusivamente sob a ótica do processo tradicional de realização dessas atividades.

Assim, por meio dos incisos XX (estudo preliminar), XXIV (anteprojeto), XXV (projeto básico) e XXVI (projeto executivo) deste Artigo, a Lei mantém a compreensão de um processo linear e sequencial evolutivo como método para a realização dos serviços de projetos, que correspondem ao processo tradicional – sem mencionar, por exemplo, o processo gradual de construção do modelo BIM e respectivos critérios de medição de cada etapa – reafirmando o pressuposto de um sistema de licitação e contratação prévia dos projetos para, em seguida, licitar e contratar a obra – o DBB, Design Bid Building, descrito por Eastman et al. [2008].

Da mesma forma, mais adiante, nos incisos XXVIII (empreitada por preço unitário), XXIX (empreitada por preço global) e XXX (empreitada integral), mantém as modalidades de contratação tradicionais que, embora admitam a possibilidade de contratação integral de projetos e obras seguem, por outro lado, admitindo a contratação fragmentada da obra ou serviço “*por preço certo de unidades determinadas*”, ao mesmo tempo em que, com referência à empreitada integral, não avança no entendimento da relação entre projetistas e construtores no âmbito de um processo BIM, à luz do conceito de IPD – Integrated Project Deliver. [AIA, 2007]

Além disso, no inciso XXXVIII, estabelece a concorrência como modalidade de licitação para a contratação de bens e serviços especiais e de obras e serviços comuns de engenharia, adotando como critério de julgamento as seguintes alternativas:

“(…)

- a) menor preço;
- b) melhor técnica ou conteúdo artístico;
- c) técnica e preço;
- d) maior retorno económico;
- e) maior desconto (…)” (grifamos) [BRASIL, 2021]

E, embora no inciso XLI (pregão), restrinja essa modalidade à aquisição de bens móveis e imóveis e serviços comuns, de natureza não intelectual avançando, portanto, em relação à legislação anterior, no inciso XLII cria o “*diálogo competitivo*”, modalidade de licitação para contratação de obras, serviços e compras, na qual os licitantes previamente selecionados “*mediante critérios objetivos*”, são convidados a apresentar propostas alternativas abrindo, desse modo, a possibilidade de um leilão reverso de preços, desde sempre prejudicial à garantia da qualidade e exequibilidade das propostas técnicas, em particular no processo BIM, em que o entrosamento entre os componentes das equipes é fundamental.

5. Discussão

Não resta dúvida que a existência de um marco legal no âmbito federal (Decreto 10.306/20) referindo-se especificamente ao processo de licitação e contratação em BIM pelo setor público e a aprovação e promulgação de uma nova lei (14.133/21) revisando os marcos regulatórios até então existentes para a licitação e contratação de bens e serviços em geral e de projetos e obras, em particular, representa um enorme avanço para o setor de AEC – Arquitetura, Engenharia e Construção no Brasil, assim como reafirma a determinação do atual governo em aperfeiçoar estes processos no país.

De fato, ter inscrito na nova lei de licitações e contratações públicas um Artigo especificamente dedicado ao BIM e, ao mesmo tempo, um decreto definindo a nomenclatura e regras de licitação e contratação usando este processo, faz toda a diferença para a evolução e disseminação dessa prática em todo o país, contribuindo para inibir resistências e respaldar ações inovadoras no setor público brasileiro.

Todavia, nem por isso, determinadas contradições e eventuais omissões devem ser ignoradas ou desprezadas, porque têm o potencial de constituírem, por si mesmas, barreiras institucionais para a adoção do BIM no Brasil.

De pronto, salta aos olhos, que o Decreto 10.306/20, que define a nomenclatura a ser adotada para as contratações em BIM tenha, na realidade, consagrado em seu texto toda a nomenclatura do processo tradicional de realização de projetos e obras, dividindo a prestação do serviço de projetos nas mesmas etapas progressivas tradicionalmente adotadas no desenvolvimento desse trabalho, ainda que se refira ao modelo BIM, como se este fosse apenas um instrumento de representação de ideias, que tem por finalidade a emissão de entregáveis bidimensionais, deixando de lado o seu potencial de simulação de desempenho do objeto contratado.

Desse modo, o Decreto nem sequer menciona a possibilidade de entrosamento entre as equipes de projeto e obras, num eventual processo de contratação integrada. Tudo se passa como se seguissem sendo dois trabalhos estanques entre si, mesmo que desenvolvidos pelo mesmo contratado.

Neste sentido, por exemplo, o Plano de Execução BIM – PEB, nem sequer é mencionado como documento fundamental para constar do Termo de Referência de uma licitação para contratação em BIM.

Mas, certamente, a barreira institucional mais importante, criada pelo atual marco regulatório para a contratação em BIM, está quase imperceptível, num detalhe do texto do inciso II do Art. 6.º, quando este, em contradição ao que é explícito no nono objetivo da *Estratégia BIM-BR*, admite a exigência de entrega do modelo BIM desenvolvido num aplicativo proprietário, imposto pelo contratante, transferindo todo o ônus e responsabilidade pela capacitação da equipe de projetos para o contratado, sem que se tenha, de fato, qualquer estudo sobre a adequação e excelência dos diversos aplicativos disponíveis no mercado relativa aos trabalhos a serem contratados.

Ao admitir esta exigência, a *Estratégia BIM-BR* expõe toda a administração pública às práticas e conveniências exclusivas do mercado e, ao mesmo tempo, limita a parti-

cipação de empresas nos processos licitatórios àquelas capazes de bancar os custos de desenvolvedores de aplicativos específicos, dificultando a disseminação do BIM no setor de AEC.

6. Considerações finais

Ainda de acordo com Nardelli [2018], a adoção do BIM no Brasil seguiu um processo *bottom-up*, i.e., partiu do interesse das empresas privadas, em particular aquelas ligadas ao mercado imobiliário, quando em meados dos anos 2010, buscaram uma ferramenta para incrementar a gestão de seus negócios num processo de crescente complexidade devido ao rápido e intenso processo de expansão naquele momento, disseminado por todo o extenso território nacional.

Desse modo, o processo não contou em seu início com um marco regulatório oficial, o que, de fato, só passou a ocorrer a partir da criação da CEE-134 da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, em 2009, encarregada de desenvolver as Normas BIM no Brasil, cujos trabalhos, todavia, não estão inteiramente concluídos até hoje.

Esse intenso processo de implementação do BIM no setor imobiliário, entretanto, sofreu uma brusca interrupção devido à crise econômica que paralisou o setor a partir de 2014.

Neste sentido, a iniciativa de assinatura, em 2016, do MoU – entre Brasil e Reino Unido para a troca de informações sobre o BIM, foi um verdadeiro alento que permitiu a retomada do processo de sua adoção no país, agora sob a dinâmica do setor público que, como vimos, tem atuado de forma efetiva e contínua, mesmo diante de mudanças de governo.

O desafio, no entanto, é que mudanças no setor público têm que ser institucionais e, normalmente, negociadas entre os diversos atores envolvidos e o pano de fundo sobre o qual elas acontecem é constituído por marcos regulatórios muitas vezes completamente defasados no tempo.

Neste caso, evidencia-se que as características específicas do processo BIM ainda não estão claras para os agentes públicos, em particular o seu papel na gestão dos contratos, na verificação de consistência dos PEBs - Planos de Execução e modelos BIM, na relevância dos Ambientes Comuns de Dados – CDE utilizados para o desenvolvimento dos trabalhos contratados e, sobretudo, na preservação da independência dos contratantes em relação aos desenvolvedores de aplicativos.

Conceitos como OpenBIM, e o uso de padrões universais como o IFC, desenvolvido pela buildingSmart ainda estão muito longe da compreensão efetiva dos contratantes públicos brasileiros. Certamente, um desafio a ser enfrentado como próximos passos neste longo processo de adoção do BIM pelo setor público do Brasil.

Desse modo, é de se reconhecer que, em poucos anos, o Brasil deu um salto institucional muito importante para a adoção do BIM nas contratações de projetos e obras pelo setor público. No entanto, por outro lado, já se vê que há muito ainda a percorrer, no sentido de aprimorar o que foi conquistado até agora e ampliar a compreensão

dos agentes envolvidos em relação às particularidades desta prática disruptiva de execução de projetos e obras.

E este é o objetivo deste artigo: explicitar pontos que, ao contrário das boas intenções declaradas nos marcos regulatórios visando a incentivar a adoção do BIM, na realidade, constituem-se em verdadeiras barreiras institucionais à disseminação da *Estratégia BIM-BR*.

Referências

- AIA, 2007. Integrated Project Delivery: A guide – American Institute of Architects California Council. May 15, 2007. Disponível em: https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD_Guide_2007.pdf - Acesso em 03/01/2022.
- BRASIL. Decreto Nº 10.306 , de 02 de abril de 2020. Estabelece a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling – Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10306.htm – Acesso: 03/01/2022.
- BRASIL. Decreto Nº 9.983 , de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/decreto/d9983.htm - Acesso 03/01/2022.
- BRASIL. Lei Nº 14.133 , de 1º. de abril de 2021. Dispõe sobre Licitações e Contratos Administrativos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm – Acesso 03/01/2022.
- C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors. Hoboken, N. J.: Wiley, 2008.
- CBIC – Câmara Brasileira da Indústria da Construção, 2018. “Impacto econômico e social da paralisação das obras públicas.” CBIC – *Câmara Brasileira da Indústria da Construção/Inter.B* – Consultoria Internacional de Negócios, 2018, 76 p.
- Nardelli, Eduardo Sampaio, “BIM and Public Bidding in Brazil”, *SIGraDi 2018 [Proceedings of the 22nd Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - ISSN: 2318-6968]* Brazil, São Carlos 7-9 November 2018, pp. 1212-1219.
- SINAENCO, 2018 – “BIM, uma solução e novos desafios”. Disponível em <http://sinaenco.com.br/noticias/bim-uma-solucao-e-novos-desafios/> – Acesso em 03/01/2022

Parte IX – Tecnologias de Levantamento

Metodologia digital para a realização de levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios existentes com drones – Caso de estudo

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.34>

**Diogo Filipe Ramos Parracho¹,
João Poças Martins², Eva Barreira³**

¹ Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP)
– Departamento de Engenharia Civil (DEC), Porto, Portugal (0000-0003-0413-6178)

² CONSTRUCT-GEQUALTEC/FEUP-DEC, Porto, Portugal (0000-0001-9878-3792)

³ CONSTRUCT-LFC/FEUP-DEC, Porto, Portugal (0000-0002-1343-5578)

Resumo

A importância crescente da avaliação do desempenho energético de edifícios justifica o recurso a modelos BIM e BEM (*Building Energy Modelling*), onde se integra toda a informação necessária à análise e simulação. Para uma análise adequada dum edifício existente (“*as-is*”) pode-se recolher dados relativos à sua geometria 3D e medir as condições térmicas da sua envolvente.

O uso de drones para captar dados de edifícios tem-se tornado popular e resulta em vantagens relevantes. A evolução e miniaturização dos sensores infravermelhos (IV) permitiu a sua incorporação em drones, podendo assim ser utilizados para estudar diferentes comportamentos térmicos em edifícios.

Apesar de existirem metodologias focadas na fusão de imagens RGB e IV, num processo que pode inclusivamente ser incorporado em modelos BIM, estas debruçam-se essencialmente sobre métodos que não usufruem das vantagens dos drones. Este trabalho pretende apresentar as conclusões obtidas a partir dum caso de estudo com base na proposta adotada para responder ao desafio de integrar digitalmente em BIM os dados adquiridos nos levantamentos fotogramétricos e termográficos dum edifício, utilizando unicamente um drone. A partir dos dados fotogramétricos também se pretende explorar as possibilidades de se realizar uma análise energética quantitativa da envolvente de um edifício.

1. Introdução

O interesse em estudar a performance energética de edifícios tem aumentado e, como tal, torna-se benéfico a integração e gestão das suas informações em modelos BIM e BEM [1]. Para analisar um edifício “*as-is*” deve-se levantar dados relativos à sua geometria 3D e quanto às condições térmicas da sua envolvente, de forma a efetuar análises energéticas posteriormente [2]. Com o aumento da utilização das novas tecnologias no estudo de edifícios, o uso de UAS (*Unmanned Aircraft Systems* – Aeronaves Não Tripuladas)/drones para captar dados dos mesmos tem-se tornado popular [2], trazendo vantagens quanto ao reduzido esforço humano, baixo custo e acesso a locais outrora difíceis de aceder [3], [4]. Além disso, com a evolução dos sensores IV para se tornarem mais pequenos, tornou-se possível a sua integração em UAS, permitindo assim a sua utilização para estudar comportamentos térmicos em edifícios [4].

As metodologias existentes de fusão de imagens RGB e IV que podem ser incorporadas em modelos BIM não aproveitam as vantagens da utilização de drones e estão mais focadas na utilização de outro tipo de equipamentos, como avaliado em [5]. Como tal, foi desenvolvida uma metodologia capaz de responder à lacuna identificada no estado de arte, onde não foi encontrada qualquer proposta que interligasse o uso exclusivo de drones para levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios com o BIM e BEM [5], [6]. A figura seguinte ilustra a metodologia proposta:

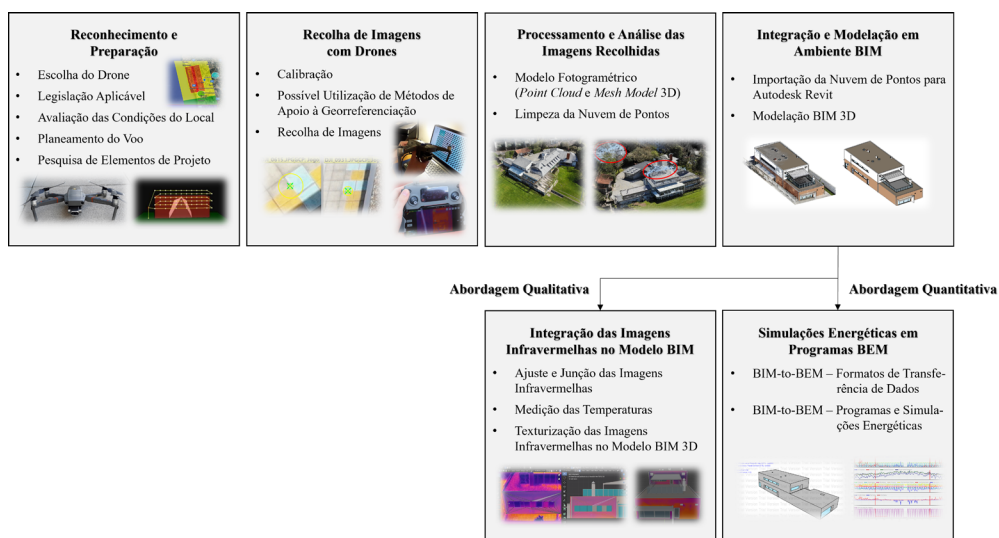


Figura 1
Metodologia para a realização de levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios unicamente com drones [6].

2. Caso de Estudo

Esta secção descreve a aplicação da metodologia proposta a um caso de estudo, abordando os passos da mesma à exceção da medição de temperaturas no modelo que se estudará futuramente. O edifício em análise trata-se dum infantário de dois pisos situado na cidade da Maia, Portugal (Figura 2). Os procedimentos seguintes estão descritos em detalhe em [5].



Figura 2
Edifício selecionado
como caso de estudo [7]

2.1. Reconhecimento e Preparação

Escolha do Drone. O drone utilizado para este trabalho foi um DJI Mavic 2 Enterprise Dual. Este drone de 900g está equipado com uma câmara Mavic 2 Enterprise Dupla: uma câmara visual de 12 MP, além duma IV com sensor FLIR Lepton 160-120 px [8]. Este foi escolhido por ser o UAS disponível no Departamento de Engenharia Civil da FEUP à data do trabalho, no entanto, o sensor de 160-120 px não é o ideal para trabalhos que envolvam a termografia aérea, sendo aconselhados aqueles que tenham uma câmara IV de, pelo menos, 640-480 px [9].

Legislação Aplicável. Em termos regulamentares foi necessário atuar de acordo com os regulamentos europeus em vigor ([10], [11]), além dos nacionais estipulados pela ANAC (zonas geográficas, alturas máximas de voo, entre outros [12]) e AAN (para captação de imagens [13]), além dos respetivos registos do operador (vulgo “dono”), piloto remoto e drone.

Avaliação das Condições do Local. O local a levantar apresentava cabos de alta tensão nas suas proximidades pelo que foi necessário avaliar se influenciava no funcionamento correto do UAS, algo que não se verificou. A existência de muros de cerca de 2,50 metros de altura a 5 metros das fachadas laterais do edifício (Norte e Sul) constaram como obstáculos ao voo, sendo que também provocavam sombreamento nas fachadas, pelo que esta situação teve de entrar em consideração para o planeamento do voo. Além dos muros, existiam toldos fixos com cortinas de plástico nas fachadas Este e Norte, algo que inviabilizou o levantamento termográfico dessas zonas (Figura 5). Segundo Lagüela et al. [14], o ideal seria procurar adquirir a informação termográfica por meio de outras posições ou ângulos, contudo, tal não foi possível devido ao pouco espaço disponível para o voo seguro.

Planeamento do Voo. Para planeamento automático do levantamento, foi utilizada a aplicação Drone Harmony Mobile, que permite a criação de vários planos de voo, controlo das percentagens de sobreposição de imagem e ajuste do ângulo da câmara do drone, entre outros. Planeou-se o voo com: 15 metros de altura (edifício com 10 metros); distância à fachada de 10 metros (inicialmente considerou-se apenas de 5 metros, mas os resultados não foram satisfatórios, como comprova a Figura 5); inspeção horizontal para as fachadas e em grelha para a cobertura; câmara do drone com 45° para as fachadas e 30° para a cobertura; e sobreposição de imagens de 90%, tanto lateral como frontal.

Pesquisa de Elementos de Projeto. A recolha de elementos de projeto auxilia a modelação geométrica, mas importa essencialmente para a correta caracterização das camadas que constituem os elementos construtivos [15], fator fundamental para se proceder à análise energética do edifício [16]. Assim, foram consultadas a memória descritiva e as telas finais do edifício em questão.

2.2. Recolha de Imagens com Drones

Calibração. Para uma operação adequada e segura, houve a necessidade de se proceder à calibração do drone, de acordo com o manual de instruções: [8]. Para a termografia IV garantiu-se que a escala de temperaturas se mantivesse inalterada, entre 10°C e 40°C, para evitar mudança das cores e da legenda térmica [16]. A temperatura máxima e mínima medidas encontravam-se sempre dentro da escala selecionada, tendo-se utilizado a função MSX para otimizar a qualidade das imagens IV [17].

Possível Utilização de Métodos de Apoio à Georreferenciação. Como o objetivo deste trabalho passava pela exportação do modelo fotogramétrico para um programa de modelação BIM 3D, importava essencialmente a precisão relativa [18], podendo utilizar-se apenas *tie points* de relevância da nuvem de pontos, para melhorar a qualidade do modelo fotogramétrico [19], [20], e *checkpoints*, para medir a precisão [21], abdicando-se assim de pontos de controlo terrestres (GCPs) [22]. Foram então utilizados 6 *manual tie points* e 6 *checkpoints*, aproveitando marcações de jogos infantis e vértices de portas, janelas e cobertura, obtendo-se um erro bastante reduzido e, conseqüentemente, garantindo-se bastante precisão.

Recolha de Imagens. Após os passos anteriores pode-se iniciar o levantamento fotogramétrico e termográfico do edifício. Por questões de privacidade, apenas foi possível operar aos fins-de-semana. Relembra-se a necessidade de ter todos os documentos necessários para operar legalmente o drone.

2.3. Processamento e Análise das Imagens Recolhidas

Modelo Fotogramétrico. Com base nas imagens georreferenciadas obtidas aquando do levantamento, procedeu-se à reconstrução 3D numa nuvem de pontos [20]. Para isso utilizaram-se os programas Agisoft Metashape e o Pix4Dmapper, que são capazes de processar os dados inseridos e reconstruir objetos 3D a partir de imagens [15], [23].

Limpeza da Nuvem de Pontos. Pontos das imediações do edifício em estudo ou de fundo (outros edifícios, árvores, etc.) aparecem na nuvem de pontos obtida, pois estes também aparecem nas imagens captadas. Estes pontos desnecessários devem ser removidos [15], [20].

2.4. Integração e Modelação em Ambiente BIM

Importação da Nuvem de Pontos para Autodesk Revit. Para importar a nuvem de pontos para o Revit, exportaram-se primeiramente os pontos no formato .LAS, que é um formato capaz de exportar nuvens de pontos 3D criadas e integrá-las em ambiente BIM [23]. Contudo, como o Revit só consegue importar nuvens de pontos nos formatos .rcp e .rcs, fez-se a conversão do formato .LAS para um destes no Autodesk ReCap e só depois se procedeu à devida importação [24].

Modelação BIM 3D. Após a importação da nuvem de pontos no formato .rcp, houve a necessidade de ajustar a rotação da nuvem e acrescentar os níveis dos pisos do edifício. Posteriormente começou-se a modelar com o auxílio da nuvem de pontos e com os elementos de projeto recolhidos.

2.5. Integração das Imagens Infravermelhas no Modelo BIM (Abordagem Qualitativa)

Ajuste e Junção das Imagens Infravermelhas. Como não foi possível explorar a nuvem de pontos IV devido à sua fraca qualidade (consequente da baixa resolução da câmara IV do drone), houve a necessidade de ajustar as imagens e uni-las no Adobe Photoshop. As imagens captadas a 5 metros da fachada não foram convenientemente unidas no programa anteriormente referido, pelo facto dos métodos de união automáticos obrigarem a que a câmara esteja fixa na mesma posição para todas as imagens [5]. Recorrer a um processo manual, apesar de possível, não seria adequado, pois poderia causar erros grosseiros na sobreposição das diferentes imagens captadas [25]. Assim sendo, repetiu-se o levantamento a 10 metros das fachadas, obtendo as novas imagens IV que foram utilizadas para a texturização no modelo BIM, recorrendo ao *software open-source* Blender.

Texturização das Imagens Infravermelhas no Modelo BIM 3D. Para este processo de texturização foi utilizado o Blender, em alternativa a outros programas referidos na literatura como o Autodesk 3ds Max, o PhotoModeler e o Geomagic Studio [19]. A descrição detalhada do procedimento implementado pode ser consultada em [5]. Deste modo, torna-se possível visualizar diretamente no modelo BIM fenómenos sensíveis à termografia IV.

A Figura 3 resume os passos efetuados até se concluir a abordagem qualitativa:

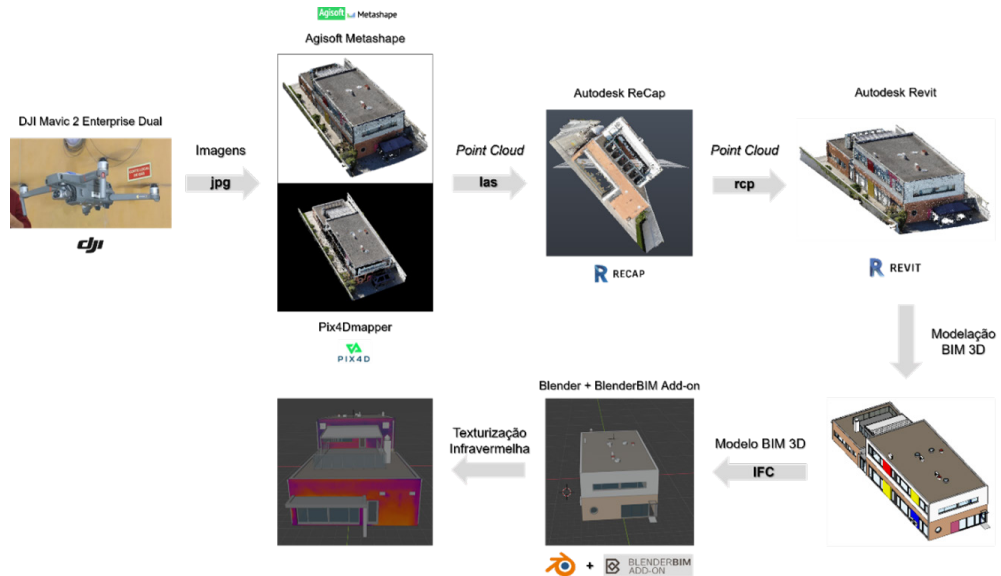


Figura 3
Resumo da metodologia adotada – abordagem qualitativa.

2.6. Simulações Energéticas em Programas BEM (Abordagem Quantitativa)

BIM-to-BEM – Formatos de Transferência de Dados. Os dois formatos mais utilizados para processos BIM-to-BEM são o gbXML e o IFC [1], [26]. O gbXML, que é considerado como tendo uma performance superior [1], [27], foi o utilizado neste trabalho.

Para facilitar as simulações energéticas simplificou-se a geometria do edifício [27]–[29] para um LOD 200-300 [30], evitando-se colisões entre elementos, que podem originar aberturas no modelo da simulação [28].

Foram criados “*Spaces*” no Revit que abrangiam todo o volume do modelo – um processo fundamental para as simulações energéticas – [26], [28], [29], [31], para serem atribuídas a estes espaços propriedades térmicas necessárias à simulação [28]. Estes servem para a criação do modelo analítico de energia do edifício no Revit [26], [31], sendo que se houverem falhas (na geometria ou nos espaços) o modelo poderá eventualmente nem conseguir ser exportado [26]. Foram ainda criados “*Rooms*” no Revit, antes de iniciar o processo de conversão para gbXML, pois a estes são vinculadas informações úteis à simulação, como é o caso da ocupação do edifício [29], [31].

BIM-to-BEM – Programas e Simulações Energéticas. Neste caso de estudo foi utilizado o DesignBuilder como *software* BEM para a abordagem quantitativa. É possível exportar o ficheiro gbXML do Revit para o DesignBuilder com a geometria e posteriormente inserir as propriedades necessárias para evitar problemas de interoperabilidade entre os programas [31] ou através dum *plug-in* entre ambos [27], [29]. Neste caso, foi utilizada a primeira opção.

Para a construção dum modelo BEM são necessárias informações quanto à geometria do edifício, propriedades dos materiais, sistemas AVAC, dados climáticos do local e dados da operação do edifício (horários, ocupação, etc.) [28], [32], [33]. A geometria

é tida como a base dos modelos BEM, pois as propriedades físicas dos edifícios estão interligadas com esta, enquanto que as informações dos sistemas, operação e clima são inseridas manualmente e editadas no modelo [33]. Deste modo consegue-se entender a utilidade e importância dos dados fotogramétricos do edifício para esta abordagem.

A Figura 4 resume os passos efetuados que conduziram à abordagem quantitativa:

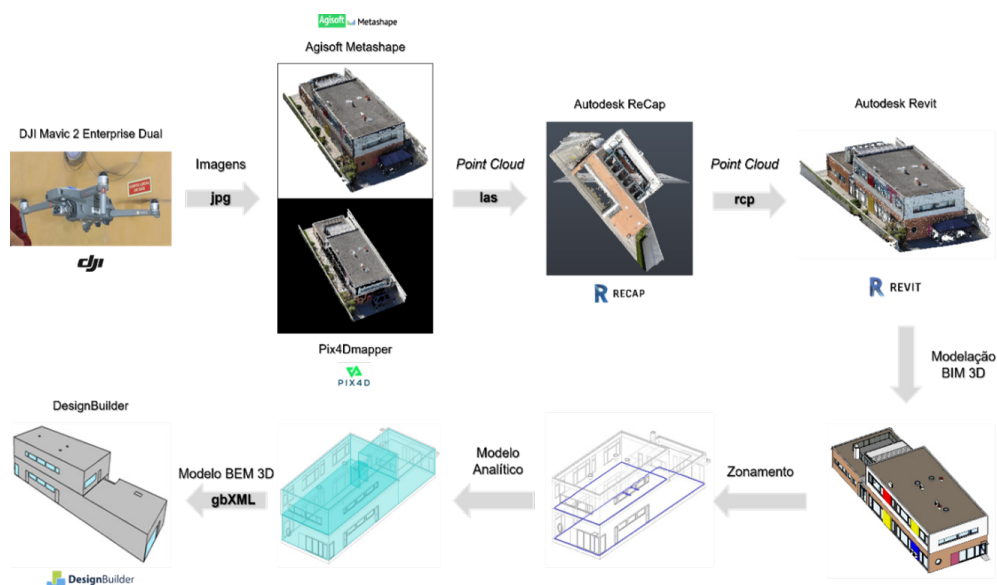


Figura 4
Resumo da metodologia adotada – abordagem quantitativa.

3. Resultados

Nesta secção apresentam-se alguns dos resultados preliminares do levantamento fotogramétrico e termográfico do edifício onde funciona um infantário, localizado na Maia.

Na Figura 5 estão resumidas as principais conclusões retiradas do caso de estudo [5], onde se destaca particularmente o modelo texturizado obtido através da abordagem qualitativa, que pode ser utilizado para avaliar diretamente no modelo fenómenos detetáveis com a termografia IV, e a validação da abordagem quantitativa para a envolvente de um edifício.

Através da abordagem qualitativa torna-se possível identificar visualmente a localização de possíveis defeitos que possam existir no edifício – como fugas de ar e perdas de calor –, tornando-se útil para identificar locais a reabilitar [14] e, por conseguinte, salvaguardando o desempenho energético do edifício. Com um drone capaz de medir corretamente as temperaturas, poderá ser interessante interligar esta abordagem com a quantitativa, até aqui independentes na sua fase final. A abordagem quantitativa – que não usufrui dos dados IV – utiliza a geometria adquirida durante o levantamento com o drone e as propriedades térmicas introduzidas no modelo BIM, juntamente com os dados introduzidos diretamente no DesignBuilder, para efetuar

uma simulação energética. Contudo, torna-se numa análise incompleta se o objetivo passar por uma análise global e não apenas da envolvente do edifício, por não ter elementos do interior do edifício que permitam a divisão de espaços (“*Spaces*”) por ambientes (“*Rooms*”) [34].



Figura 5
Conclusões possíveis de retirar do caso de estudo.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste artigo foi abordada a metodologia criada que responde à lacuna identificada no estado de arte, onde não foi encontrada qualquer proposta que interligasse o uso exclusivo de drones para levantamentos fotogramétricos e termográficos de edifícios com o BIM e BEM. A metodologia foi aplicada a um caso de estudo na cidade da Maia. Esta proposta pretende aproveitar as vantagens dos UAS quanto ao reduzido esforço humano, baixo custo e acesso a locais outrora difíceis de aceder [3], [4], algo que efetivamente se verificou pois, em comparação com meios terrestres (e.g., *laser scanner*), não houve necessidade de mudar a posição do equipamento conforme se ia efetuando os levantamentos e pôde-se adquirir facilmente dados de posições difíceis de aceder (e.g., cobertura), além de ser uma solução mais barata.

Apesar de não ser alvo de análise neste trabalho, o caso de estudo permitiu sublinhar a importância de selecionar devidamente o equipamento para realizar levantamentos termográficos. Com efeito, o drone adotado não apresenta medições corretas (problema da temperatura aparente [16]), nem armazena a informação térmica necessária

para fases pós-voos [17], pelo que quando se proceder ao estudo das temperaturas no modelo, o drone utilizado para este caso de estudo não poderá ser usado.

A metodologia em análise foi validada pelo caso de estudo, no entanto, a abordagem quantitativa somente com drones torna-se incompleta (apesar de válida para a envolvente) se não existirem elementos do interior do edifício. Pode ser interessante expandir a metodologia captando informação do exterior com um UAS e do interior por meios terrestres. Para fins qualitativos, o uso único de drones é suficiente para os trabalhos a realizar.

Como não foi possível explorar a nuvem IV neste trabalho devido à baixa resolução da respetiva câmara, posteriormente poder-se-á explorar a metodologia proposta, aproveitando essa nuvem de pontos, desde que seja obtida através dum drone com qualidade de imagem IV superior.

Futuramente poder-se-á explorar a possibilidade e aplicabilidade de fundir a abordagem qualitativa à quantitativa, ao interligar os dados IV com as simulações energéticas.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Direção do infantário Monfortinhos de Real pela oportunidade de utilizar o espaço como caso de estudo deste trabalho, além de facultar os elementos de projeto do edifício úteis ao mesmo.

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

- [1] H. Gao, C. Koch, and Y. Wu, “Building information modelling based building energy modelling: A review”, *Applied Energy*, vol. 238, pp. 320-343, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.032>.
- [2] Y. Hou, R. Volk, M. Chen, and L. Soibelman, “Fusing tie points’ RGB and thermal information for mapping large areas based on aerial images: A study of fusion performance under different flight configurations and experimental conditions”, *Automation in Construction*, vol. 124, p. 103554, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103554>.
- [3] E. Karachaliou, E. Georgiou, D. Psaltis, and E. Stylianidis, “UAV for Mapping Historic Buildings: from 3D Modelling to BIM”, *ISPRS – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 42–2, no. W9, pp. 397-402, 2019, doi: [10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019](https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-397-2019).

- [4] T. Rakha and A. Gorodetsky, “Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: Towards automated building inspection procedures using drones”, *Automation in Construction*, vol. 93, pp. 252-264, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>.
- [5] D. F. R. Parracho, “Processos Digitais para a Realização de Levantamentos Fotogramétricos e Termográficos com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT)”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.
- [6] D. F. R. Parracho, J. Poças Martins, and E. Barreira, “Proposal of a Methodology for Photogrammetric and Thermographic Surveys of Existing Buildings with Drones”, in *3rd Building and Management International Conference*, pp. 54-57, Madrid, Spain, 2021.
- [7] Monfortinhos de Real, “Monfortinhos de Real – Infantário Maia. <http://monfortinhosdereal.com/> (accessed Jan. 11, 2022).
- [8] DJI, “DJI Mavic 2 Enterprise Series User Manual v1.8”. p. 69, Apr. 2021.
- [9] T. Rakha, A. Liberty, A. Gorodetsky, B. Kakillioglu, and S. Velipasalar, “Heat Mapping Drones: An Autonomous Computer-Vision-Based Procedure for Building Envelope Inspection Using Unmanned Aerial Systems (UAS)”, *Technology|Architecture + Design*, vol. 2, pp. 30-44, 2018, doi: 10.1080/24751448.2018.1420963.
- [10] The European Commission, “Commission Delegated Regulation (EU) 2019/945 – of 12 March 2019 – on unmanned aircraft systems and on third-country operators of unmanned aircraft systems”, *Official Journal of the European Union*, vol. 62, pp. L 152/1-L 152/40, Jun. 2019.
- [11] The European Commission, “Commission Implementing Regulation (EU) 2019/947 – of 24 May 2019 – on the rules and procedures for the operation of unmanned aircraft”, *Official Journal of the European Union*, vol. 62, pp. L 152/45-L 152/71, Jun. 2019.
- [12] ANAC, “Legislação e Regulamentação Específica”, Oct. 27, 2021. https://www.anac.pt/vPT/Generico/drones/legislacao_regulamentacao_uas/Paginas/LegislacaoRegulamentacaoEspecifica.aspx (accessed Dec. 31, 2021).
- [13] AAN, “e-Autoridade Aeronáutica Nacional – Guia Rápido para Operadores,” p. 10, 2019.
- [14] S. Lagüela, L. Díaz-Vilariño, J. Armesto, and P. Arias, “Thermographic 3D models as the foundation for Building Information Models”, in *11th International Conference on Quantitative InfraRed Thermography*, Naples, Italy, 2012, doi: 10.21611/qirt.2012.180.

- [15] A. Shibasaki, “Inspeção da Torre do Monte da Virgem com o Auxílio de Veículo Aéreo Não Tripulado”, Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, Portugal, 2019.
- [16] W. Natephra, A. Motamedi, N. Yabuki, and T. Fukuda, “Integrating 4D thermal information with BIM for building envelope thermal performance analysis and thermal comfort evaluation in naturally ventilated environments”, *Building and Environment*, vol. 124, pp. 194-208, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.004>.
- [17] R. A. A. Magalhães, “Avaliação das Potencialidades da Termografia de Infravermelhos Associada a Drones para a Inspeção Digital de Edifícios”, Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2021.
- [18] D. Han and J. Huh, “Thermal Data Fusion for Building Insulation”, in *2019 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, Jul. 2019, pp. 368-371, doi: 10.1109/ICSSE.2019.8823350.
- [19] M. Previtali, L. Barazzetti, R. Brumana, and F. Roncoroni, “Thermographic analysis from UAV platforms for energy efficiency retrofit applications”, *Journal of Mobile Multimedia*, vol. 9, no. 1-2, pp. 66-82, 2013.
- [20] D. Ribeiro, R. Santos, A. Shibasaki, P. Montenegro, H. Carvalho, and R. Calçada, “Remote inspection of RC structures using unmanned aerial vehicles and heuristic image processing”, *Engineering Failure Analysis*, vol. 117, p. 104813, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104813>.
- [21] Pix4D SA, “Do more GCPs equal more accurate drone maps?”, Nov. 05, 2018. <https://www.pix4d.com/blog/GCP-accuracy-drone-maps> (accessed Jan. 01, 2022).
- [22] Pix4D SA, “Ground control points: why are they important?”, Dec. 03, 2019. <https://www.pix4d.com/blog/why-ground-control-points-important> (accessed Jan. 01, 2022).
- [23] E. Opincar, “Assessing the Technology Used by UAVs in Data Acquisition on Construction Sites”, Dissertação de Mestrado, University of Washington, Seattle, WA, USA, 2016.
- [24] P. Martínez-Carricondo, F. Carvajal-Ramírez, L. Yero-Paneque, and F. Agüera-Vega, “Combination of nadir and oblique UAV photogrammetry and HBIM for the virtual reconstruction of cultural heritage. Case study of Cortijo del Fraile in Níjar, Almería (Spain)”, *Building Research & Information*, vol. 48, no. 2, pp. 140-159, Feb. 2020, doi: 10.1080/09613218.2019.1626213.
- [25] L. Sanhudo *et al.*, “Building information modeling for energy retrofitting – A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, pp. 249-260, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.064>.

- [26] G. Bastos Porsani, K. Del Valle De Lersundi, A. Sánchez-Ostiz Gutiérrez, and C. Fernández Bandera, "Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM)", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 5, p. 2167, 2021, doi: 10.3390/app11052167.
- [27] M. H. Elnabawi, "Building Information Modeling-Based Building Energy Modeling: Investigation of Interoperability and Simulation Results", *Frontiers in Built Environment*, vol. 6, 2020, doi: 10.3389/fbuil.2020.573971.
- [28] H. Alhaidary, A. K. Al-Tamimi, and H. Al-Wakil, "The combined use of BIM, IR thermography and HFS for energy modelling of existing buildings and minimising heat gain through the building envelope: a case-study from a UAE building", *Advances in Building Energy Research*, 2019, doi:10.1080/17512549.2019.1703812.
- [29] M. H. Elnabawi and N. Hamza, "Investigating Building Information Model (BIM) to Building Energy Simulation (BES): Interoperability and Simulation Results", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, New Cairo, Egypt, vol. 397, p. 12013, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/397/1/012013.
- [30] L. Sanhudo *et al.*, "BIM framework for the specification of information requirements in energy-related projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 10, pp. 3123-3143, Nov. 2021, doi: 10.1108/ECAM-07-2020-0488.
- [31] B. P. Pimentel, A. T. R. Barbosa, and M. D. De Souza, "Análise de Métodos de Integração entre BIM e Simulação Termo Energética de Edificações Militares", *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, vol. 9, pp. 125-146, 2020, doi: 10.19177/rgsa.v9e02020125-146.
- [32] L. Sanhudo *et al.*, "Building information modeling for energy retrofitting – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, no. March, pp. 249-260, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.03.064.
- [33] G. Queiróz, G. Grigoletti, and J. Santos, "Interoperability between Autodesk Revit and EnergyPlus for thermal simulations of buildings", *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, vol. 10, p. e019005, Jan. 2019, doi: 10.20396/parc.v10i0.8652852.
- [34] Autodesk, "Sobre os espaços analíticos no modelo de energia", Nov. 19, 2019. <https://knowledge.autodesk.com/pt-br/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/PTB/Revit-Analyze/files/GUID-AB6E64D9-D3DD-4104-89CD-F99B2F8C06F5-htm.html> (accessed Jan. 01, 2022).

PCMAT-30: Classificação automática de materiais construtivos em nuvens de pontos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.35>

**Luís Sanhudo¹, Vasco Pinto²,
João Poças Martins³, Nuno M. M. Ramos⁴**

¹ BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal

² ASL – Engineering for People, Porto

³ CONSTRUCT – Gequaltec, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

⁴ CONSTRUCT – LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto

Resumo

Nos últimos anos, a investigação em torno da classificação automática de materiais construtivos tem vindo a crescer em importância, graças aos seus comprovados benefícios no apoio à gestão de obra. Na sua maioria, trabalhos anteriores focados neste âmbito têm requerido a realização sistemática de levantamentos fotográficos em obra, por forma a suplementar modelos de visão computacional que interpretam e analisam as fotografias obtidas, classificando e quantificando os materiais existentes em estaleiro. Contudo, apesar destes modelos facultarem resultados com alta precisão, os requisitos computacionais a eles associados, bem como o esforço do levantamento fotográfico *in-situ*, restringem a utilização desta metodologia.

Para colmatar esta desvantagem, a tecnologia *laser scanning* tem sido proposta em substituição ao levantamento fotográfico, tornando o processo de levantamento de informação mais expedito e permitindo a utilização de modelos mais eficientes – tipicamente baseados em algoritmos de aprendizagem computacional tradicional.

Neste sentido, o presente artigo desenvolve uma base de dados de materiais obtidos por *laser scanning*, com o objetivo de possibilitar o contínuo desenvolvimento desta nova metodologia. O artigo apresenta ainda testes preliminares para a classificação dos materiais da base de dados, sendo obtida precisão de 98,42% – valor na ordem de grandeza da abordagem por levantamento fotográfico.

1. Introdução

A classificação automática de materiais construtivos tem vindo a crescer, ao longo dos últimos anos, como tópico de investigação na indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC). Esta é aplicada em múltiplas vertentes da indústria, desde a gestão, quantificação e localização de materiais em obra, até ao apoio no desenvolvimento de modelos *Building Information Modelling* (BIM) *as-is*, através do fornecimento de dados relevantes para criação de *renderings* realistas ou execução de simulações energéticas [1, 2].

Para automatizar esta classificação, a literatura tem focado a adoção de técnicas de aprendizagem computacional, tendo, como dados de *input*, imagens de cor obtidas por levantamento fotográfico. Contudo, esta abordagem apresenta ainda múltiplas desvantagens, nomeadamente ao nível da aquisição das imagens *in-stu*, da influência das condições atmosféricas e de iluminação, do baixo desempenho na classificação de materiais com pouca textura e, por fim, dos elevados requisitos computacionais.

Tendo por objetivo contribuir para a expansão desta investigação, o presente artigo explora uma segunda opção, na qual os dados de *input* são nuvens de pontos obtidas por *laser scanning*. Neste sentido, é desenvolvido um *dataset* de nuvens de pontos de materiais, denominado PCMat-30, e são apresentados e testados múltiplos algoritmos para a sua classificação.

Além da presente secção introdutória, o artigo encontra-se dividido em quatro secções: a Secção 2 apresenta trabalhos anteriores focados nas temáticas abordadas; a Secção 3 demonstra a metodologia utilizada no desenvolvimento do presente artigo, desde a criação do *dataset* PCMat-30 à identificação dos classificadores a testar; a Secção 4 apresenta e discute os resultados da classificação do *dataset*; e, por fim, a Secção 5 apresenta as principais conclusões.

2. Estado da Arte

A utilização de imagens como *input* para a classificação de materiais com recurso a aprendizagem computacional é, atualmente, o método predominante na literatura. São vários os exemplos da sua aplicação. Por exemplo, Son et al. [3] utilizam a informação da cor de imagens fotográficas na avaliação de múltiplos algoritmos de classificação simples, bem como *ensembles*, para classificação de betão, aço e madeira. Noutro estudo, Han e Golparvar-Fard [4] classificam segmentos de imagens quadrangulares em 15 materiais distintos, agregando, para isso, informação relativa à cor e textura do segmento. De forma semelhante, em [5], os autores extraem a cor e textura de imagens de 200×200 *pixels*, para classificar 20 materiais tipicamente encontrados em obra através de *Support Vector Machines* (SVM).

Contudo, esta abordagem apresenta múltiplas desvantagens, como [6]: significativa dependência das condições atmosféricas e de iluminação; reduzida robustez face a ângulos de imagem não-treinados; baixo desempenho face a materiais de reduzida

textura; e elevados requisitos computacionais associados aos algoritmos de visão computacional, tipicamente usados nesta abordagem. Adicionalmente, uma vez que as câmaras de videovigilância em estaleiro apresentam frequentes problemas de obstrução, baixa resolução e falta de cor, é necessário a realização de levantamentos fotográficos periódicos para implementação desta solução num contexto real – o que pode ser um processo moroso e caro.

Neste sentido, a utilização, como *input*, de nuvens de pontos capturadas por *laser scanning* apresenta-se como alternativa à solução atual. Apesar de conter menos literatura, esta abordagem tem vindo a crescer progressivamente em popularidade, devido às suas vantagens em relação ao uso de imagens. As vantagens incluem [1, 2, 7]: maior robustez a variações atmosféricas e de luminosidade; aquisição de mais propriedades intrínsecas do material (i.e., refletividade obtida por análise dos valores de intensidade da nuvem de pontos); e a dispensa de obtenção de nuvens de pontos especificamente para identificação de materiais, devido à sua prévia aquisição para acompanhamento de obra ou criação de modelos BIM *as-is*.

Seguindo esta abordagem, Franceschi et al. [8] focam a classificação de duas rochas sedimentares, utilizando para isso a intensidade da nuvem de pontos. Noutro estudo, Riveiro et al. [9] apresentam um algoritmo inovador para identificação de blocos de alvenaria. Hassan et al. [10] utilizam a cor e intensidade da nuvem de pontos para classificação de três materiais diferentes: betão de estrutura, betão leve e tijolos de argila. Neste estudo, os autores extraíram a refletividade de cada material através dos valores de intensidade, identificando variações desta propriedade em cada um dos materiais estudados. Por fim, Yuan et al. [11] testaram cinco classificadores distintos com 10 materiais diferentes, obtendo uma precisão de classificação de 96,7%. Para *input* dos algoritmos, os autores extraíram, por ponto, três características principais, nomeadamente, a sua rugosidade, reflexão e cor.

3. Metodologia

O presente artigo teve como objetivo contribuir para a investigação no âmbito da utilização de nuvens de pontos como *input* de algoritmos de classificação de materiais. Neste sentido, os esforços focaram a expansão do trabalho apresentado por Yuan et al. [11], em múltiplas vertentes, nomeadamente: (1) expansão do número de materiais captados; (2) expansão do número de classificadores testados; e (3) incremento da dificuldade de classificação através da diversificação das nuvens de pontos do *dataset*. Adicionalmente, foi também realizado um refinamento do processo de extração das três características principais, utilizando, para isso, a biblioteca *Scikit-learn* [12] em alternativa às equações apresentadas no trabalho original. Para concretização destes pontos, foi adotada a metodologia apresentada na Figura 1. O desenvolvimento do *dataset* é abordado na Secção 3.1, enquanto a extração das características principais e os algoritmos de classificação são abordados na Secção 3.2.

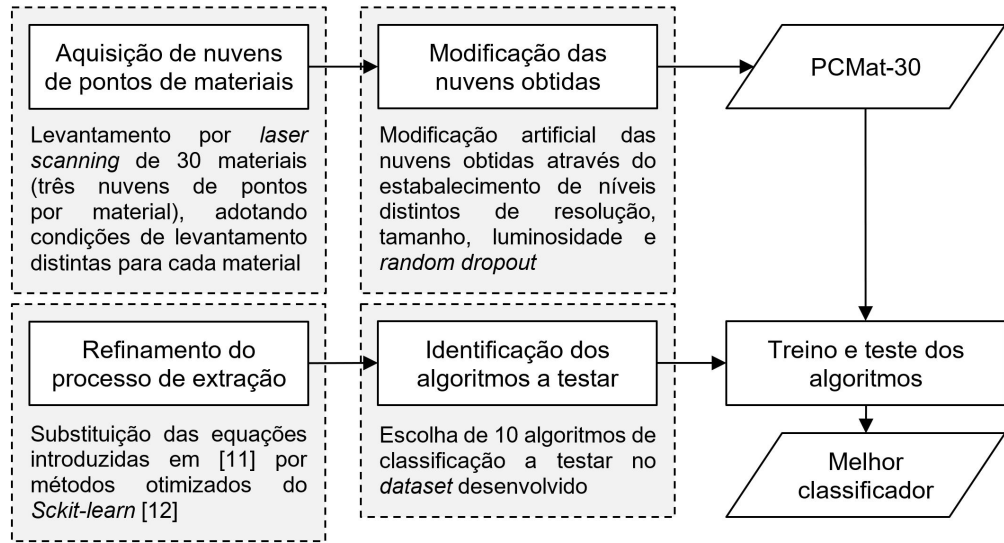


Figura 1
Metodologia adotada no desenvolvimento do presente artigo.

3.1. PCMat-30

Como identificado na introdução, o *dataset* desenvolvido neste artigo é intitulado PCMat-30 ou 30 *Point Cloud Materials*. Este *dataset* é composto por 30 materiais distintos (Tabela 1), obtidos com o *laser scanner Leica ScanStation P20*. A resolução e qualidade utilizadas durante a aquisição das nuvens de pontos foram, respectivamente, 0,8mm@10m e quatro, sendo que os materiais foram obtidos a uma distância inferior a 10 metros, garantindo uma resolução final sub 0,8mm. A resolução fotográfica escolhida foi de 640×640 e as definições de luminosidade foram ajustadas conforme a localização. Mais informação sobre estes parâmetros em [13].

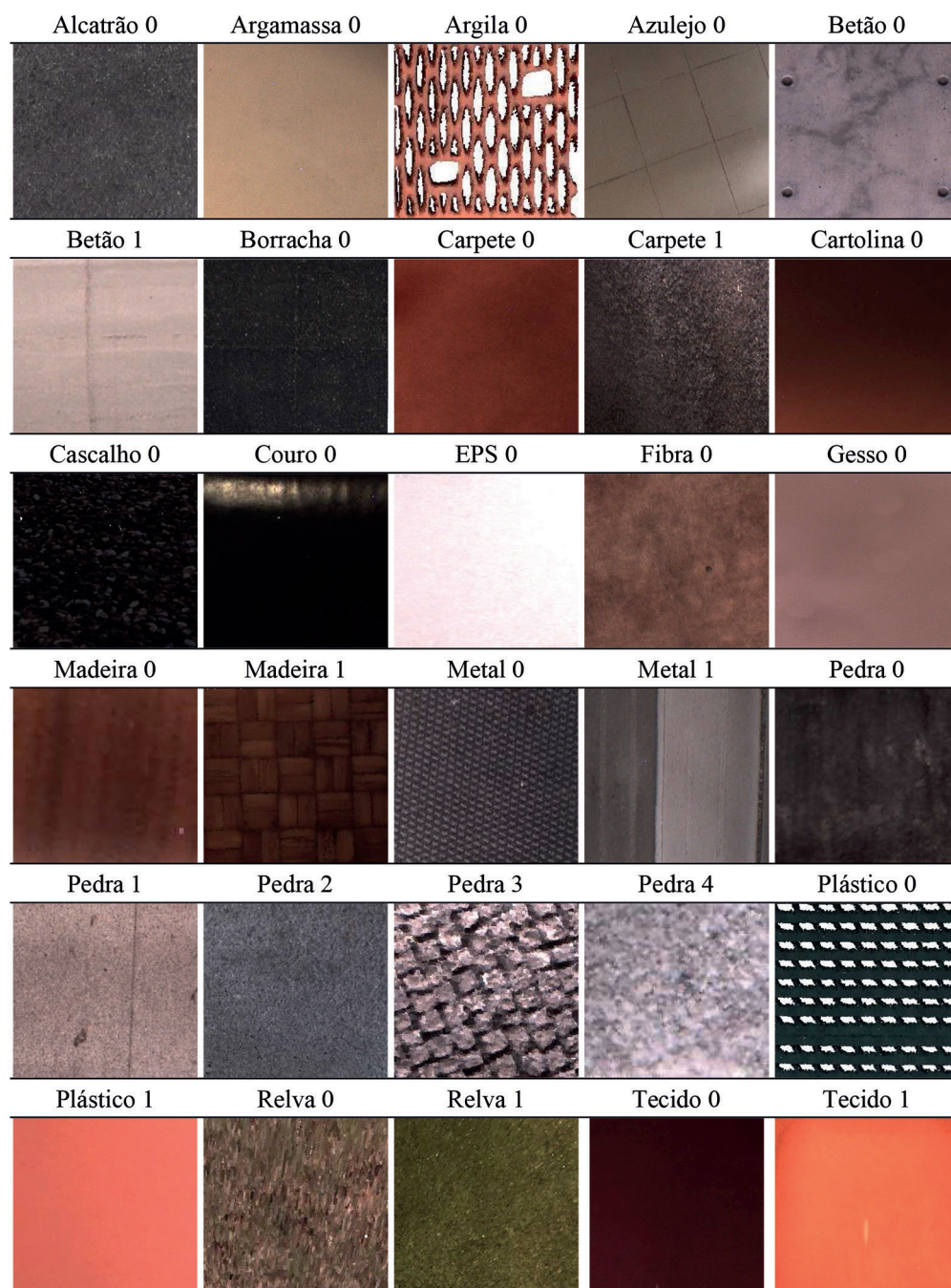


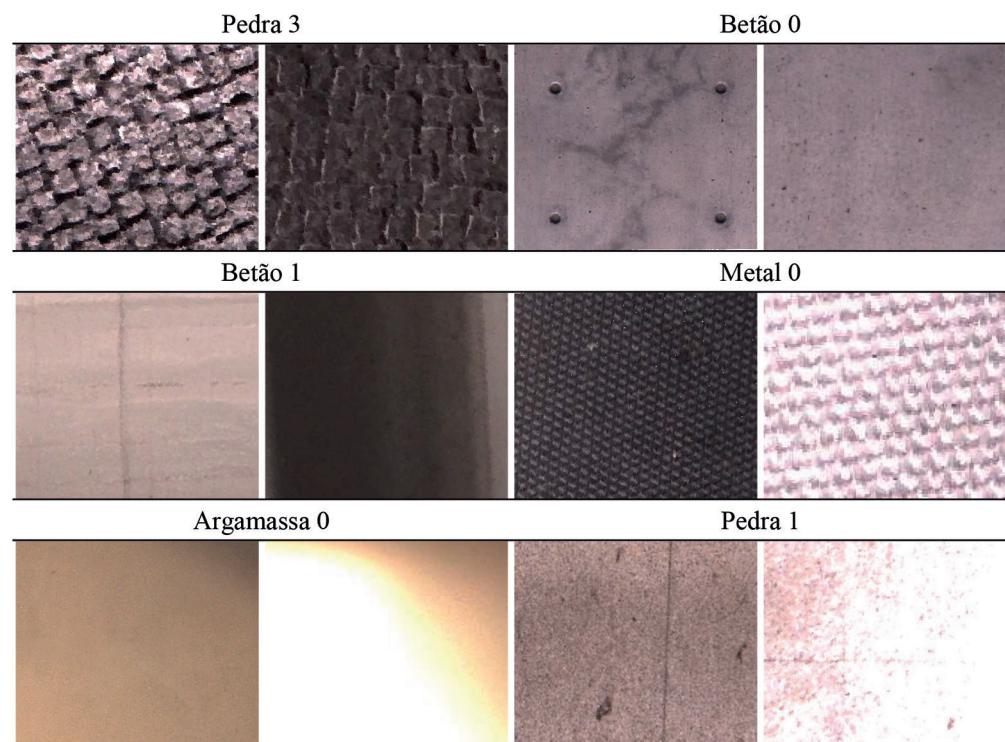
Tabela 1
Exemplos de nuvens de pontos obtidas para cada material.

Assim, a informação por ponto do *dataset* inclui: coordenadas X, Y, Z; cor R, G, B; e intensidade I. Para cada um dos 30 materiais, foram obtidas três nuvens de pontos sobre condições distintas, resultando na aquisição de 90 nuvens de pontos. Para tornar distintas as condições de aquisição, quando possível, foram alterados, por material, vários aspetos: luminosidade (e.g., interior vs exterior de um edifício); ângulo de incidência e plano primário (e.g., muro vs chão de pedra); cor (e.g., tapete azul vs vermelha); padrão (e.g., diferentes estilos de tijolo do mesmo material); tamanho (e.g., perna delgada vs largo tampo de madeira); entre outros. Algumas destas condições são visíveis na Tabela 2.

Posteriormente, cada uma das 90 nuvens de pontos obtidas foram modificadas para expansão artificial do *dataset* e, conseqüentemente, diversificação do mesmo. As modificações incluem:

- Dizimação das nuvens de pontos de sub 0,8mm para três resoluções distintas: 3,1mm; 6,3mm; e 12,5mm; obtendo 270 nuvens de pontos.
- Subdivisão das nuvens obtidas em cinco parcelas de diferentes tamanhos, obtendo 1350 nuvens de pontos;
- Modificação da luminosidade conforme cinco níveis diferentes $\{-10, -5, 0, 5, 10\}$ %, obtendo 6750 nuvens de pontos;
- E, por fim, implementação de quatro níveis distintos de *random dropout* $\{0, 5, 10, 15\}$ %, culminando em 27000 nuvens de pontos.

Tabela 2
Exemplos de condições distintas do mesmo material.



Algumas destas modificações podem ser observadas na Tabela 3. De realçar que a redução de resolução e a utilização de *random dropout* (RDp) são intrinsecamente diferentes, uma vez que a primeira reduz o número de pontos de forma sistemática, enquanto a segunda é aleatória.

Res.	3,1mm		6,3mm	12,5mm
RDp	0%	15%	0%	0%

Tabela 3

Algumas das modificações criadas durante a expansão artificial do dataset.

3.2. Obtenção de características e identificação dos classificadores a testar

O código original proposto em [11] encontra-se escrito em *MATLAB* e foi obtido por contacto com os autores. Para aquisição das características previamente mencionadas (rugosidade, refletividade e cor), os autores utilizam as equações apresentadas em [11], sem recurso a qualquer tipo de *package* característico desta linguagem. Ou seja, passos identificados em [11] como aquisição de pontos-vizinhos, regressões lineares, cálculo de planos e mudança de sistema de cores, encontram-se todos implementados de raiz. Neste sentido, por forma a acelerar o processo de extração destas características, o código foi reescrito em *Python*, utilizando algoritmos otimizados da biblioteca *Sckit-learn* [12], como: *KdTree*, *Random Sample Consensus*, *LinearRegression* e *rgb2hsv*. A aceleração obtida permitiu a ampliação do raio para aquisição de pontos-vizinhos, melhorando significativamente o cálculo da rugosidade e refletividade de cada ponto.

Com as características obtidas, foram identificados 10 classificadores a serem testados. Estes incluem cinco classificadores tradicionais: *SVM*, *Logistic Regression*, *Multi-layer Perceptron*, *k-Nearest Neighbours*, e *Decision Tree*; bem como cinco *ensembles*: *AdaBoost*, *Extremely Randomized Forest*, *Gradient Boosting*, *Random Forest*, e *Voting*. Novamente, para a implementação destes classificadores foi utilizada a biblioteca *Sckit-learn* [12].

4. Classificação do PCMat-30

Com o *dataset* criado, as características calculadas e os classificadores escolhidos, procedeu-se ao treino e teste dos algoritmos. Neste sentido, foram testadas duas *splits* distintas para classificação do PCMat-30, como visível na Tabela 4.

A primeira tem como objetivo a seleção do melhor classificador de entre os algoritmos identificados na Seção 3.2, utilizando, para isso, as 1350 nuvens de pontos obtidas após parcelamento das nuvens originais em diferentes tamanhos. Esta *split* divide os dados de treino e teste em, respectivamente, 80% e 20%, resultando em 1080 nuvens para treino e 270 para teste. O mesmo protocolo aplicado em [13] é usado para seleção de hiper-parâmetros.

A segunda *split* tem como objetivo a avaliação do melhor classificador num ambiente de acrescida dificuldade, no qual são adicionados aos dados de teste as respectivas nuvens de pontos com diferentes níveis de luminosidade e *random dropout*. Ou seja, como esta expansão dos dados de teste não é reproduzida nos dados de treino, o algoritmo selecionado é testado em condições de luminosidade e *random dropout* desconhecidas.

Em termos de métricas de avaliação, foram utilizadas a precisão global ($oAcc$) e média ($mAcc$):

$$oAcc = \frac{\text{Previsões Corretas}}{\text{Total de Previsões}} \times 100 \quad (1)$$

$$mAcc = \frac{\sum_S^m (\text{Previsões Corretas}_S / \text{Total de Previsões}_S)}{m} \times 100 \quad (2)$$

onde m representa o total de classes semânticas (i.e., materiais) do *dataset* PCMat-30 e S representa a classe semântica avaliada.

Tabela 4
Splits testadas para
classificação do *dataset*
PCMat-30.

Split #	Treino	Teste
1	1080 nuvens de pontos de diferentes resoluções e tamanhos, mas mesmo nível de luminosidade e <i>random dropout</i> (i.e., 0%)	270 nuvens de pontos de diferentes resoluções e tamanhos, mas mesmo nível de luminosidade e <i>random dropout</i> (i.e., 0%)
2	nuvens de pontos de diferentes resoluções e tamanhos, mas mesmo nível de luminosidade e <i>random dropout</i> (i.e., 0%)	5400 (i.e., 270×5×4) nuvens de pontos de diferentes resoluções e tamanhos, bem como diferentes níveis de luminosidade {-10, -5, 0, 5, 10}% e <i>random dropout</i> {0, 5, 10, 15}%

A Tabela 5 apresenta os resultados da primeira *split*. As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os resultados da segunda *split*.

Focando a primeira *split*, à parte do classificador SVM e *Logistic Regression*, os restantes algoritmos obtiveram precisões melhores que 96,51% e 94,94%, respectivamente para a precisão global e média. O *Random Forest* foi considerado o melhor classificador por apresentar a melhor precisão global (98,42%) e a segunda melhor precisão média (97,75%), para além de ser considerado, pela literatura, como robusto face a *datasets* de elevado número de classes – assegurando a possibilidade de expansão do PCMat-30. Estas precisões são melhores que as apresentadas por [11], apesar do

número acrescido de materiais. Este ganho pode ser justificado pela melhoria do cálculo da rugosidade e refletividade (Secção 3.2), bem como pelo uso do *Random Forest*, algoritmo não testado em [11].

Classificador	oAcc (%)	mAcc (%)
Support Vector Machine	59,30	52,01
Logistic Regression	72,29	50,51
Multilayer Perceptron	96,51	94,94
k-Nearest Neighbours	97,75	96,67
Decision Tree	97,78	96,90
AdaBoost	98,16	97,39
Gradient Boosting	98,38	97,81
Voting	98,38	97,52
Extremely Randomized Forest	98,39	97,61
Random Forest	98,42	97,75

Tabela 5

Resultados da classificação para os algoritmos escolhidos e os dados da primeira *split*.

No que diz respeito à segunda *split*, por análise das Tabelas 6, 7 e 8 é possível concluir que o algoritmo *Random Forest* mantém boas precisões de classificação, obtendo médias mínimas de 97,78% para a precisão global e 94,58% para a precisão média, ambas relativas à resolução de 12,5mm (Tabela 6). Como médias máximas, foi obtida a precisão global de 98,99% e média de 98,22%, referentes à resolução de 3,1mm. Assim, é possível concluir que a resolução da nuvem afeta significativamente as precisões obtidas, com resoluções inferiores a originarem piores precisões.

De forma semelhante, o *random dropout* também afeta significativamente as precisões, apresentando reduzidas precisões para maiores percentagens de *dropout*. Contudo, o algoritmo aparenta ser mais robusto a este tipo de ruído, uma vez que, o *random dropout* máximo testado (15%), resulta em perdas de apenas 0,13% de precisão global.

Por fim, focando a Tabela 8, é possível concluir que a luminosidade não apresenta grande influência sobre a precisão dos resultados, uma vez que esta permanece praticamente constante ao longo das diferentes luminosidades testadas.

Resolução (mm)	oAcc (%)	mAcc (%)
3,1	98,99	98,22
6,3	98,61	97,01
12,5	97,78	94,58

Tabela 6

Média, por resolução, dos resultados da classificação para o algoritmo *Random Forest* e os dados da segunda *split*.

Random Dropout (%)	oAcc (%)	mAcc (%)
0	98,53	96,73
5	98,48	96,64
10	98,41	96,51
15	98,40	96,54

Tabela 7

Média, por *random dropout*, dos resultados da classificação para o algoritmo *Random Forest* e os dados da segunda *split*.

Tabela 8

Média, por luminosidade, dos resultados da classificação para o algoritmo *Random Forest* e os dados da segunda *split*.

Nível de Luminosidade (%)	<i>oAcc</i> (%)	<i>mAcc</i> (%)
-10	98,45	96,58
-5	98,47	96,65
0	98,47	96,66
+5	98,43	96,51
+10	98,47	96,63

6. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo contribuir para a automatização da classificação de materiais construtivos por nuvens de pontos. Neste sentido, o artigo focou a continuação de um estudo anterior por Yuan et al. [11], duplicando os classificadores a serem testados e triplicando os materiais a serem identificados (materiais incluídos no *dataset* desenvolvido). Adicionalmente, a diversidade de aquisição dos materiais foi aumentada, dificultando a capacidade de classificação. Por fim, a metodologia para extração de *features* proposta em [11] foi refinada, através da utilização de algoritmos otimizados da biblioteca *Sckit-learn*.

Durante o caso de estudo foram obtidas precisões na ordem dos 98% para o classificador *Random Forest*, superando a precisão de 96,7% demonstrada por Yuan et al. [11], apesar das condições mais adversas. A obtenção desta grandeza de precisão suporta a contínua investigação da classificação automática de materiais construtivos com recursos a nuvens de pontos, como alternativa à abordagem mais comum de utilização de imagens RGB.

Como trabalhos futuros está planeada a expansão do *dataset* PCMat-30, não só através da aquisição de novos materiais por parte do autor, mas também através da disponibilização *online* do *dataset*. Este será acompanhado por guias que especifiquem os procedimentos a seguir para aquisição de novos materiais e introdução dos mesmos no *dataset*. Ao longo da expansão do *dataset*, os algoritmos de aprendizagem computacional aqui apresentados continuarão a ser testados e reavaliados face à expansão.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Este trabalho é também cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176].

Referências

- [1] J. DeGol, M. Golparvar-Fard e D. Hoiem, “Geometry-informed material recognition”, em *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Estados Unidos da América, 2016
- [2] Q. Lu e S. Lee, “Image-based technologies for constructing as-is building information models for existing buildings”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 31, 2017
- [3] H. Son, C. Kim, N. Hwang, C. Kim e Y. Kang, “Classification of major construction materials in construction environments using ensemble classifiers”, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, 2014.
- [4] K. K. Han, M. Golparvar-Fard, “Appearance-based material classification for monitoring of operation-level construction progress using 4D BIM and site photologs”, *Automation in Construction*, vol. 53, 2015.
- [5] A. Dimitrov e M. Golparvar-Fard, “Vision-based material recognition for automated monitoring of construction progress and generating building information modeling from unordered site image collections”, *Advanced Engineering Informatics*, vol. 28, 2014.
- [6] Q. Lu, S. Lee e L. Chen, “Image-driven fuzzy-based system to construct as-is IFC BIM objects”, *Automation in Construction*, vol. 92, 2018.
- [7] S. Y. Chen, Y. F. Li, W. Wang e J. Zhang, *Active sensor planning for Multiview vision tasks*, Springer, 2008.
- [8] M. Franceschi, G. Teza, N. Preto, A. Pesci, A. Galgaro e S. Girardi, “Discrimination between marls and limestones using intensity data from terrestrial laser scanner”, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 64, 2009.
- [9] B. Riveiro, P. B. Lourenço, D. V. Oliveira, H. González Jorge e P. Arias, “Automatic morphologic analysis of quasi-periodic masonry walls from LiDAR”, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 31, 2016.
- [10] M. U. Hassan, A. Akcamete-Gungor e C. Meral, “Investigation of terrestrial laser scanning reflectance intensity and RGB distributions to assist construction material identification, lean and computing in construction congress”, em *Proceedings of the Joint Conference on Computing in Construction*, 2017.
- [11] Y. Liang, J. Guo e Q. Wang, “Automatic classification of common building materials from 3D terrestrial laser scan data”, *Automation in Construction*, vol. 110, 2020.

- [12] F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot e E. Duchesnay, “Scikit-Learn: Machine Learning in Python”, *Journal of Machine Learning Research*, vol. 10, 2011.
- [13] L. Sanhudo, “Artificial Intelligence for an Enhanced As-Is BIM Energy Analysis – Enabling an efficient energy retrofit through the automation of the scan-to-BIM process”, Tese de Doutoramento, Porto, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2021.

Proposta de algoritmos de inteligência artificial para automatização do processo Scan-to-BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.36>

Luís Sanhudo¹, João Poças Martins², Nuno M. M. Ramos³

¹ *BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal*

² *CONSTRUCT – Gequaltec, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto*

³ *CONSTRUCT – LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto*

Resumo

Nos últimos anos, a reabilitação energética do edificado existente tem vindo a ocupar uma posição central na indústria da Construção, com várias diretivas europeias e nacionais a focarem o tópico em busca de sustentabilidade e objetivos económicos. De forma semelhante, a importância do *Building Information Modelling* (BIM) tem vindo a crescer nas comunidades científicas e práticas do setor, evoluindo rapidamente de um conceito puramente futurista para uma das peças centrais da indústria. Com a crescente sobreposição entre as duas áreas, estudos recentes propõem a automatização do processo Scan-to-BIM com o objetivo de viabilizar uma aplicação alargada deste tipo de reabilitação. Contudo, uma solução que permita suportar a automatização deste processo encontra-se ainda em falta na literatura.

O presente artigo visa contribuir com esta solução, propondo a aplicação de algoritmos de Inteligência Artificial para a segmentação, classificação e modelação semântica de nuvens de pontos de um edifício. Subsequentemente, o modelo BIM obtido é automaticamente enriquecido com informação relevante para a realização de análises energéticas em *software* especializado. A solução proposta é aplicada a um caso de estudo, com o objetivo de avaliar o seu desempenho e identificar as suas atuais vantagens e limitações. Os resultados obtidos indicam precisões superiores a 87.64% na segmentação, classificação e modelação de 13 classes de elementos, nomeadamente: paredes; chão; teto; pilares; vigas; janelas; portas; cadeiras; sofás; estantes; e quadros.

1. Introdução

Atualmente, dois dos principais objetivos a nível europeu para a indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), são o aumento da eficiência energética e a redução do consumo energético [1]. Assim, sendo os edifícios responsáveis por aproximadamente 40% do consumo energético europeu, o sucesso destas estratégias está estritamente ligado à reabilitação do edificado existente [1]. Contudo, atualmente, apenas uma pequena percentagem do edificado é renovada anualmente [2], devido a múltiplos desafios associados a este tipo de projetos, nomeadamente, a difícil identificação de medidas de reabilitação energética eficientes [3].

Neste sentido, nos últimos anos, o *Building Information Modelling* (BIM) tem sido frequentemente associado a esta pesquisa, sendo apontado como parte integrante da solução [3, 4]. Nesta solução, o BIM funciona como uma base de dados centralizada, que tem como objetivo armazenar toda a informação do edifício, enviando, posteriormente, estes dados para *software* de análise energética, onde o modelo pode ser cuidadosamente analisado para identificação de medidas de reabilitação.

Contudo, para que esta metodologia funcione, é necessário existir um modelo BIM do edifício a reabilitar. Para isso, a tecnologia *laser scanning* e, mais proeminentemente, o processo Scan-to-BIM, têm vindo a crescer em popularidade e aplicação dentro das comunidades científicas e práticas do setor, tirando partido da crescente precisão e custos reduzidos associados a esta tecnologia, para ajudar no desenvolvimento de modelos BIM *as-is* [4]. No entanto, este processo apresenta também as suas limitações, com o tratamento, importação e modelação das nuvens de pontos a permanecerem processos altamente manuais, demorados, subjetivos e propensos a erros, reduzindo significativamente a sua viabilidade [5].

Neste sentido, vários estudos [4, 5] identificam a crescente necessidade de desenvolver um método para adquirir automaticamente e com precisão modelos semanticamente enriquecidos, automatizando o processo Scan-to-BIM. Este método evita por completo a importação de nuvem de pontos no *software* de modelação, extraindo as dimensões dos elementos de construção diretamente da nuvem de pontos e utilizando essa informação para realizar a sua modelação automática.

Uma vez que uma solução que permita a completa automatização deste processo está ainda ausente da literatura, o presente artigo apresenta uma metodologia baseada em aprendizagem computacional para automatização da segmentação e classificação da nuvem de pontos em elementos construtivos, seguida da sua modelação em *software* BIM.

2. Estado da Arte

O processo de utilização de nuvens de pontos como referência para modelação BIM é denominado de scan-to-BIM [6, 7]. Este processo visa aliviar o esforço de

desenvolvimento de modelos *BIM as-is*, simultaneamente que melhora a sua precisão e detalhe. Para uma análise detalhada do processo, ver [7].

Apesar de simplificar e aumentar a velocidade de criação de modelos BIM, o processo Scan-to-BIM também apresenta as suas limitações [4, 8]. Nomeadamente, embora o processo de levantamento e subsequente tratamento de nuvens de pontos seja mais rápido comparativamente a métodos tradicionais, este é ainda demasiado complexo e moroso; além disso, apesar de o processo de modelação ser, novamente, mais rápido e preciso que métodos tradicionais, a modelação ainda é expressivamente lenta, requerendo profissionais que interpretem as nuvens de pontos e as modelem manualmente em ambiente BIM [8].

Neste sentido, estudos recentes da indústria AEC têm focado a automatização deste processo através de métodos de aprendizagem computacional tradicional, dividindo a sua automatização em duas etapas: [5]: segmentação da nuvem de pontos em elementos construtivos; e modelação dos elementos segmentados em ambiente BIM. Tendo examinado a literatura associada a estas etapas, é possível identificar a ausência de estudos que: (1) foquem e solucionem ambas as etapas; (2) exibam um amplo leque de aplicações; e (3) tenham um elevado nível de precisão e desempenho computacional. De facto, as soluções propostas tendem a ser demasiado restritas, focando a modelação da geometria de um único elemento construtivo (e.g., paredes [9, 10], tubos [11, 12]), frequentemente sem o seu enriquecimento semântico ou topológico (i.e., modelação CAD 3D em oposição a BIM). Adicionalmente, uma vez que as soluções propostas baseiam-se em algoritmos de aprendizagem computacional tradicional, estas tendem a apoiar-se em *hard-coded knowledge* [9, 10, 11] e bibliotecas de objetos [5, 11, 12], restringindo significativamente o seu leque de aplicação e o seu nível de desempenho e precisão [13].

Isto indica que a pesquisa sobre automatização do processo Scan-to-BIM está desassociada do atual estado da arte de segmentação e classificação de nuvens de pontos em áreas como Ciências da Computação e Eletrotécnica que, em 2015, transitaram para abordagens suportadas por *deep learning*, pelas suas comprovadas vantagens. Como indicado em [13]: métodos atuais de *deep learning* para segmentação e classificação de nuvem de pontos superam expressivamente os métodos tradicionais de aprendizagem computacional, permitindo uma utilização mais eficiente de grandes volumes de dados; prescindindo da aquisição de *handcrafted features*; e gerando melhores níveis de desempenho e precisão em *datasets* públicos.

Face a estas conclusões, a secção seguinte apresenta uma metodologia suportada por tecnologia *deep learning*, capaz de responder aos problemas levantados.

3. Metodologia para Automatização do Processo Scan-to-BIM

A Figura 1 apresenta a metodologia desenvolvida para automatização do processo Scan-to-BIM. Como visível nesta figura, ao contrário das duas etapas para

automatização indicadas na literatura, a presente metodologia divide o processo em seis tarefas: (1) tratamento da nuvem de pontos; (2) segmentação da nuvem de pontos tratada; (3) classificação dos segmentos obtidos em elementos construtivos; (4) caracterização dos elementos construtivos identificados; (5) modelação geométrica; (6) e enriquecimento do modelo com informação não-geométrica.

Na primeira tarefa, é utilizado um processo de *voxel downsampling* [14] para dizimação das nuvens de pontos, seguido da limpeza do ruído existente por remoção de *outliers* estatísticos [14]; posteriormente, é utilizado um processo baseado em *Fast Point Feature Histograms* [15] e *Random Sample Consensus* (RANSAC) [16] para registo das nuvens de pontos, seguido do aperfeiçoamento do registo obtido com recurso ao algoritmo *Point-to-Plane Iterative Closest Point* [17]. Por fim, durante a unificação, é utilizado novamente um processo de *voxel downsampling* para eliminar pontos sobrepostos nas nuvens registadas.

A segunda e terceira tarefa foram solucionadas em simultâneo com recurso a três processos distintos: segmentação semântica; segmentação de instâncias e segmentação de partes. A Figura 2 demonstra o intuito de cada uma destas segmentações. A primeira e última segmentação é realizada com o auxílio de uma inovadora rede neuronal convolucional [18], baseada em duas vertentes distintas da literatura [18]: *point-based* e *voxel-based*. Estas foram utilizadas em simultâneo para que cada vertente eliminasse as desvantagens da outra. A segunda segmentação é baseada no algoritmo de *clustering* DBSCAN (*Density-based Spatial Clustering of Applications with Noise*) [19], que segmenta a nuvem de pontos conforme a sua densidade.

Focando a quarta tarefa, a caracterização dos elementos construtivos obtidos foi realizada sobre duas vertentes: caracterização geométrica e caracterização não-geométrica. A primeira utiliza os algoritmos RANSAC e *object-oriented minimum bounding box* para aquisição de múltiplas características de cada elemento, como: altura; comprimento; largura; centro; orientação; planos principais; entre outros. A segunda foca a agregação de informação para enriquecimento da geometria após modelação, nomeadamente: classe semântica e de instância; partes constituintes; e até mesmo a rugosidade, refletividade e cor da superfície do elemento, que podem ser usadas na identificação dos seus materiais visíveis [20].

Por fim, a quinta e sexta tarefas foram desenvolvidas para o *software* de modelação *Autodesk Revit*, com recurso ao *Dynamo*. Neste sentido, foram utilizadas as funcionalidades disponibilizadas na *Application Programming Interface* (API) do *Revit*, ao qual o *Dynamo* tem fácil acesso, para modelação da geometria e subsequente enriquecimento, através da informação recolhida durante a caracterização geométrica e não geométrica dos elementos construtivos. Atualmente, já se encontram automatizados os processos de modelação de 13 tipologias de elementos, sendo utilizadas durante a modelação as famílias visíveis na Figura 3. Após finalização da modelação automática, as famílias apresentadas podem ser substituídas por famílias próprias do utilizador.

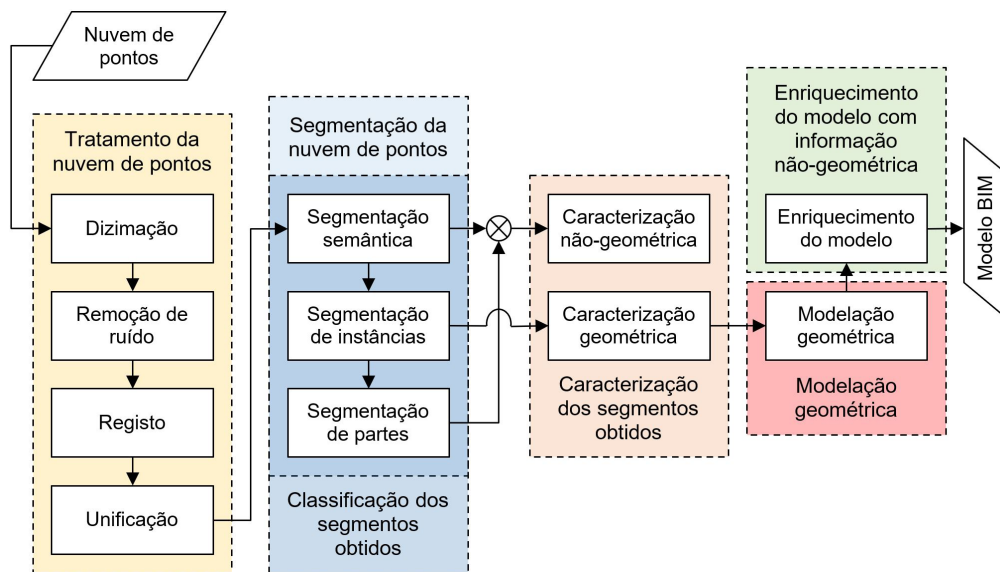


Figura 1
Metodologia para auto-
matização do processo
Scan-to-BIM.

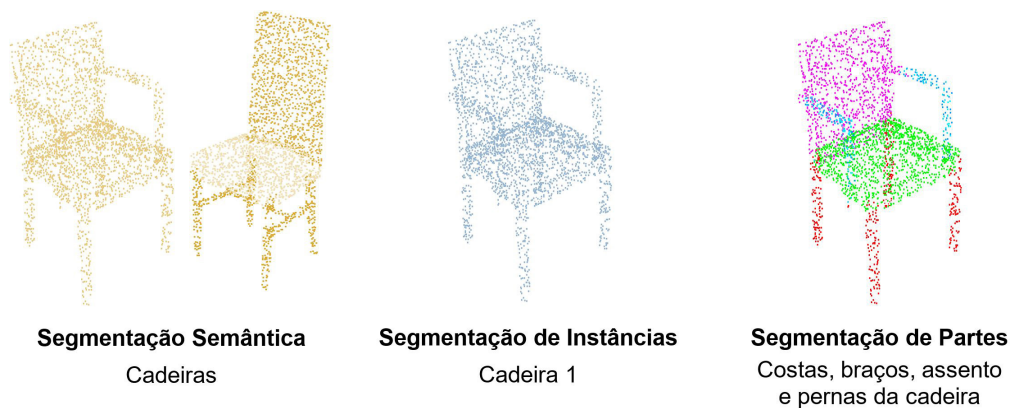


Figura 2
Segmentação semân-
tica, de instâncias e de
partes.

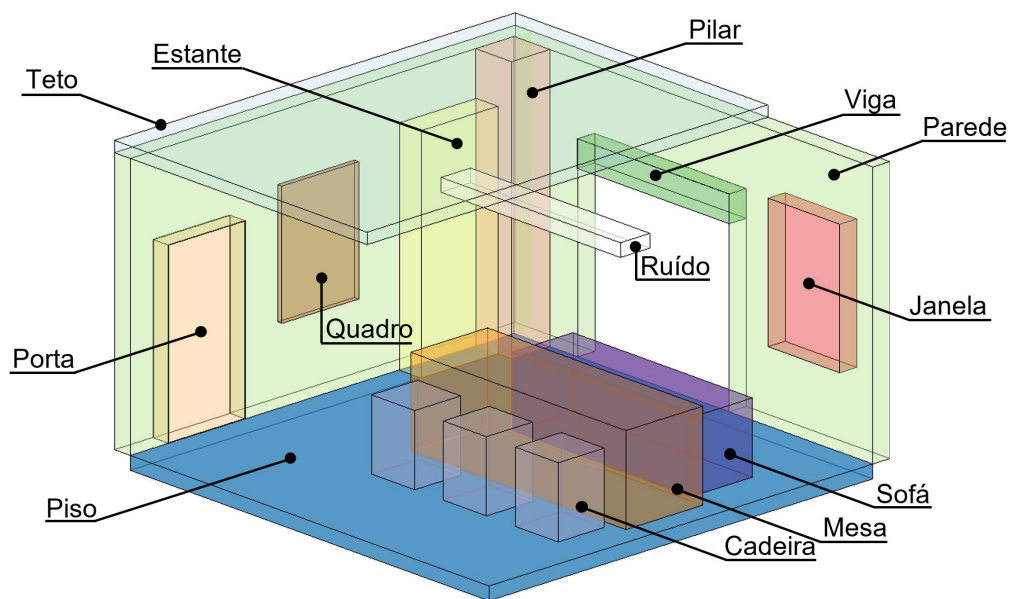


Figura 3
Tipologias de elemen-
tos já automatizadas.

4. Caso de Estudo

4.1. S3DIS

Devido às restrições de dimensão do artigo, o presente caso de estudo valida apenas algumas das componentes da metodologia, nomeadamente, a segmentação semântica e de instâncias, a caracterização dos elementos identificados e, por fim, a sua modelação BIM (i.e., modelação da geometria e posterior enriquecimento). Estas componentes são validadas através da sua aplicação no *dataset* S3DIS (*Stanford Three-Dimensional Indoor Scene*), um extenso *dataset* para segmentação de nuvens de pontos.

O S3DIS é constituído por nuvens de pontos de três edifícios diferentes da Universidade de Stanford, Califórnia, divididas por seis áreas (Figura 4). O *dataset* contém 272 espaços individuais de distinto estilo arquitetónico, incluindo anfiteatros, arrecadações, casas de banho, corredores, despensas, espaços de convívio, salas de aula, salas de reuniões, salas de escritório, salões e refeitórios. Cada ponto no *dataset* apresenta informação sobre a sua classe semântica e de instância, existindo 13 possíveis classes, já identificadas na Figura 3. Contêm ainda informação sobre as respetivas coordenadas X, Y, Z; cor R, G, B; e normal n_x, n_y, n_z .

Para validação dos algoritmos de segmentação, a nuvem de pontos da Área 5 foi utilizada como dados de teste e as restantes como dados de treino, tal como recomendado pelos autores do S3DIS. A Tabela 1 apresenta a divisão, por classe, dos pontos da Área 5. As métricas utilizadas incluem a precisão global ($oAcc$) e precisão média ($mAcc$):

$$oAcc = \frac{\text{Previsões Corretas}}{\text{Total de Previsões}} \times 100 \quad (1)$$

$$mAcc = \frac{\sum_S (\text{Previsões Corretas}_S / \text{Total de Previsões}_S)}{m} \times 100 \quad (2)$$

onde m representa o total de classes semânticas do *dataset* e S representa a classe semântica avaliada.

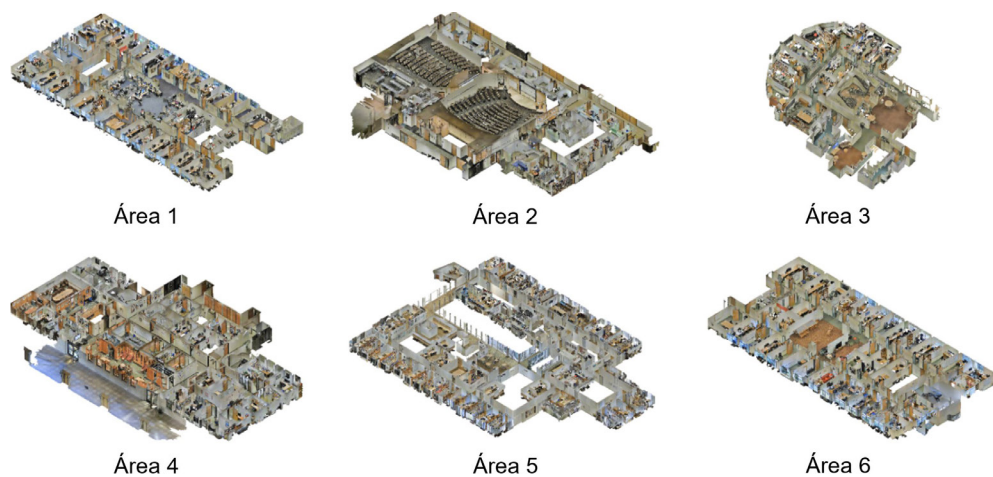


Figura 4
Nuvens de pontos disponíveis no *dataset* S3DIS.

Classe	Teto	Piso	Parede	Viga	Pilar	Janela	Porta	Mesa	Cadeira	Sofá	Estante	Quadro	Ruído	Total
#pontos	7.286.031	6.685.246	5.603.217	6.158	317.406	508.649	701.934	1.267.817	742.458	95.654	1.985.434	195.873	2.669.915	28.065.792
%pontos	25,96	23,82	19,96	0,02	1,13	1,81	2,50	4,52	2,65	0,34	7,07	0,70	9,51	100

Tabela 1

Divisão, por classe, dos pontos da Área 5.

4.2. Resultados

A Tabela 2 apresenta os resultados quantitativos da segmentação semântica do *dataset* S3DIS. Para uma avaliação qualitativa, as Figuras 5, 6, 7 e 8 apresentam algumas das nuvens segmentadas, caracterizadas geometricamente e modeladas, tudo de forma automática.

oAcc (%)	mAcc (%)	Acc por classe												
		Teto	Piso	Parede	Viga	Pilar	Janela	Porta	Mesa	Cadeira	Sofá	Estante	Quadro	Ruído
87,64	62,80	95,32	98,13	95,01	0,15	23,42	68,11	36,96	80,29	89,92	28,26	70,31	60,86	69,64

Tabela 2

Resultados quantitativos da segmentação semântica.

O S3DIS é um *dataset* de difícil segmentação, incluindo pilares não expostos e quadros brancos em paredes brancas. Adicionalmente, é também um *dataset* com classes mal distribuídas, com as classes “teto”, “pisso” e “parede” a comporem mais de 60% dos dados.

Começando pelos resultados quantitativos, é possível verificar que o algoritmo proposto atinge uma precisão global de 87,64%, baixando para 62,80% no que diz respeito à sua precisão média. Isto deve-se ao algoritmo ter uma precisão elevada nas classes com mais dados de treino (e.g., “teto”, “pisso” e “parede”), mas baixas precisões em classes com escassos dados (e.g., “viga”, “pilar”, “porta”, “sofá”). Ou seja, pode concluir-se que o desequilíbrio de dados por classe do *dataset* conduz a uma falha, por parte do algoritmo, na capacidade de generalização das classes com menos dados. Esta falha deve ser corrigida com a aquisição e treino de nuvens de pontos focadas nas classes com menor volume de dados.

Passando à avaliação qualitativa, é possível observar nas Figuras 5, 6, 7 e 8 que, apesar desta fraca capacidade de generalização, a modelação automática dos segmentos classificados permanece robusta, uma vez que muitos dos erros de segmentação semântica originam *outliers* que são eliminados aquando da segmentação por

instâncias e da caracterização geométrica. De facto, os maiores erros de modelação estão associados à segmentação de instâncias em espaços com muito ruído, como é possível observar pela segmentação das cadeiras na Figura 8.

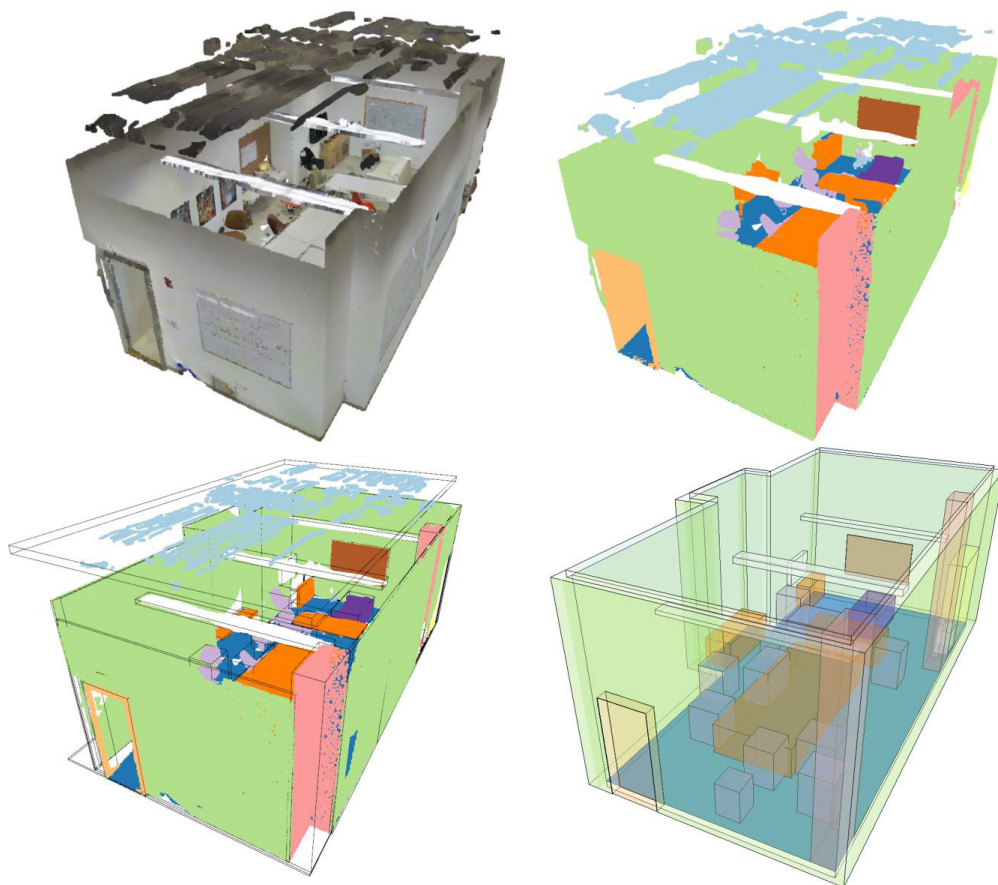


Figura 5
Segmentação, caracterização e modelação BIM de uma sala de reuniões.

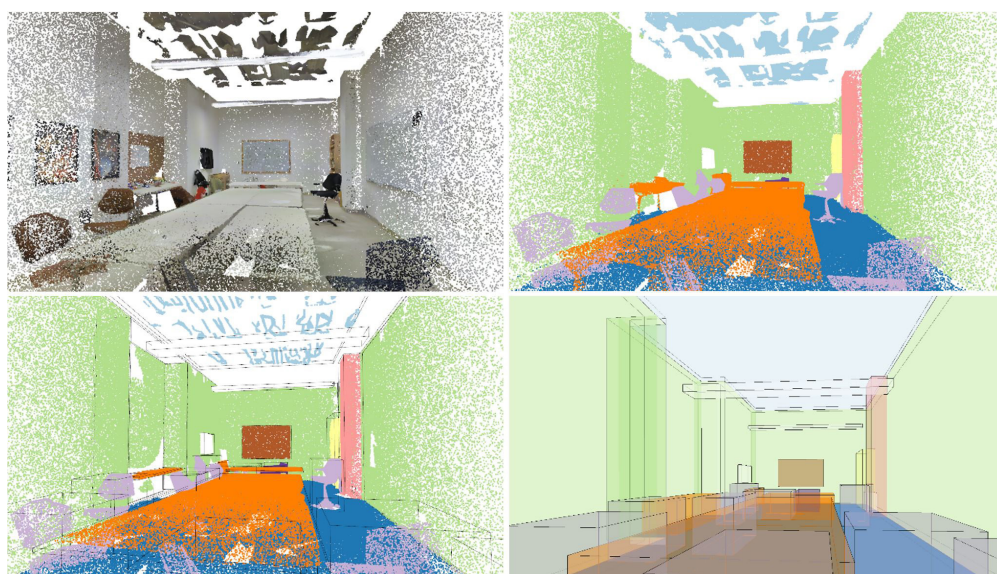


Figura 6
Vista interior da sala de reuniões visível na Figura 5.

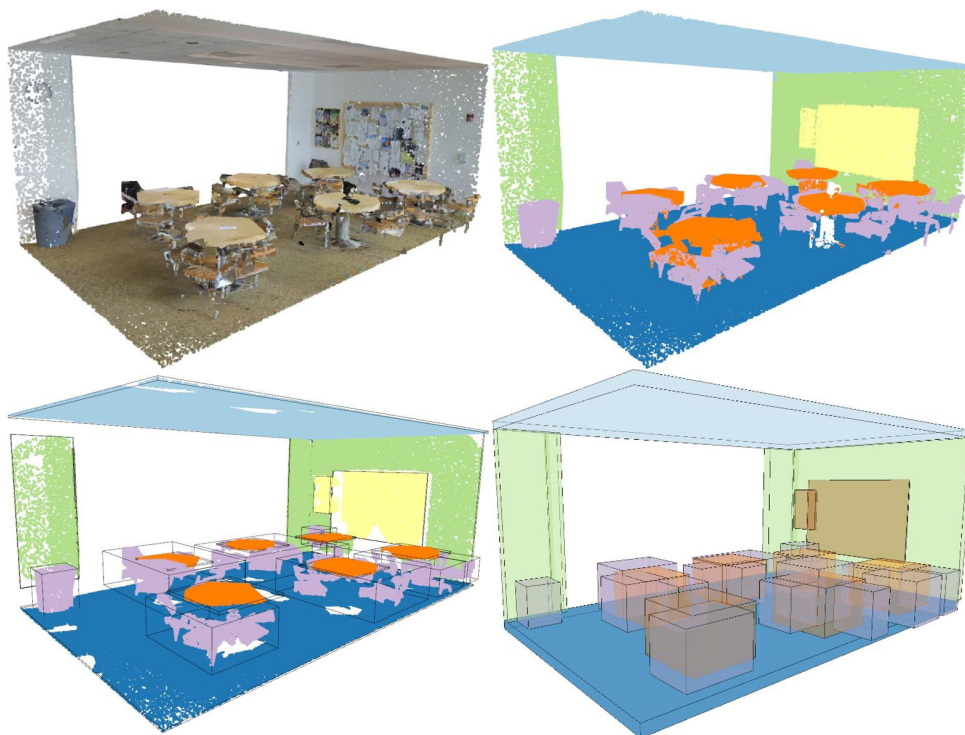


Figura 7
Segmentação, caracterização geométrica e modelação BIM de um refeitório.

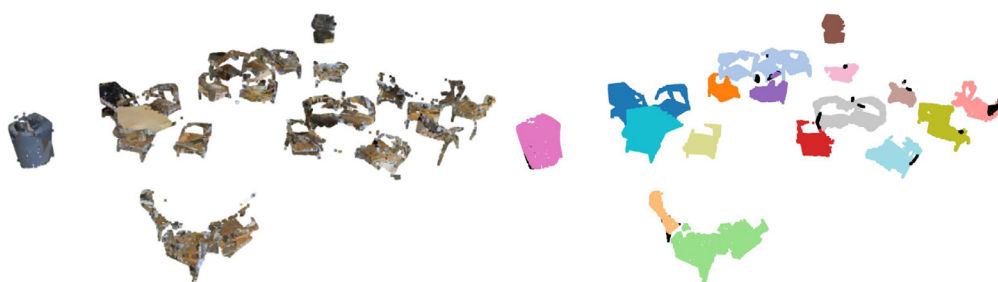


Figura 8
Segmentação de instâncias das cadeiras visíveis na Figura 7.

6. Conclusões

O presente artigo teve como objetivo desenvolver uma metodologia para automatização do processo Scan-to-BIM. Este objetivo teve como contexto a reabilitação do edificado existente, por forma a possibilitar uma rápida geração de modelos BIM e permitir uma rápida análise energética do modelo para identificação de medidas de reabilitação eficientes.

Neste sentido, o processo Scan-to-BIM foi dividido em seis etapas a automatizar, sendo proposta uma metodologia baseada em aprendizagem computacional e, mais especificamente, *deep learning*, para proceder à automatização.

A aplicação da metodologia num caso de estudo revelou resultados positivos, sendo atingida uma precisão global de 87,64% na segmentação semântica do *dataset* S3DIS. A modelação das referidas classes em ambiente BIM foi também considerado um sucesso.

Como trabalhos futuros, estão planeadas várias vertentes de ação, desde a expansão do *dataset* de treino à integração de novas tipologias de dados (e.g., de imagens termográficas).

7. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Este trabalho é também cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE). através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176].

Referências

- [1] European Parliament and Council of the European Union, “Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency”, *Official Journal of the European Union*, vol. 156, 2018.
- [2] European Commission, “Energy performance of buildings directive”, 2019 [Online]. Disponível: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive> [Acedido 02/03/2021]
- [3] Ö. Göçer, Y. Hua e K. Göçer, “A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping”, *Building Simulation*, vol. 9, 2016.
- [4] L. Sanhudo, N. M. M. Ramos, J. P. Poças, R. M. S. F. Almeida, E. Barreira, M. L. Simões e V. E. M. Cardoso, “Building information modelling for energy retrofitting – A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 89, 2018.
- [5] P. Tang, D. Huber, B. Akinci, R. Lipman e A. Lytle, “Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques”, *Automation in construction*, vol. 19, 2010.
- [6] Q. Wang, J. Guo e M.-K. Kim, “An application oriented scan-to-BIM framework”, *Remote sensing*, vol. 11, 2019.
- [7] L. Sanhudo, N. M. M. Ramos, J. P. Poças, R. M. S. F. Almeida, E. Barreira, M. L. Simões e V. E. M. Cardoso, “A framework for in-situ geometric data acquisition using laser scanning for BIM modelling”, *Journal of Building Engineering*, vol. 28, 2019.

- [8] M. Bassier e M. Vergauwen, "Unsupervised reconstruction of Building Information Modeling wall objects from point cloud data", *Automation in Construction*, vol. 120, 2020.
- [9] C. Wang, Y. K. Cho e C. Kim, "Automatic BIM component extraction from point clouds of existing buildings for sustainability applications", *Automation in Construction*, vol. 56, 2015.
- [10] F. Hamid-Lakzaeian, "Structural-based point cloud segmentation of highly ornate building façades for computational modelling", *Automation in Construction*, vol. 108, 2019.
- [11] T. Czerniawski, M. Nahangi, C. Haas e S. Walbridge. "Pipe spool recognition in cluttered point clouds using a curvature-based shape descriptor", *Automation in Construction*, vol. 71, 2016.
- [12] H. Son, C. Kim e C. Kim. "3D reconstruction of as-built industrial instrumentation models from laser-scan data and a 3D CAD database based on prior knowledge", *Automation in Construction*, vol. 49, 2015.
- [13] Y. Xie, J. Tian e X. X. Zhu. "Linking Points With Labels in 3D: A Review of Point Cloud Semantic Segmentation", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, vol. 8, 2020.
- [14] H. Balta, J. Velagic, W. Bosschaerts, G. De Cubber e B. Siciliano, "Fast Statistical Outlier Removal Based Method for Large 3D Point Clouds of Outdoor Environments", *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, 2018.
- [15] R. B. Rusu, N. Blodow e M. Beetz, "Fast Point Feature Histograms (FPFH) for 3D registration", em *IEEE Conference on Robotics and Automation*, Japão, 2009.
- [16] M. A. Fischler e R. C. Bolles, "Random sample consensus: a paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography", *Communications of the ACM*, vol. 24, 1981.
- [17] Y. Chen e G. Medioni, "Object modelling by registration of multiple range images", *Image and Vision Computing*, vol. 10, 1992.
- [18] H. Thomas, C. R. Qi, J.-E. Deschaud, B. Marcotegui, F. Goulette e L. J. Guibas, "KP-Conv: Flexible and deformable convolution for point clouds", em *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Computer Vision*, Coreia do Sul, 2019.
- [19] M. Ester, H.-P. Kriegel, J. Sander e X. Xu, "A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise", *Kdd*, vol. 96, 1996.
- [20] L. Yuan, J. Guo e Q. Wang, "Automatic classification of common building materials from 3D terrestrial laser scan data", *Automation in Construction*, vol. 110, 2020.

Dense stereo matching e modelagem HBIM aplicados à obra de Lina Bo Bardi: O mausoléu da família Odebrecht

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.37>

**Bruna Costa¹, Thiago Reis²,
Jessica Silva³, Natalie Groetelaars⁴**

¹ Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0001-9935-8923

² Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0002-1498-1634

³ Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0002-7077-1236

⁴ Universidade Federal da Bahia, Salvador, 0000-0001-6353-0509

Resumo

A proteção do património histórico edificado é muito importante para as sociedades locais e globais. Quando se diz respeito à Arquitetura Moderna, isso não poderia ser diferente. Nesse sentido, a obra da arquiteta Lina Bo Bardi pontua momentos e lugares importantes em diversas cidades brasileiras, como São Paulo, Salvador e Uberlândia e tem sido amplamente estudada. No que diz respeito à obra soteropolitana da arquiteta, ela tem sido destaque internacional. Há na cidade, no entanto, uma obra menos conhecida o Mausoléu da Família Odebrecht. De maneira a trazer luz a esta obra em particular, este artigo se utiliza de técnicas digitais de levantamento cadastral 3D e de documentação de geometria e informações semânticas (paradados) a respeito do edifício: o *Dense Stereo Matching* (DSM) e o *Historic Building Information Modeling* (HBIM), respectivamente.

1. Introdução

A preservação do património histórico-cultural como um todo – incluindo neste grande grupo o património edificado – é de extrema importância para todas as sociedades, uma vez que permite o entendimento de seus passados e respectivas culturas. Afinal, o património cultural é, segundo a UNESCO [1], “[...] nossa pedra de toque, nosso ponto de referência, nossa identidade”.

No que tange ao património edificado em particular, é importante destacar as potencialidades dos métodos digitais para levantamento cadastral, especialmente os sistemas de varredura para aquisição de nuvem de pontos associados ao *Building Information Modeling* (BIM), para ampliar e facilitar seu estudo, visualização e gerenciamento.

O presente artigo apresenta um estudo realizado em uma das obras construídas da arquiteta Lina Bo Bardi: o Mausoléu da Família Odebrecht, localizado em Salvador - Bahia. São descritas e discutidas as etapas de aquisição de dados através de técnicas automatizadas para restituição fotogramétrica (*Dense Stereo Matching*), de registro de diferentes nuvens de pontos, de modelagem HBIM - *Historic Building Modeling* (uso do BIM em edificações históricas) e inclusão de parâmetros aos modelos geométricos.

2. O mausoléu

Essa seção esclarece pontos de interesse relacionados ao Mausoléu da Família Odebrecht: seu histórico, projeto e a situação atual em que se encontra.

2.1. Breve histórico

A primeira passagem da arquiteta ítalo-brasileira Lina Bo Bardi por Salvador é breve: viveu na cidade somente seis anos, entre 1958 e 1964. No entanto, ela marca o seu tecido urbano com diversas obras – notórias ou não – durante sua estadia. Dentre elas, a primeira a ser projetada e talvez a mais singela é o Mausoléu da Família Odebrecht, localizado no Cemitério Campo Santo [2]. A arquiteta e o construtor Norberto Odebrecht se conheceram durante as obras de reconstrução do edifício do Teatro Castro Alves, destruído em um incêndio em julho de 1958. Ao saber da intenção do engenheiro de ampliar o espaço dos jazigos da família no cemitério do Campo Santo, Lina Bo Bardi passa a encabeçar o projeto. No entanto, por questões políticas desdobradas a partir do golpe civil militar, a arquiteta abandona a cidade em 1964. Esse fato a impossibilita de acompanhar a construção do mausoléu, levando-a a deixar a cargo do artista Carybé e do Irmão Paulo, do Mosteiro de São Bento [2], o acompanhamento e a finalização da obra.

2.2. O projeto

A intervenção de Bo Bardi sobre o jazigo antigo o transforma em um caixote reto e alto, dividido em três níveis (subsolo, térreo e terraço-jardim) e construído completamente em concreto armado. O acesso interno é realizado por meio da porta decorada (ver Fachada Sul na Figura 1a) que, assim como o letreiro com o cognome da família, é de autoria do religioso Irmão Paulo [2]. A ligação para o terraço se dá por meio de uma escada estreita, também construída em concreto, de acesso externo (ver Fachada oeste na Figura 1a).

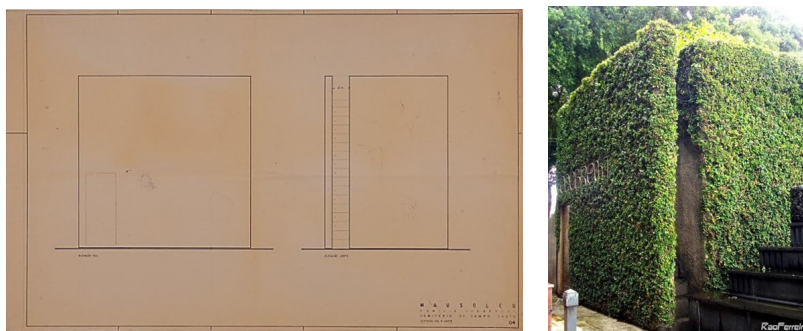


Figura 1
Prancha do projeto original do mausoléu, contendo Fachadas Sul e Oeste [2]; (b) Mausoléu recoberto por heras.

Internamente ao mausoléu, constam os carneiros que abrigam os restos mortais dos entes da família do proprietário do jazigo no subsolo, além de urnas funerárias e um pequeno espaço para realização de missas no térreo. Ademais, suas paredes brancas receberam algumas imagens com temática bíblica da autoria do artista plástico Carybé [2].

Nem tudo que foi idealizado pela arquiteta acabou por se concretizar: o primeiro exemplo que será citado diz respeito à tectônica do mausoléu: era desejo de Bo Bardi que fossem enxertados nas paredes externas as ferramentas de trabalho utilizadas pelos pedreiros e carpinteiros durante a obra, porém essa diretriz de projeto nunca foi realizada. Outra característica que destoa do originalmente projetado é a ausência das Buganvílias (Primaveras) escolhidas pela arquiteta para o paisagismo do terraço. Este plano, por outro lado, chegou a ser executado, mas, devido à dificuldade de manutenção das plantas, Norberto Odebrecht decidiu por cobrir o caixote por trepadeiras que faziam parte da construção até pelo menos o ano de 2009 quando o mausoléu foi registrado pela professora Carla Zollinger (Figura 1b).

2.3. Situação atual

Atualmente, é possível notar que ocorreram intervenções pontuais em relação à materialidade do mausoléu. Para fins comparativos, utilizou-se tanto o projeto autoral da arquiteta Lina Bo Bardi quanto fotos tiradas do edifício nos anos de 2005, 2007 e 2019. A primeira e mais notória mudança foi a retirada das heras que cobriam todo o corpo da edificação, deixando-a nua com o concreto de grande granulatura exposto como pode ser visto na Figura 2a.

De acordo com a análise comparativa entre a Figura 1b de 2009 e a Figura 2b de 2019, verificou-se que foi adicionado também um piso em pedra que circunda todo o edifício, possivelmente assentado quando foram retiradas as trepadeiras plantadas à base da construção.

No que diz respeito às patologias da edificação, a retirada das trepadeiras evidenciou manchas escuras de sujidade nas superfícies do jazigo, além de descolorações esbranquiçadas nos encontros das formas de concreto (Figura 2c), muito provavelmente provenientes da ação da água no concreto. Além disso, é possível notar a presença de pequenos pontos de vegetação no terraço do mausoléu. No entanto, e apesar dessas observações, é possível dizer que o edifício se encontra em estado de conservação satisfatório.



Figura 2
(a) Mausoléu em 2019;
(b) piso ao redor do mausoléu; (c) manchas descoloridas na edificação. Fonte: os autores.

Outras pequenas modificações podem ser percebidas: a colocação de uma placa de identificação do número do jazigo (042) no canto inferior direito da fachada norte (Figura 3a) e a substituição da fechadura na porta decorada do mausoléu (Figura 3b).



Figura 3
Placa de identificação do mausoléu; (b) nova fechadura na porta decorada.

3. Dense Stereo Matching

O levantamento cadastral é “instrumento inseparável” [3] do trabalho em património edificado, uma vez que permite compreensão e análise plena do objeto tanto em seu estado atual quanto em relação às transformações que passou durante sua existência. Os métodos tradicionais de levantamento (como a medição direta) mesmo que necessários e eficientes apresentam limitações. A fotogrametria digital, especificamente a técnica automatizada de restituição conhecida como *Dense Stereo Matching* (DSM) vem, portanto, como um recurso digital para aquisição de dados que está se popularizando “[...] a fim de tornar o processo de documentação mais ágil,

a gestão dos bens mais eficaz e a preservação do Patrimônio Arquitetônico mais efetiva [...]” [4].

O DSM é uma técnica para obtenção de nuvens de pontos por meio do processamento digital de fotografias. De acordo com Groetelaars e Amorim [5], o funcionamento do DSM baseia-se ao correlacionar conjuntos de pixels homólogos em diferentes fotos de maneira a gerar coordenadas tridimensionais das superfícies externas (visíveis) do objeto-alvo e, dessa forma, criar um modelo de nuvem de pontos. Segundo Chiabrando, Sammartano e Spanò [6], as nuvens de pontos representam modelos baseados em realidade e podem ser usadas para gerenciar e interpretar de edifícios históricos que são notórios pela complexidade geométrica. Desta maneira, estes modelos auxiliam na obtenção de documentação 2D e de geometria 3D acurados, além de contribuir na consecução de informação correlata em geral [7]. Groetelaars e Amorim [5] citam algumas diretrizes que devem ser seguidas quando se usa a técnica DSM: em primeiro lugar, deve-se atentar para a textura do objeto fotografado: ela não pode ser homogênea para que seja possível a identificação e correlação de conjuntos de pixels em diversas imagens. É necessário que cada parte do objeto seja fotografada de pelo menos três posicionamentos diferentes, paralelos ou com pequena inclinação entre si (de até 15°), de maneira que cada parte do objeto seja capturada com uma taxa de 80% de sobreposição entre fotos. É preciso atentar também para que todas as fotos sejam registradas durante um intervalo de tempo relativamente curto e sob as mesmas condições de luminosidade. Outra recomendação é a utilização de alvos físicos aplicados de maneira temporária nas superfícies do edifício para aumentar a diferenciação das feições e possibilitar a marcação precisa de pontos de controle e medidas.

4. Historic Building Information Modeling

De acordo com Eastman *et al.* [8], BIM é o nome que se dá à tecnologia de modelagem virtual de edificações aliada às informações de processos com o objetivo final de construir, compartilhar e analisar esses modelos. O BIM se utiliza de um banco de dados constantemente alimentado pelos profissionais envolvidos de modo a abranger diferentes pontos de vistas sobre uma única construção, possibilitando uma experiência positiva, segura e produtiva para todas as pessoas envolvidas no processo em qualquer momento de seu ciclo de vida [9]. Nas últimas décadas, o setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) tem se utilizado cada vez mais deste paradigma, devido aos inúmeros benefícios que ele traz ao processo de projeto de construção civil. Entretanto, foca-se ainda nas vantagens que o BIM traz para construções novas e deixa-se de lado, de maneira geral, as fases posteriores do ciclo de vida de uma edificação, como manutenção e demolição. Contudo, ao se levar em consideração questões pertinentes à realidade da sociedade global do Século XXI, como a progressiva escassez de recursos naturais, é necessário que o setor AECO foque suas energias também na reabilitação de edifícios existentes, incluindo nessa esfera o patrimônio construído [10].

Historic Building Information Modeling (HBIM) é um termo utilizado para se referir a aplicação dos processos BIM a edifícios históricos. A modelagem 3D e aplicação do paradigma BIM em estruturas históricas são peças-chave para preservação do património, uma vez que são ferramentas poderosas para os processos de documentação, salvaguarda, monitoramento e futuras ações de restauração [6].

5. Métodos e processos

O presente trabalho foca na documentação BIM derivada do levantamento cadastral por nuvem de pontos e, para tal, obedeceu a etapas ilustradas na Figura 4.



Figura 4
Sequência dos procedimentos realizados.

5.1. Levantamento cadastral

O levantamento cadastral do jazigo ocorreu ao longo de três dias e foi realizado com os seguintes instrumentos: (i) trena a laser GLM40 da Bosch com alcance de 40 m; (ii) trena de aço com alcance de 5 m; (iii) nível de bolha e (iv) câmara DSLR Nikon D3000 com lente AFS Nikkor 15/55mm f/3,5-5,6G DX VR.

Na primeira visita, fotografou-se o mausoléu de todos os ângulos, procurando manter uma taxa de sobreposição de 80% entre as fotografias. Esta tarefa se mostrou com mais desafios e menos resultado do que o esperado inicialmente devido à proximidade com os outros jazigos e mausoléus ao redor do edifício. Após a tomada fotográfica, criou-se a primeira versão da nuvem de pontos nos softwares Agisoft Metashape e Autodesk Recap, além de uma primeira tentativa de retificação de uma fotografia da porta.

A segunda visita foi designada para a medição direta (manual) do mausoléu e para a tomada fotográfica mais precisa da fachada leste, da escada e do terraço-jardim. O levantamento cadastral foi realizado utilizando a trena a laser para as dimensões maiores, como altura e largura das laterais das quatro fachadas, a altura da porta e medidas do terraço. A trena de aço foi utilizada para medir as espessuras das paredes, a altura dos degraus da escada, além das pequenas aberturas nas fachadas oeste e sul através de cotas acumuladas.

Ao contrário das anteriores que foram realizadas pela manhã, a terceira e última visita foi feita à tarde, por volta das 15 h. Esta mudança foi necessária e proposital para obter fotografias mais nítidas da fachada sul, muito iluminada pela luz do sol durante a manhã. Ademais, adicionou-se também oito alvos temporários no edifício com o objetivo de referenciar as fachadas manualmente usando o software Photomodeler:

quatro deles a 40 cm do ponto mais alto do edifício e mais quatro nivelados a 40 cm da base do mausoléu.

5.2. Criação das nuvens de pontos

As fotografias foram processadas em dois softwares distintos para a criação da nuvem de pontos: Agisoft Metashape e Autodesk ReCap. Cada um deles possui uma função específica e foram essenciais para os resultados do trabalho. O Metashape, por exemplo, foi usado para a geração das nuvens de pontos, enquanto o ReCap, para a junção dos modelos em um único arquivo, com mesmo sistema de coordenadas (registro da nuvem de pontos) e para a exportação em formato RCS.

O Metashape foi o primeiro programa a ser utilizado (Figura 5) para processar as imagens de maneira a criar uma nuvem de pontos. Devido à posição do mausoléu e os obstáculos ao seu redor (que dificultaram a tomada fotográfica) e às limitações dos equipamentos disponíveis (destacando-se a falta de um drone), viu-se a necessidade da criação de duas nuvens de pontos distintas (em processamentos separados): uma para as fachadas (planos verticais) do edifício e sua escada e uma segunda retratando somente o terraço (plano horizontal).

No Metashape, foram realizados os seguintes processamentos, para geração de: (1) nuvem de pontos esparsa, (2) nuvem de pontos densa, (3) malha triangular irregular, (4) malha texturizada, (5) ortofoto.

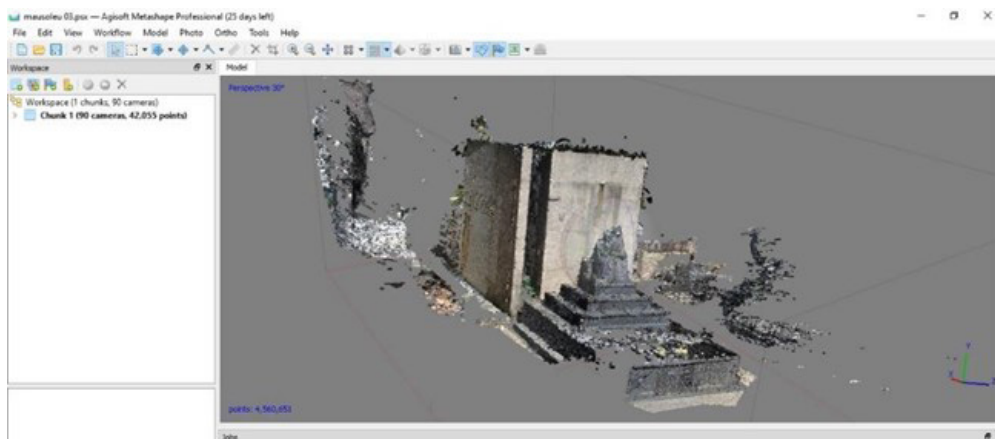


Figura 5

Nuvem de pontos gerada no Agisoft Metashape. Fonte: os autores.

Antes de importar as nuvens de pontos no Recap, foram verificados problemas de alinhamento dos dois modelos, especialmente nesse caso específico, em que não havia praticamente trechos em comum registrados nas duas nuvens de pontos (dada presença dos obstáculos e dificuldade de tomada fotográfica). Era necessário que ambas estivessem na mesma escala, rotação e translação, ou seja, que usassem o mesmo sistema de coordenadas de referência. Portanto, foi necessário utilizar a ferramenta "markers" do Metashape de maneira a criar coordenadas conhecidas das arestas das fachadas (partes em comum nas duas nuvens de pontos). Após esta etapa, levou-se

ambas as nuvens de pontos já corrigidas para o software ReCap de modo a uni-las (Figura 6), permitir a representação completa do exterior da edificação, e possibilitar a geração de formato de arquivo compatível para inserção no Revit (RCS).



Figura 6
Nuvens de pontos unidas (registradas) no Autodesk ReCap. Fonte: os autores.

5.3. Modelagem HBIM do mausoléu

A modelagem do Mausoléu da Família Odebrecht começou com a inserção da nuvem de pontos no software Autodesk Revit, versão 2020 (Figura 7). Após este primeiro procedimento, foi feita uma rápida análise visual do grau de complexidade das geometrias encontradas em “simples, complicadas e únicas” de acordo com Chiabrando, Sammartano e Spanò [6]. As autoras fornecem soluções de modelagem consoantes com cada grau: para geometrias simples, sugere-se a utilização de famílias do sistema e funcionalidades do próprio programa escolhido. Já para formas complexas, a criação de famílias paramétricas específicas, baseadas em nuvem de pontos. Finalmente, para geometrias únicas, vê-se a necessidade de utilizar algoritmos B-rep ou apelar para *Non Uniform Rational Basis Splines* (NURBS). No caso do mausoléu em particular, identificou-se a presença de geometrias simples e complexas, não precisando, portanto, usar NURBS.

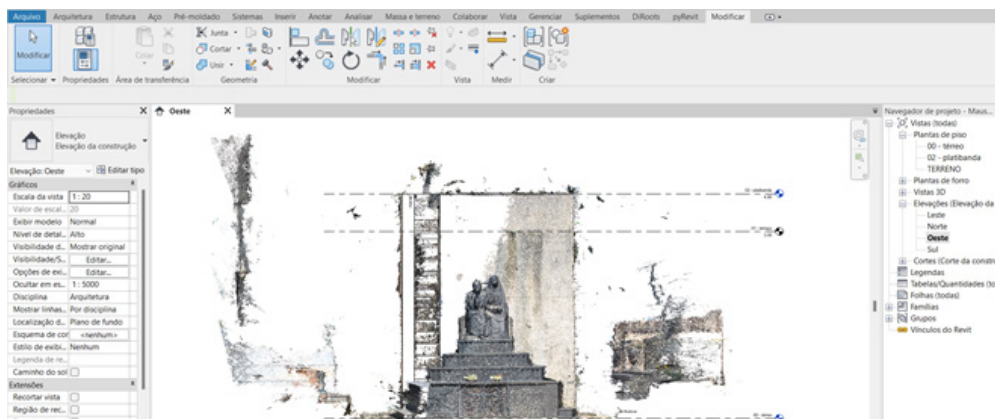


Figura 7
Fachada oeste do mausoléu. Fonte: os autores.

As geometrias simples foram resolvidas com facilidade com as chamadas “famílias de sistema” do Revit. Devido às formas modernistas da edificação e de técnicas construtivas mais precisas, as ferramentas de parede e piso atenderam às demandas. Já no caso das formas mais complexas da edificação, como a escada, letreiro e porta decorada, viu-se a necessidade de usar o recurso de “modelagem no local” de maneira a permitir uma modelagem mais fidedigna da forma real dos elementos construtivos, conforme era visualizado na nuvem de pontos (Figura 8).

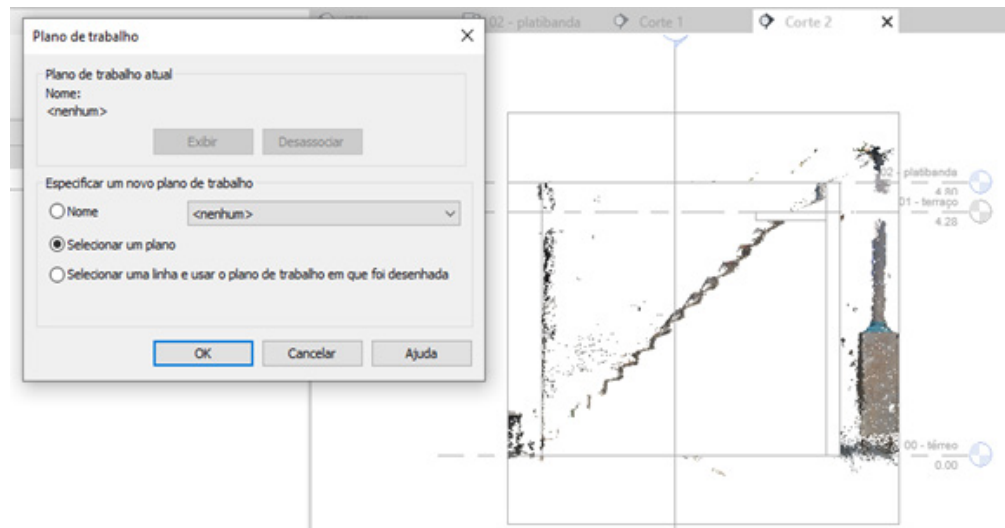


Figura 8
Modelagem no local da escada do mausoléu.
Fonte: os autores.

5.4. Paradados

O procedimento seguinte foi a elaboração de estratégias para o registro dos chamados paradados que, de acordo com o glossário da Carta de Londres para Visualização Computadorizada do Património Cultural [11], podem ser definidos como:

Informação sobre processos humanos de compreensão e interpretação de dados. Exemplos de paradados incluem descrições armazenadas numa base de dados estruturada sobre a evidência do seu uso para interpretar um artefato ou para comentar uma premissa metodológica numa publicação científica. Estão relacionados [...] dos ‘metadados contextuais’, que tendem a comunicar interpretações de um artefato ou coleção em vez do processo pelo qual um ou mais objetos foram processados ou interpretados.

Partindo deste ponto de vista, decidiu-se pela criação de conjuntos de parâmetros compartilhados (Quadro 1) para a catalogação e documentação dessas informações semânticas dentro do próprio modelo BIM. Parâmetros compartilhados são, de acordo com o site oficial da Autodesk, “[...] definições de parâmetros que podem ser utilizados em múltiplas famílias ou projetos [...]” podendo ser reutilizados em inúmeros modelos BIM após a sua criação.

Grupo de parâmetros	Parâmetro	Tipo de parâmetro
Projeto	Ano de projeto	Texto
	Elementos não executados	Texto
Intervenção	Ano de intervenção	Texto
	Intervenção realizada?	Sim/Não
Execução	Ano de execução	Texto
	Data de checagem	Texto
	Estado de conservação	Texto
Conservação	Patologia	Sim/Não
	Patologia identificada	Texto

Quadro 1
Parâmetros e suas classificações.

Estes parâmetros devem ser, portanto, preenchidos com informações relevantes fruto da pesquisa iconográfica e histórica do objeto em questão de maneira que o modelo possua dados além da geometria do edifício. Tendo dito isso, durante a modelagem (Figura 9) ficou nítido que nem todo o tipo de parâmetro compartilhado pode ser inserido em famílias nativas do sistema do Revit, como paredes, pisos, rampas e escadas. Para tal, é necessário se utilizar da Interface de Programação de Aplicativos (API) do Revit, além de enveredar no estudo de linguagens de programação tal qual o Python. Este fato será explorado em pesquisas futuras.

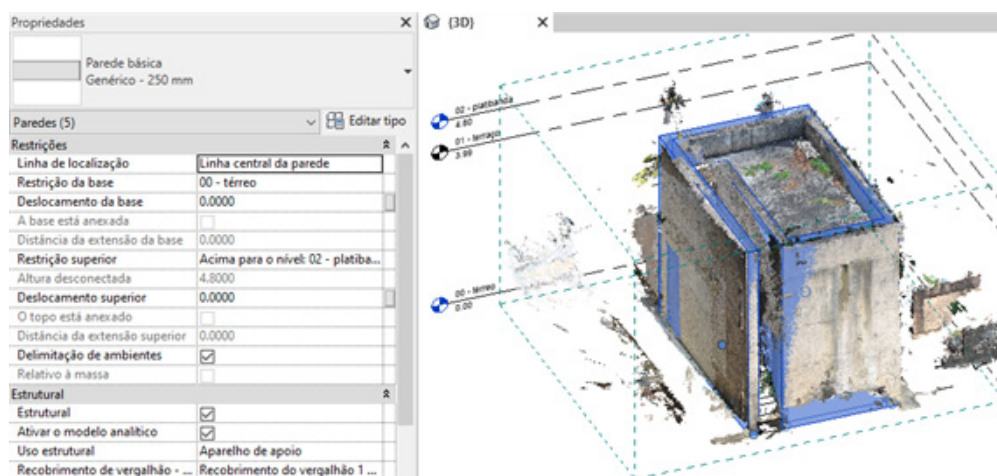


Figura 9
Barra de propriedades da família de sistema "Parede Básica".

6. Conclusão

O presente artigo comprova a eficiência de um fluxo de trabalho que permite usar nuvens de pontos geradas por técnicas automatizadas de fotogrametria digital (*Dense Stereo Matching*) como base para modelagem BIM, com o objetivo de representar o edifício em seu estado atual e de registrar os processos de interpretação e compreensão da informação levantada.

O levantamento cadastral a partir do DSM, e o fluxo de trabalho adotado para junção das nuvens de pontos mostrou-se um interessante método de aquisição de dados, permitindo registrar de forma rápida, precisa e com recursos de baixo custo, a geometria e textura do exterior do mausoléu projetado Lina Bo Bardi.

Há indícios de que é possível, portanto, criar um modelo HBIM centralizado, assertivo e fidedigno, que servirá potencialmente como um banco de dados para as disciplinas de conservação do património edificado. Para tal, é importante que ainda ocorram estudos futuros que possam reforçar a metodologia.

Referências

- [1] UNESCO, "Educação Patrimonial", 2017.
- [2] A. C. Bierrenbach. "Lina Bo Bardi e o Mausoléu da Família Odebrecht, entre o etéreo e o terreno", in *Minha Cidade* (2005), São Paulo, 2005.
- [3] M. Oliveira, *A documentação como ferramenta de preservação da memória*. Brasília: IPHAN/Programa Monumenta, 2008.
- [4] M. M. A. Tolentino, "A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Património Arquitetónico", in *Blucher Design Proceedings (2016)*, pp. 510-518. doi: 10.5151/despro-sigradi2016-534.
- [5] N. J. Groetelaars, A. L. Amorim, "Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvem de pontos por fotografias", in *SI-GRADI 2012 – Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital (2012)*, pp. 361-365.
- [6] F. Chiabrando, G. Sammartano, A. Spanò, "A historical buildings models and their handling via 3D survey: from points clouds to user-oriented HBIM", in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences (2016)*.
- [7] R. Quatrinni *et al.*, "From TLS to HBIM: high quality semantically-aware 3D modeling of complex architecture", in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences (2015)*, pp. 367-374.
- [8] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. Hoboken, N.J.: Wiley, 2014.
- [9] Y. Arayici, and G. Aouad, "Building Information Modelling (BIM) for construction lifecycle management", in *Construction and Building: Design, Materials and Techniques (2010)*, Hauppauge, Nova York, EUA: Nova Science Publishers, 2010, pp. 99-118.
- [10] R. Volk, J. Stengel, F. Schultmann, "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings – Literature review and future needs", in *Automation in Construction (2014)*
- [11] H. Denard, "The London Charter for the computer based visualization of cultural heritage", 2009.

Criação de nuvens de pontos a partir da fotogrametria: Análise de sensibilidade

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.38>

**Ricardo Vicentin^{1,3}, Ricardo Almeida^{1,2},
Daniela Gutstein³, Clarice Farian de Lemos³, Eva Barreira²**

¹ *Instituto Politécnico de Viseu, Viseu, Portugal*

² *LFC-CONSTRUCT, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal*

³ *DACOC, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil*

Resumo

A crescente importância da representação digital de elementos de construção e suas características em modelos baseados nas metodologias BIM, está a introduzir alterações muito relevantes nas fases de projeto, de construção e de gestão de operações. Em contexto de reabilitação de edifícios, o levantamento do existente assume especial importância, sendo imprescindível a utilização de métodos rápidos e precisos de apoio ao levantamento geométrico do edificado. Existem atualmente diversas técnicas de levantamento aplicáveis à modelação digital, destacando-se a fotogrametria pelo seu baixo custo e facilidade de implementação in-situ.

Neste trabalho, aborda-se um estudo de caso utilizando a fotogrametria digital para a criação de modelos a partir de nuvens de pontos, procurando definir a melhor metodologia aplicável. São avaliadas condições de aplicabilidade, equipamentos, sobreposição das imagens, captura de fotografias e acessibilidade a algumas zonas dos edifícios. Essas condições são relacionadas com a qualidade de detalhes de pontos específicos, como distorções entre medidas obtidas no modelo digital e medidas reais. Utilizou-se o programa Autodesk ReCap e a análise dos resultados permite aferir o impacto da câmara e do número de fotografias utilizadas na geração dos modelos. De forma resumida, o trabalho contribui para a definição do melhor procedimento de captura de fotografias e propõe uma metodologia para implementação em trabalhos futuros. Também foi possível confirmar que a qualidade da nuvem de pontos está não só ligada à quantidade de fotografias utilizadas, mas também ao registo em diferentes ângulos e sobreposição das imagens, iluminação, qualidade do sensor fotográfico e da lente utilizada.

1. Introdução

A crescente utilização de novas tecnologias na engenharia civil é uma oportunidade única para alavancar a qualidade das edificações e planejamento por parte dos diversos intervenientes no setor da construção. Por outro lado, documentar obras e edifícios existentes sempre foi uma necessidade da construção civil, e, com a melhoria da tecnologia, esta tarefa tornou-se muito mais simples. O processo, anteriormente manual, evoluiu para o registo de informações digitais em softwares do tipo CAD e, mais tarde, foram criados os programas de aplicação dos princípios da fotogrametria, que consiste na medição ou registo de informações através do uso de fotografias. Isso significa que é possível gerar um modelo tridimensional das edificações existentes a partir de fotografias tiradas do local.

A fotogrametria é considerada por muitos como a melhor técnica para processamento de dados em imagem, sendo capaz de fornecer para qualquer aplicação desejada informações 3D precisas, com dados métricos e detalhados, com estimativas de precisão e do nível de confiabilidade do modelo. A fotogrametria tem maior aplicação na cartografia, mapeamento, documentação de patrimónios culturais, engenharia reversa, monitoramento e análise de deformação de estruturas, planejamento urbano e outros [1].

Os modelos tridimensionais gerados têm diversos formatos, como por exemplo malhas de triângulos e nuvem de pontos [2], e podem ser usados principalmente para documentação dos projetos existentes, que sofreram alterações ao longo do tempo ou de edificações sem projeto. A fotogrametria tem como objetivo facilitar a documentação destes edifícios e atuar nos projetos e manutenção dos mesmos.

O programa computacional Autodesk ReCap é uma ferramenta que permite compilar as informações das fotografias tiradas num determinado ambiente, interpretá-las matematicamente e criar então um modelo tridimensional da estrutura desejada num formato de nuvem de pontos.

2. Metodologia

2.1. Enquadramento

A metodologia estabelecida para o trabalho assenta na geração de nuvens de pontos do exterior do edifício de estudo. O procedimento incluiu uma análise de sensibilidade relativamente à quantidade das fotografias utilizadas e uma comparação de vários equipamentos para a captura das imagens.

2.2. Equipamentos

Foram utilizados três equipamentos para a captura das fotografias: uma câmara fotográfica digital, modelo Sony Cyber-shot DSC-W330; um o smartphone Apple iPhone 11 Pro Max; e uma câmara do tipo DSLR, marca Canon, modelo EOS Rebel T6.

A Tabela 1 mostra uma síntese das principais características técnicas dos equipamentos.

	Resolução	Sensor	Alcance focal	Abertura
(1) Sony Cyber-shot DSC-W330	14.1 megapixels	CCD de 1/2.3"	26 mm a 105 mm	F2.7 - F5.7
(2) Apple iPhone 11 Pro Max	12 megapixels	CCD de 1/2.55"	26 mm a 52 mm	F1.8 - F2.4
(3) Canon EOS Rebel T6	18 megapixels	CMOS de 1/3.5"	38 mm a 76 mm	F4.5 - F5.6

Tabela 1
Características dos equipamentos utilizados para a captura das fotografias.

2.3. Caso de estudo

O objeto de estudo é uma residência do tipo sobrado, localizada num bairro residencial na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil. A residência foi projetada em 2003 e conta com 4 quartos, sala de estar, cozinha, lavanderia, dispensa, sala de televisão, lavabo, garagem, varanda e área de lazer.

O alçado principal da casa tem aproximadamente 22 metros de comprimento (Figura 1).



Figura 1
Caso de estudo – alçado principal.

2.3. Procedimento de ensaio

Na captura das fotografias foi sempre garantida uma sobreposição de imagem de pelo menos 50% em todas as imagens, conforme indicado na literatura [3]. A primeira tarefa do ensaio foi selecionar a hora do dia mais adequada para capturar as imagens. Nessa escolha, alguns aspetos foram tidos em consideração, nomeadamente: a incidência de luz não deve ser muito alta para que não prejudique as imagens da

câmara e devem ser evitadas sombras sobre o edifício. Neste sentido, a recolha das imagens foi efetuada cerca das 16h, quando ainda há incidência solar direta, mas com intensidade moderada.

Escolhido o horário, foi então definido um procedimento de ensaio, que inclui o trajeto a ser percorrido e a identificação dos pontos onde deveriam ser tiradas as fotografias, conforme representado na Figura 2.



Figura 2
Posições estabelecidas para a captura das fotografias.

Foram estabelecidos três grupos de fotografias: o primeiro com 25 fotografias; o segundo com 50 fotografias; e o terceiro com 75 fotografias.

As imagens obtidas não sofreram nenhum pré-processamento, de modo a não condicionar a comparação entre os equipamentos de captura das fotografias. Desta forma, os ajustes foram todos realizados antes de captar as fotografias e de forma automática, como a definição da abertura, ISO e exposição. A qualidade da imagem foi sempre a maior permitida por cada equipamento.

Após a captura de todas as imagens, avançou-se para a criação dos modelos de nuvem de pontos, utilizando-se, para tal, o programa Autodesk ReCap Photo.

Para facilitar e quantificar a comparação entre os modelos gerados, foram selecionados dois elementos do edifício (beirado da cobertura superior esquerda e beirado da cobertura inferior direita) e o respetivo comprimento foi adotado como indicador numérico de comparação (Figura 3).



Figura 3
Elementos para comparação: a) cobertura superior esquerda; b) cobertura inferior direita.

3. Resultados

A Figura 4 sintetiza os resultados obtidos nos diferentes ensaios, sendo possível observar o impacto quer da utilização de conjuntos de fotografias de diferentes dimensões, quer dos diferentes equipamentos usados para captar as imagens.

As Figuras 5 e 6 mostram o pormenor relativo aos beirados da cobertura superior esquerda e da cobertura inferior direita, cujos comprimentos foram utilizados como indicador para a avaliação da qualidade/rigor dos modelos.

A partir dos resultados pode-se observar a evolução da qualidade dos modelos gerados em função do aumento do número de fotografias utilizadas. É possível afirmar que, para o caso apresentado, a análise de sensibilidade em relação à quantidade de fotografias utilizadas para a criação de nuvens de pontos mostrou que o aumento do número de fotografias inseridas se traduziu no aumento da qualidade do modelo.

Além da quantidade de fotografias, a escolha do equipamento a ser utilizado também afetou o resultado obtido. Mesmo com o uso de uma câmara profissional, a escolha de uma lente não adequada pode limitar o ângulo das fotografias tiradas e impedir a criação de uma nuvem de pontos completa.

Assim, é possível concluir que a sobreposição é indispensável para a geração de um bom modelo, mas por si só não garante um bom resultado, já que é preciso que as imagens contenham informação suficiente para que o programa possa identificar alguns pontos em comum e gerar uma nuvem de pontos com qualidade.



Figura 4
Matriz com a comparação dos resultados.

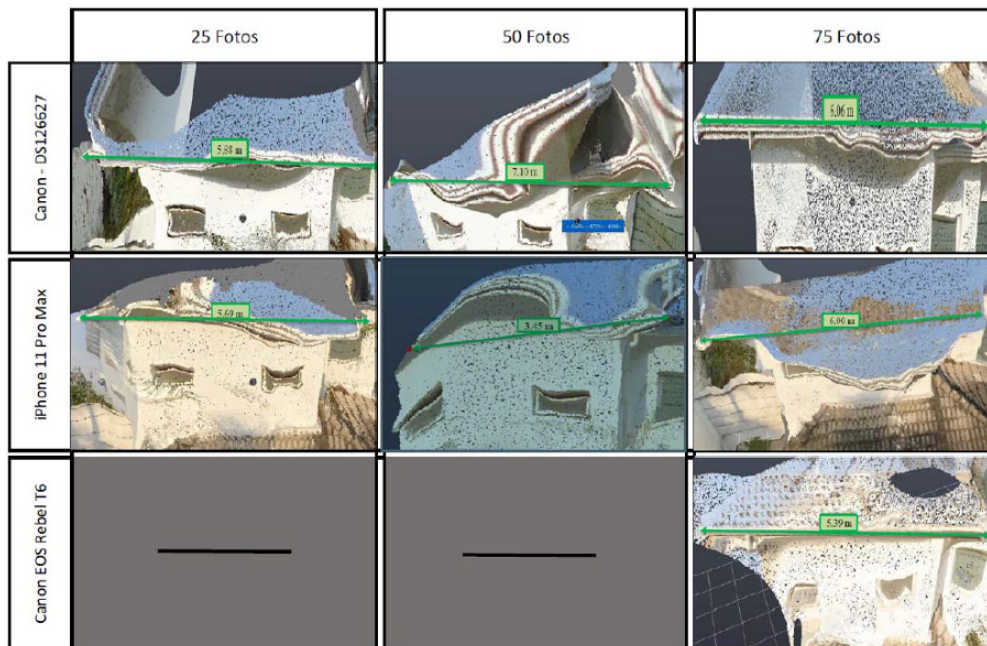


Figura 5
Matriz com a medida do beirado da cobertura superior esquerda.

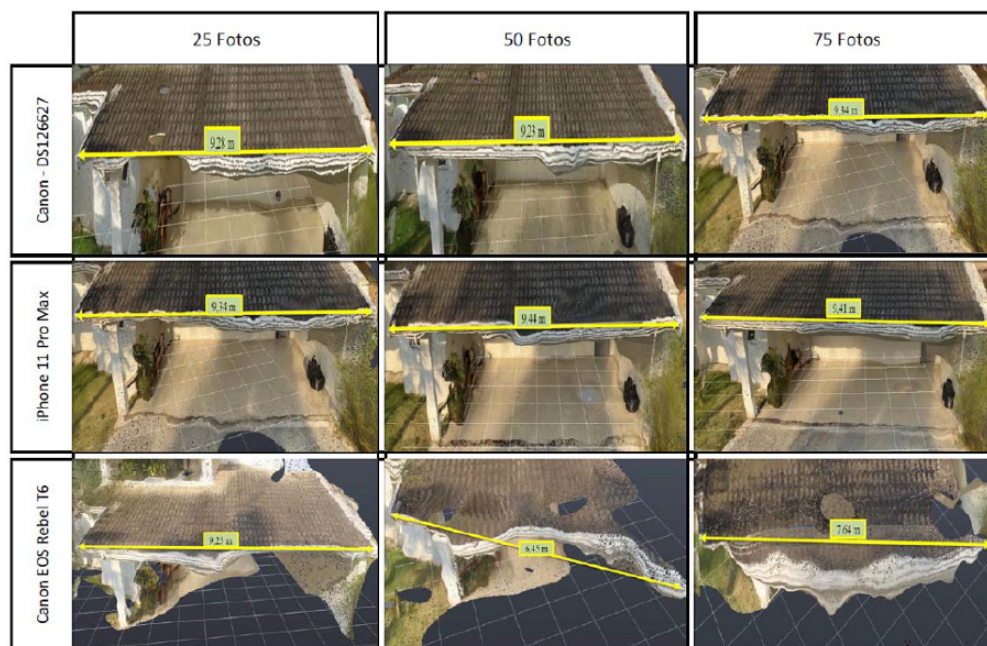


Figura 6
Matriz com a medida do beirado da cobertura inferior direita.

4. Discussão e conclusões

Para o caso de estudo apresentado, o fator preponderante da qualidade do modelo foi o número de fotografias usadas na criação do modelo. A sobreposição das singularidades garante que o programa consiga interpretar todas as informações necessárias para criar um objeto com um bom nível de semelhança com a realidade.

Por outro lado, a câmara utilizada deve ter abertura angular da ordem de F1.8 a 3.0, dependendo do tamanho e distância do objeto focalizado. A incidência solar não

deve ser direta pois pode gerar reflexo e ruídos nas imagens, prejudicando o resultado final do modelo criado.

Levando em consideração a escolha correta da câmara e da hora do dia para se realizar o ensaio, sugerem-se as seguintes orientações para a captação das fotografias:

1. Deve-se selecionar a opção de foco manual, caso esteja disponível no dispositivo;
2. Escolher o ponto de início do ensaio, preferencialmente na extremidade do edifício;
3. Posicionar a câmara paralelamente ao eixo horizontal principal e ajustar o foco corretamente para então tirar a primeira fotografia;
4. Rodar a câmara em torno do seu eixo vertical alguns graus no sentido do objeto em estudo, procurando incluir cerca de 60% do conteúdo da imagem anterior, e tirar uma nova fotografia;
5. Repetir o passo 3 até que se haja fotografias da totalidade do objeto do ensaio;
6. Mover a câmara aproximadamente 1 metro para o lado e repetir os passos 3, 4 e 5 até que se chegue ao lado oposto do inicial;
7. Quando possível, repetir o procedimento de tomada de fotografias para um nível mais elevado, para registar as zonas mais altas do edifício e a cobertura.

Referências

- [1] F. Remondino and S. El-Hakim, "Image-based 3D Modeling: A Review", *The Photogrammetric Record*, vol. 21, pp. 269-291, September 2006.
- [2] L. Sanhudo; N.M.M. Ramos, J.P. Martins, R.M.S.F. Almeida, E. Barreira, M.L. Simões, V. Cardoso, "A Framework For In-Situ Geometric Data Acquisition Using Laser Scanning For Bim Modelling", *Journal of Building Engineering*, vol. 28, 101073, 2020, doi:10.1016/J.Job.2019.101073.
- [3] A. Barnes, Adam, "Four Basic Steps Of A Close-Range Photogrammetry Project", Cast Technical Publications Series, Number 7561, 2011.

Levantamento de condições existentes com lidar em dispositivos móveis e análise de pavimentos usando BIM

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.39>

**Pedro Luis Soethe Cursino¹,
Fernanda Almeida Machado²**

¹ Autodesk, São Paulo, 0000-0002-0206-5647

² Autodesk, São Paulo, 0000-0001-5571-1254

Resumo

A gestão do diagnóstico das patologias e manutenção dos pavimentos é um desafio latente nas diversas entidades da esfera pública responsáveis pela infraestrutura viária. O volume de amostras rejeitadas em trechos de recapeamento nos grandes centros remete à ineficiência do gerenciamento de pavimentos urbanos e à necessidade de incorporação de tecnologias que subsidiem: (i) a construção de inventários da malha viária; (ii) a emissão de relatórios que orientem tomadas de decisão e planos de manutenção baseados em dados; e (iii) a eficiência dos projetos de manutenção. Nesse contexto, as tecnologias scan-to-BIM e o uso de dispositivos móveis podem simplificar o levantamento das condições existentes e trazer precisão às estratégias de manutenção dos pavimentos. O objetivo deste artigo é avaliar o emprego do LiDAR embarcado em dispositivos móveis como recurso acessível no levantamento de condições do pavimento e o potencial de integração destes dados ao projeto de manutenção mediado por processos de Modelagem da Informação da Construção (BIM). Adotou-se como procedimentos metodológicos a pesquisa exploratória, seguida de experimento em um trecho de via urbana da cidade de São Paulo. As contribuições do trabalho identificaram as variáveis de análise do pavimento a partir do uso do LiDAR, qualificaram a precisão de suas características físicas e potencial de desempenho de dispositivos de levantamento de menor custo, bem como a exploração de usos do modelo BIM no experimento supracitado. Os usos compreenderam a geração de um plano customizado e a análise e automação de soluções de manutenção – como fresagem, recapeamento e correções do pavimento.

1. Introdução

Desde as vias romanas até as mais modernas estradas, a manutenção estrutural de pavimentos é um dos maiores balizadores de durabilidade e indicador de benefício de longo prazo na infraestrutura viária [1]. Segundo Mascarenhas Neto [2], entre as obrigações inerentes à sua conservação estão “vigiar qualquer pequeno estrago, que ou pelas chuvas, ou pelo trilho dos transportes, principia a formar-se no corpo da estrada, nos caixilhos, nos fossos e nos aquedutos”. A taxa de deterioração dos indicadores de desempenho do pavimento depende de vários fatores, incluindo cargas de tráfego, condições climáticas atreladas a mudanças de umidade e temperatura, métodos construtivos, materiais, entre outros. Esses fatores desdobram-se em defeitos típicos, como trincas, exsudação, deformações, desagregações e rupturas de revestimento [3].

As falhas de conservação e a falta de manutenção da malha rodoviária, incluindo o pavimento asfáltico, influenciam em prejuízos diretos que abarcam: o acréscimo no consumo de combustíveis, em até 58%, e no custo operacional de veículos, em até 40%; a elevação no índice de acidentes, em até 50%; o acréscimo no tempo de viagem, em até 100%; entre outros indicadores de impacto destacados no Manual de Conservação Rodoviária IPR-710 [3] do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Esses impactos geram uma necessidade latente por planos de manutenção não somente nas vias rodoviárias que conectam cidades, mas também dentro dos limites urbanos. No Brasil, o volume de recursos alocados no Plano Asfalto Novo da Prefeitura de São Paulo (SP), por exemplo, atendia à previsão de R\$550 milhões de reais em obras de recuperação de vias, destinados a 300km de recapeamento. Entretanto, segundo o Tribunal de Contas Municipal, cerca de 57% de amostras dos serviços realizados foram rejeitadas, devido à espessura aplicada, erros de cálculo de mão de obra, materiais de pavimentação e de transporte – entre outros itens relevantes apontados pelo órgão regulador [4].

Por conseguinte, observa-se a necessidade de mecanismos que simplifiquem e suportem a análise de pavimentos e a resolução de patologias identificadas. O emprego de tecnologias digitais associadas ao levantamento e análise de condições existentes pode subsidiar tomadas de decisão devido ao potencial de gerenciamento de dados heterogêneos de diferentes fontes [5]. No âmbito da infraestrutura rodoviária e sua gestão, as tecnologias inerentes à Modelagem da Informação da Construção (BIM) têm sido empregadas em atividades que incluem escavação, nivelamento, fregagem e pavimentação; coleta e atualização de documentação as-built; geração de dados para a criação de inventários digitais [6]; e automação de processos para seleção de pavimentos atrelados à vida útil desejada [7]. Exemplos de usos do modelo associados à manutenção de pavimentos estão presentes em processos scan-to-BIM voltados para a análise de irregularidades do pavimento e a otimização de custos de reabilitação [8]. Apesar do crescente interesse pelo assunto, Costin et al. [9] e Oreto et al. [10] apontam que o orçamento disponível costuma ser limitado e torna-se

necessária a elaboração de procedimentos que auxiliem na priorização de atividades de Operação & Manutenção (O&M).

2. Procedimentos metodológicos

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é avaliar o emprego de *Light Detection and Ranging* (LiDAR) embarcado em dispositivos móveis como recurso acessível no levantamento das condições de superfície de pavimentos; assim como o potencial de integração destes dados ao projeto de manutenção mediado por BIM. Adotou-se como procedimentos metodológicos a pesquisa exploratória, seguida de experimento [11] em uma via urbana da cidade de São Paulo/SP passível de recuperação.

O objeto de estudo é um trecho da rua Berlioz (Figura 1), caracterizado por ser uma via típica de municípios brasileiros, que apresenta defeitos visíveis de superfície para levantamento.

Adotou-se o processo scan-to-BIM para subsidiar o método de inspeção visual na construção de um diagnóstico de avaliação da condição do pavimento e no auxílio às propostas de resolução deste. Conforme o DNIT, é necessário que os dados de levantamento sejam catalogados de forma clara e precisa, e compreendam o maior número de informações possível. Para classificação dos defeitos, utilizou-se a Norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirrígidos: terminologia [12].

O experimento realizado foi segmentado em duas fases: (i) o levantamento das condições existentes de um trecho da rua Berlioz por dispositivo móvel; e (ii) a análise da interface com BIM para catalogação de defeitos de superfície e elaboração de soluções. Considerando o volume de recursos dispendidos em planos de recuperação de vias, adotou-se um dispositivo móvel celular, iPhone 12 Pro, com sensor embarcado LiDAR. Este dispositivo custa, em média, R\$8.199,00 [13]. Tradicionalmente, o procedimento é realizado com Estação Total, e operado por, no mínimo, duas pessoas – trabalho que demanda um custo aproximado de até R\$13.600,00 para um trecho de até 1km de via com largura média de 10m [14].



Figura 1
Trecho da Rua Berlioz,
São Paulo/SP. Google
Maps.

3. Resultados e Discussão

O fluxo de trabalho adotado e apresentado na Figura 2 consistiu no processo scan-to-BIM do pavimento, compreendendo o levantamento com dispositivo móvel, o processamento de dados e a geração da nuvem de pontos para estruturar-se o inventário digital da via para avaliação. O modelo de nuvem de pontos pode ser integrado a soluções CAD/BIM para agregação de outras fontes de dados e referências – como imageamento aéreo e dados GIS – e aprofundamento de análises visuais de defeitos de superfície. Características como parametrização e semântica permitem a simulação de diversas propostas, a partir dos dados de levantamento, e comparações qualitativas e quantitativas para consolidação do projeto de manutenção mais adequado. Os tópicos a seguir 3.1 – Levantamento de condições existentes e 3.2 – Proposição e análise de solução em CAD/BIM detalham os procedimentos empregados e seus benefícios.

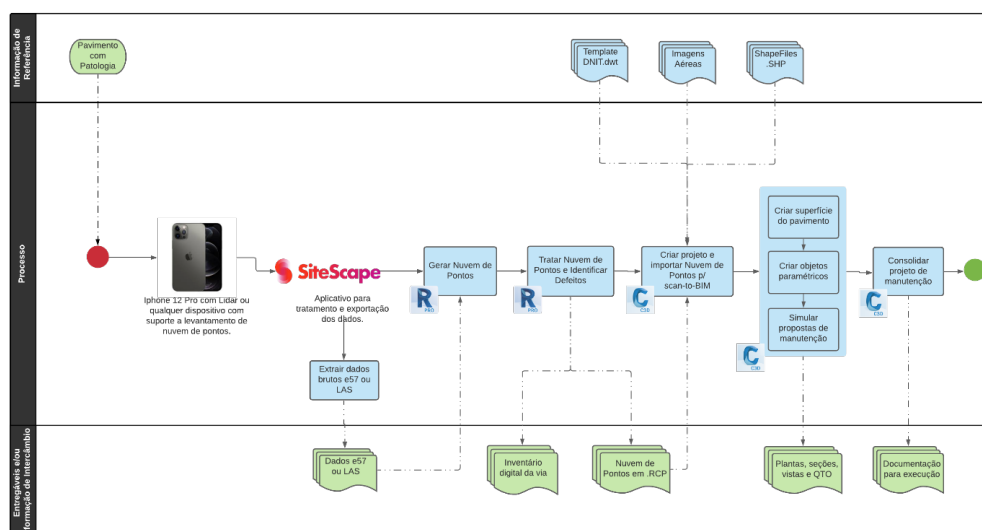


Figura 2
Fluxo de trabalho adotado.

3.1. Levantamento das condições existentes

Na fase de levantamento de condições existentes, foi realizado o escaneamento da rua Berlioz por meio do dispositivo iPhone 12 Pro, operado por uma pessoa – procedimento com duração de 10 minutos, que contemplou 81 metros de comprimento de rua, com largura média de 11m. Os dados foram adquiridos fazendo-se uso do aplicativo SiteScape, e exportados, em .LAS, para processamento, tratamento e catalogação do trecho no Autodesk ReCap Pro (Figura 3).

A nuvem de pontos gerada para avaliação possui 1.128.523 pontos e distância média de 0.0044m entre eles, observando-se, assim, o nível de precisão milimétrica do levantamento. A Figura 4, no caso, evidencia o detalhamento preciso de uma boca de lobo, seu registo in loco e suas respectivas dimensões. Esta precisão ratifica estudos

comparativos de uso da tecnologia LiDAR em relação ao uso de Estação Total, que apontam diferença de apenas 0,0003% entre os resultados de levantamento [15].

A manipulação da nuvem de pontos para auxílio à inspeção visual facilitou a identificação, classificação e contagem de ocorrências no trecho – a exemplo de fendas, re-mendos, desgaste e exsudação – aproveitando-se de recursos como mark-ups e cota-gem e reduzindo-se a necessidade de novas visitas a campo. Conforme o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos [3], essas ocorrências embasaram classificar a condição do pavimento de regular a ruim e apontaram para a necessidade de manutenção deste. Assim, as tecnologias empregadas na primeira fase do experimento suportaram a criação do inventário digital da Rua Berlioz (Quadro 1), compreendendo as condições existentes do pavimento, registros e descrições de problemas, segundo terminologia de [12]. Este passo é fundamental para auxiliar no planejamento de avaliação de defeitos, tendo em vista a geração de índices como o Índice de Gravidade Global (IGG), conforme a Norma DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento [16].

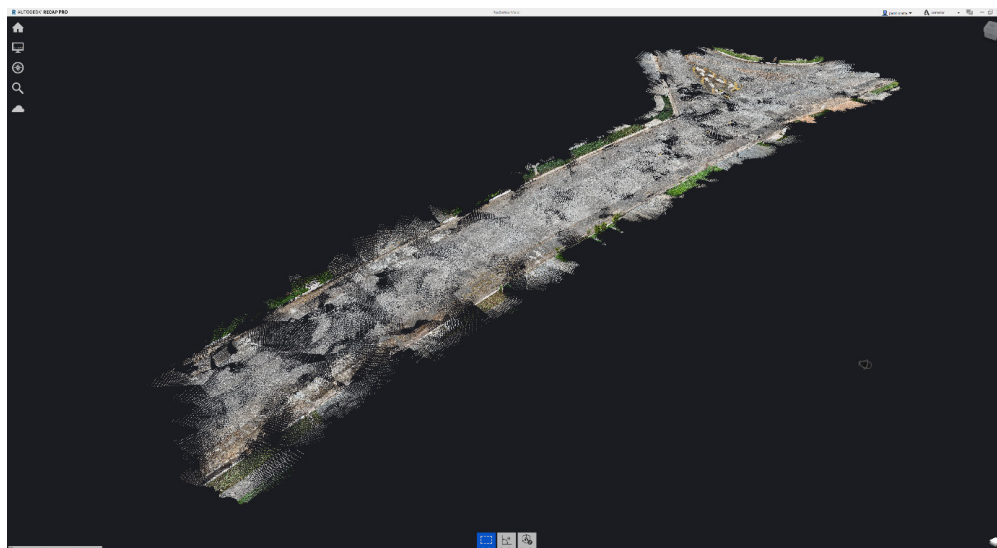


Figura 3
Nuvem de pontos do trecho da Rua Berlioz no ReCap Pro.

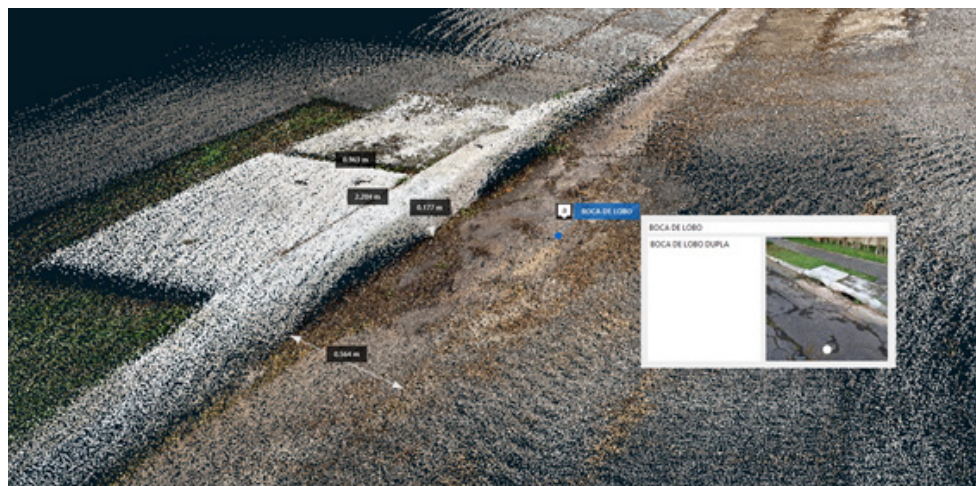

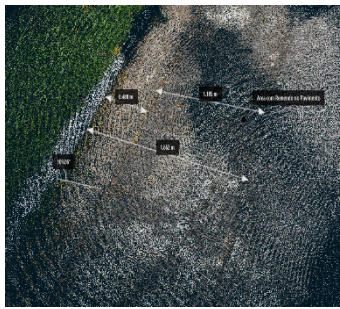

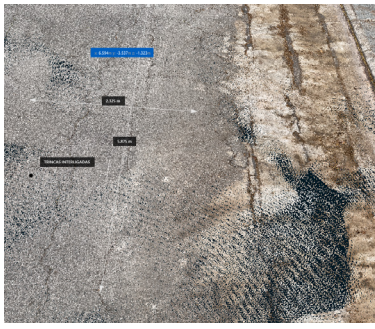

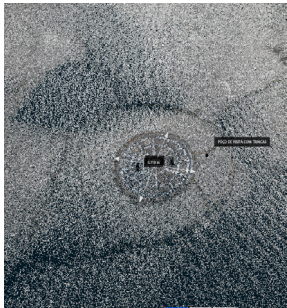


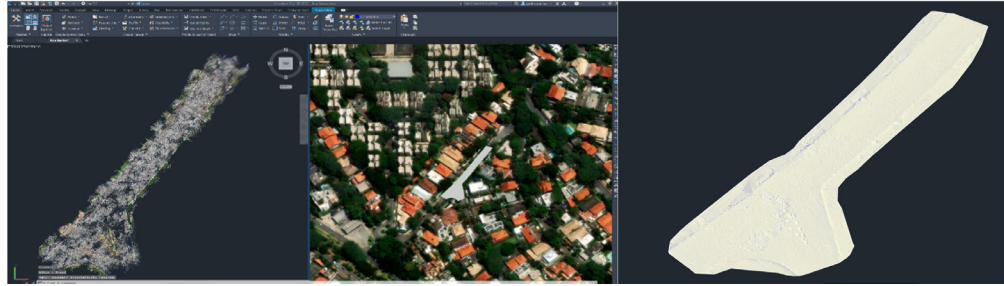
Figura 4
Detalhe da Boca de Lobo na nuvem de pontos.

A interface do modelo de nuvem de pontos gerado com soluções CAD/BIM permitiu, na sequência, a ampliação das possibilidades de avaliação do pavimento. Mediante integração e geolocalização do modelo no Autodesk Civil 3D, além da agregação de dados de imageamento do trecho e entorno, foi possível reproduzir feições como guias, sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, e acessos a lotes. Ademais, por meio do método de interpolação de Kriging, gerou-se a superfície do pavimento a partir da nuvem de pontos – notando-se alterações verticais mínimas, devido à presença de arbustos e tachões de concreto (Figura 5). Tornou-se possível visualizar as curvas de nível e elaborar, de forma automatizada e paramétrica, o perfil longitudinal da rua Berlioz e suas seções transversais. Em decorrência da modelagem, simplificou-se a consulta e a extração de quantidades relativas ao pavimento, guias e sarjeta; atividades que proporcionam análises de caimentos transversais e longitudinais e geração de notas de serviço para execução de soluções de recuperação do pavimento (Figura 6).

Descrição do Problema	Registo Geral do Problema no Local	Detalhe do Problema na Nuvem de Pontos
Remendo Profundo. Codificação RP.		
Trincas Interligadas tipo "Jacaré" sem erosão acentuada nas bordas da trinca. Codificação J, Classe das Fendas FC-2.		
Trincas Interligadas tipo "Bloco" sem erosão acentuada nas bordas da trinca. Codificação TB, Classe das Fendas FC-2. Em volta de Poço de Visita.		

Quadro 1
Condições existentes do pavimento.

Figura 5
Agregação de dados e superfície do pavimento em solução CAD/BIM.



Os registros de problemas referenciados no Quadro 1 foram indexados no ambiente de projeto por meio de uma rotina de programação visual elaborada no Dynamo, associando-se as coordenadas das fotos levantadas no local com o mesmo dispositivo utilizado no escaneamento a laser do pavimento (Figura 7). A indexação beneficiou o estudo de soluções de recuperação.

Figura 6
Elementos parametrizados para geração de vistas, quantidades e notas de serviço.

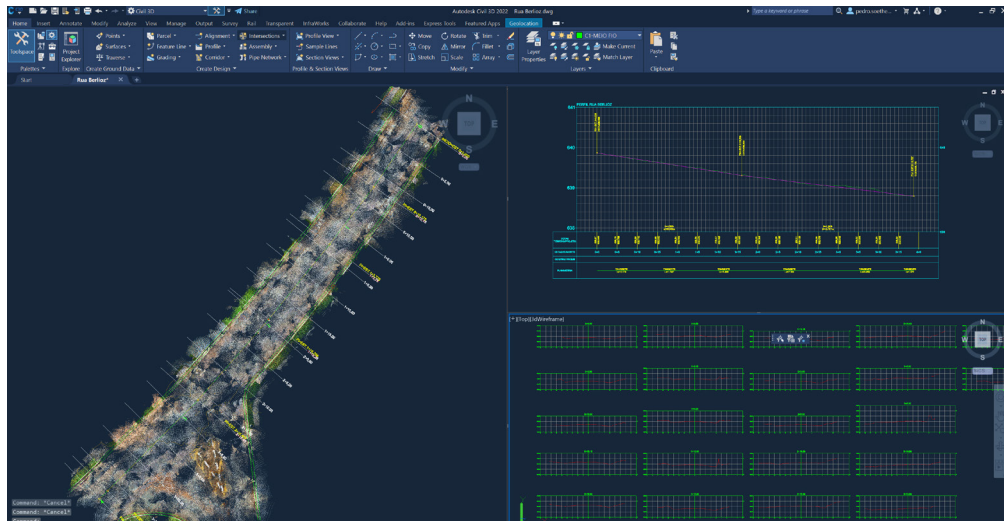
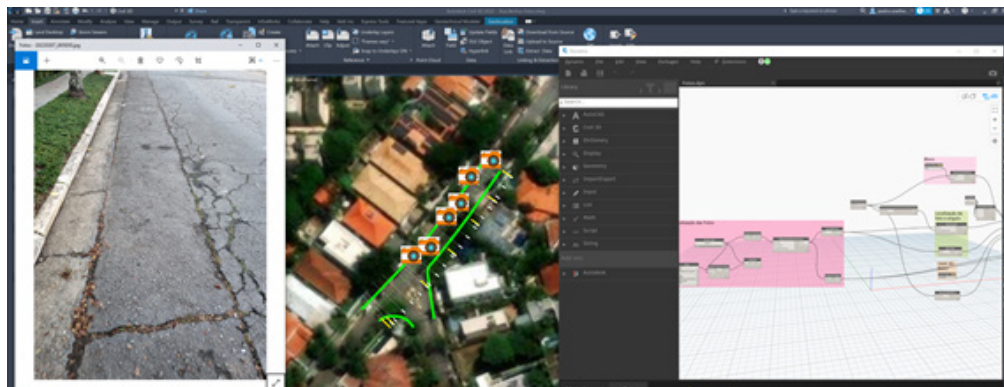


Figura 7
Fotos com dados de geolocalização indexadas ao modelo.



3.2. Proposição e análise de soluções em CAD/BIM

A segunda fase do experimento abarcou os insumos do processo scan-to-BIM para materializar proposições e trazer subsídios aos projetos de recuperação do pavimento. Conforme análise visual prévia, e a classificação do pavimento objeto deste estudo de regular a ruim, o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos recomenda o processo de fresagem e recapeamento para sua manutenção. Diante dessas diretrizes, adotou-se como proposta preliminar de solução a fresagem de camada mínima 5cm e o recapeamento de 6cm – com correção geométrica transversal de 2%. Esta correção mitiga a existência de discrepâncias transversais e auxilia em casos os quais ocorrências de baixa declividade transversal prejudicam o escoamento transversal de águas pluviais e o conforto de condução dos motoristas de veículos.

Ainda, a proposição em projeto contemplou a correção longitudinal, tendo em vista evitar problemas associados a pequenas poças e deformações que surgiram na via ao longo do tempo. No Autodesk Civil 3D, a análise destas proposições foi realizada por meio da criação de um corredor tridimensional para reabilitação e correção do alinhamento transversal e longitudinal do pavimento. Manteve-se a largura existente da via, utilizando-se como referência a sarjeta desenvolvida a partir do modelo de nuvem de pontos. Observa-se o benefício deste procedimento no uso de objetos paramétricos que possibilitam o ensaio de diversas configurações e especificações para manutenção do pavimento. Conforme destacado na Figura 8, pode-se simular, por exemplo, propostas de recapeamento; fresagem com recapeamento; recapeamento e nivelamento; fresagem, recapeamento e nivelamento; além das variações decorrentes das correções transversais ou longitudinais. Além de simulações da faixa do pavimento, ampliam-se as possibilidades de análise e manutenção das vias ao adicionar-se elementos como guias/sarjeta e calçada e seus dados construtivos correspondentes (Figura 9).

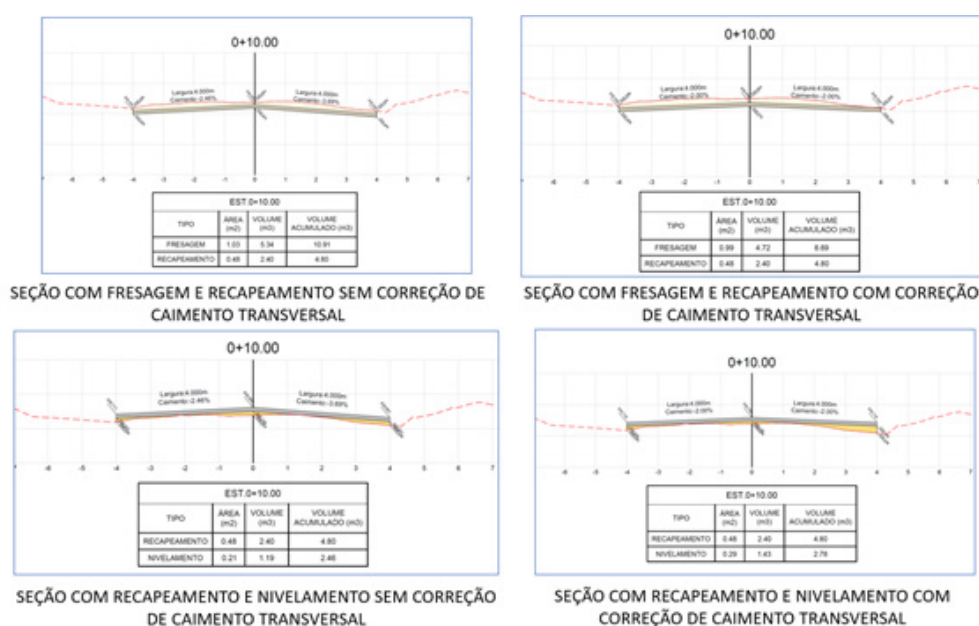


Figura 8
Simulações de aplicação de fresagem e recapeamento.

A geração de múltiplas opções de soluções de recuperação do pavimento orienta as tomadas de decisão e alimenta a extração de dados como tabelas de quantidades, documentação e notas de serviço (Figura 10, Figura 11). Nota-se a importância do levantamento preciso de condições existentes como ponto de partida para enriquecer a inspeção visual, estruturar a criação de inventário digital, facilitar a análise de superfície do pavimento e propostas de manutenção mediada por recursos CAD/BIM. Este levantamento provou-se acessível por meio do uso de dispositivos móveis com LiDAR, a exemplo do iPhone 12 Pro, e reduziu a necessidade de visitas no local. Por conseguinte, a introdução do processo scan-to-BIM proporcionou a otimização de recursos de projetos de manutenção e ampliou a precisão e a qualidade dos entregáveis subsequentes. Entre os desdobramentos está a quantificação atrelada à manutenção do pavimento, que contribui para a programação de equipamentos e materiais no campo.

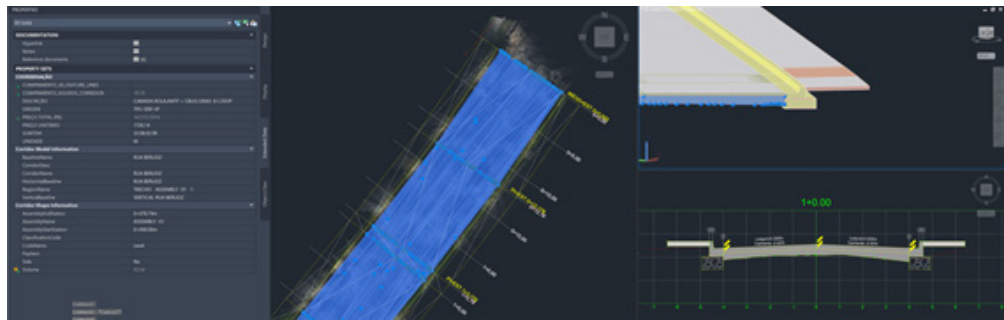


Figura 9
Objeto paramétrico do recapeamento com dados quantitativos e custos associados.

Cross Slope Correction Report Milling and Leveling Report															
Offset: 5.000m															
Station	Edge Point 2		Edge Point 1		Control Point 1		Incremental Offset Report			Control Point 1		Edge Point 1		Edge Point 2	
	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	-5.000m	0.000m	5.000m	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level	Offset	Mill/Level
0+000.00m	-4.000m	-0.130m	0.000m	-0.130m	0.000m	-0.130m				3.530m	-0.100m	0.000m	-0.130m	4.000m	-0.130m
0+012.18m	-4.000m	-0.101m	0.000m	-0.101m	0.000m	-0.101m				3.875m	-0.100m	0.000m	-0.101m	4.000m	-0.101m
0+023.78m	-4.000m	-0.166m	0.000m	-0.166m	0.000m	-0.166m				3.750m	-0.100m	0.000m	-0.166m	4.000m	-0.166m
0+025.00m	-4.000m	-0.114m	0.000m	-0.114m	-3.829m	-0.100m				3.982m	-0.109m	0.000m	-0.114m	4.000m	-0.114m
0+036.00m	-4.000m	-0.148m	0.000m	-0.148m	-0.232m	-0.140m				3.139m	-0.100m	0.000m	-0.148m	4.000m	-0.148m
0+039.26m	-4.000m	-0.177m	0.000m	-0.177m	-3.923m	-0.172m				3.557m	-0.100m	0.000m	-0.177m	4.000m	-0.177m
0+050.00m	-4.000m	-0.143m	0.000m	-0.143m	-0.068m	-0.131m				3.233m	-0.100m	0.000m	-0.143m	4.000m	-0.143m
0+056.46m	-4.000m	-0.105m	0.000m	-0.105m	-3.017m	-0.100m				0.887m	-0.103m	0.000m	-0.105m	4.000m	-0.105m
0+075.00m	-4.000m	-0.107m	0.000m	-0.107m	-0.846m	-0.100m				4.000m	-0.107m	0.000m	-0.107m	4.000m	-0.107m
0+076.92m	-4.000m	-0.121m	0.000m	-0.121m	-3.189m	-0.100m				3.999m	-0.121m	0.000m	-0.121m	4.000m	-0.121m
0+078.79m	-4.000m	-0.113m	0.000m	-0.113m	-2.540m	-0.100m				3.626m	-0.108m	0.000m	-0.113m	4.000m	-0.113m

Figura 10
Nota de Serviço para locação em campo, fresagem e recapeamento.

	Tipo	Área m²	Volume m³	Acumulado m³
Estaca: 0+0.000	FRESAGEM	1.12	0.00	0.00
	RECAPEAMENTO	0.48	0.00	0.00
Estaca: 0+5.000	FRESAGEM	1.11	5.56	5.56
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	2.40
Estaca: 0+10.000	FRESAGEM	1.03	5.34	10.91
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	4.80
Estaca: 0+12.178	FRESAGEM	1.09	2.31	13.22
	RECAPEAMENTO	0.48	1.05	5.85
Estaca: 0+15.000	FRESAGEM	1.15	3.17	16.39
	RECAPEAMENTO	0.48	1.35	7.20
Estaca: 1+0.000	FRESAGEM	1.00	5.37	21.76
	RECAPEAMENTO	0.48	3.40	9.40
Estaca: 2+5.000	FRESAGEM	1.20	6.76	51.66
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	21.60
Estaca: 2+10.000	FRESAGEM	1.22	6.04	57.70
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	24.00
Estaca: 2+15.000	FRESAGEM	1.00	5.55	63.25
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	26.40
Estaca: 2+16.457	FRESAGEM	0.89	1.38	64.63
	RECAPEAMENTO	0.48	0.70	27.10
Estaca: 3+0.000	FRESAGEM	1.32	3.92	68.55
	RECAPEAMENTO	0.48	1.70	28.80
Estaca: 3+5.000	FRESAGEM	3.40	11.80	80.36
	RECAPEAMENTO	0.48	2.40	31.20

Figura 11
Quadro com área, volume e volume acumulado.

4. Considerações finais

O presente artigo avaliou o emprego do LiDAR embarcado em um dispositivo móvel como recurso acessível no levantamento de condições existentes do pavimento de um trecho de via típico de municípios brasileiros. Observou-se o potencial de obtenção dos dados de forma ágil e otimizada em termos de custos, e como o modelo de nuvem de pontos gerado e integrado a soluções CAD/BIM subsidia propostas de manutenção favorecendo seu controle qualitativo e quantitativo. O uso de dispositivos móveis também pode atender a outras atividades de levantamento e inspeção visual do pavimento – fazendo-se uso de soluções de armazenamento em nuvem, checklists e registros digitais. Finalmente, o processo scan-to-BIM, como apresentado, viabiliza à administração a criação de um inventário digital de superfícies de pavimento e a manutenção de um cadastro vivo, integrado com o histórico de inspeções e manutenções realizadas – bem como o uso desse acervo para novos projetos e disciplinas.

Referências

- [1] L. B. Bernucci, *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, Petrobras.: ABEDA, 2006.
- [2] J. D. Mascarenhas Neto, *Methodo para construir as estradas em Portugal*. Porto, in oficina de António Alvarez Ribeiro, 1790.
- [3] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos*. Rio de Janeiro, 2006.
- [4] Folha de S. Paulo, *Asfalto Novo gerou prejuízo de R\$ 2 mi à prefeitura de SP, diz TCM*, 2019. Disponível: <https://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2019/05/asfalto-novo-gerou-prejuizo-de-r-2-mi-a-prefeitura-de-sp-diz-tcm.shtml>. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [5] X. Liu, X. Wang, G. Wright, J. C. Cheng, X. Li, R. Liu. "A state-of-the-art review on the integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)", *ISPRS International Journal of Geo-Information*, vol. 6, p. 53, 2017.
- [6] B. Sankaran, G. Nevett, W. J. O'Brien, P. M. Godrum, J. Johnson, "Civil integrated management: empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management", *Automation in Construction*, vol. 87, pp. 84-95, 2018.
- [7] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, " Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM", *Automation in Construction*, vol. 113, 2020.

- [8] C.Heikkila, M. Marttinen, " Development of BIM based rehabilitation and maintenance process for roads", in *International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining* (2013), Montreal, Canada, 2013, p. 1.
- [9] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu, and S. S. Chen, "Building information modeling (BIM) for transportation infrastructure – literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, 2018.
- [10] C. Oreto, S. A. Biancardo, N. Viscione, R. Veropalumbo, F. Russo, "Road Pavement Information Modeling through Maintenance Scenario Evaluation", *Journal of Advanced Transportation*, 2021.
- [11] R. K. Yin, *Estudo de Caso: Planejamento e métodos*. Porto Alegre, Bookman editora, 2015.
- [12] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Defeitos nos Pavimentos Flexíveis e Semi-rígidos Terminologia*. Rio de Janeiro, 2003.
- [13] Extra, iPhone 12 Pro Apple 512GB Azul-Pacífico Tela de 6,1", Câmera Tripla de 12MP, iOS, 2021. Disponível: shorturl.at/itAF4. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [14] Amira, Simulador Referencial de Preços de Serviços de Agrimensura, 2021. Disponível: <https://www.amiranet.com.br/simulador>. Acesso em: 29 dezembro 2021
- [15] J. M. A. M. Campos, M. S. Moraes, "Análise Comparativa entre Levantamentos Topográficos: Estação Total, Laser Scanner Terrestre e Drone", in *COBRAC* (2014).
- [16] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT, *Avaliação Objetiva da Superfície de Pavimentos Flexíveis e Semi-Rígidos*. Rio de Janeiro, 2003.

Comparação de três equipamentos distintos baseados em LiDAR para levantamento de edifícios existentes

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.40>

**Leonardo Mulè¹, Filipe Finco², José Granja³,
Andressa Oliveira⁴, Nuno Moreira⁵, Luís Santos⁶, Miguel Azenha⁷**

¹ *Universidade de Bolonha, Bolonha, Itália, ORCID 0000-0002-3662-3088*

² *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0001-5507-1437*

³ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-0858-4990*

⁴ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0002-2541-0212*

⁵ *TopArcos, Arcos de Valdevez, Portugal*

⁶ *Leica Geosystems, Lda, Lisboa, Portugal*

⁷ *Universidade do Minho, ISISE, Guimarães, Portugal, ORCID 0000-0003-1374-9427*

Resumo

O sucesso de uma modelação 3D detalhada e fidedigna de edifícios existentes para aplicação em projetos BIM (*Building Information Modeling*), requer uma caracterização fiel do ativo de forma a identificar e respeitar as irregularidades geométricas inerentes ao seu processo de construção. Para verificar esta necessidade tem sido crescente a utilização da tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging*) através de leitura Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*), conhecida por *Laser Scanning*, nos levantamentos para obtenção de nuvens de pontos com elevado detalhe e rigor geométrico. As novas soluções *Laser Scanning* para captura de nuvens de pontos baseadas em equipamentos móveis, de onde se destacam os transportados na mão, tais como o *Leica BLK2GO*, o *GeoSLAM ZEB REVO* e ainda os mais recentes smartphones equipados com sensores LiDAR (como o *iPhone 12/13 Pro*), trouxeram maior flexibilidade e produtividade quando comparadas com equipamentos tradicionais estáticos. Este artigo reporta algumas abordagens na aquisição de nuvens de pontos, explorando múltiplas possibilidades e identificando as limitações da utilização desta tecnologia, partindo de uma revisão da literatura sobre o assunto. São apresentados os resultados obtidos na comparação de nuvens de pontos capturadas pelos seguintes equipamentos: (i) *LEICA P20* (*laser scanner* estático); (ii) *Leica BLK2GO* e (iii) *iPhone 12 Pro*. Foi selecionado como caso de estudo o edifício da Cantina do Campus de Azurém da Universidade do Minho (UMinho), localizado em Guimarães. Foi avaliada a qualidade geométrica das nuvens de pontos capturadas e a respetiva aplicabilidade na modelação 3D em contexto BIM.

1. Introdução

A criação de um modelo 3D preciso é etapa fundamental em muitas aplicações profissionais na área da engenharia, principalmente na área do HBIM (*Heritage Building Information Modeling*). Para a criação de modelos tridimensionais de edifícios patrimoniais onde o rigor geométrico é importante, tem sido cada vez mais comum a utilização da tecnologia *Laser Scanning*. Tendo em conta as diferentes soluções que o mercado oferece no âmbito desta tecnologia, importa definir um conjunto de parâmetros que permita aferir da qualidade das nuvens capturadas. Existem vários trabalhos na bibliografia sobre comparação de nuvens de pontos obtidas a partir de diferentes equipamentos *Laser Scanning*, seguindo três abordagens metodológicas principais [2]:

- A “abordagem de ponto de controlo” consiste em escolher dois pontos de referência reconhecíveis no primeiro varrimento de cada nuvem de pontos, calcular a distância euclidiana entre eles e comparar com as distâncias calculadas nas restantes. Esta abordagem foi utilizada por Jung et al [3] que avaliaram os erros euclidianos em comparação com os padrões BIM ditados no ‘*BIM Guide*’ dos Serviços Gerais de Administração (GSA) dos Estados Unidos [4]. Ortiz-Coder et al [5] e Thoeni et al [6] também utilizam esta abordagem e Huttenloche et al [7] introduz outros métodos baseados na distância de Hausdorff, utilizando o “*nearest neighbor distance*” (distância do vizinho mais próximo) no *software CloudCompare* (CC).
- A segunda abordagem é baseada na extração manual de um subconjunto de pontos a partir das nuvens e na realização de análises nesse subconjunto, como demonstrado por Sirmacek et al. [8]. Visto que este método se baseia na medição de múltiplos pontos ao invés de poucos pontos de controle, este pode ser considerado mais confiável do que a abordagem anterior.
- A “abordagem de nuvem de pontos completa” considera duas nuvens de pontos completas e realiza cálculos comparativos com uma métrica escolhida. Essa abordagem é a mais extensa e faz a comparação de nuvens diferentes como um todo, sendo os algoritmos usados para avaliar a distância entre as duas nuvens responsáveis pela quantificação da diferença para cada método proposto. Um dos aplicativos mais utilizados para este tipo de abordagem é o *CloudCompare* (CC) [8, 9]. Lehtola [2] propõe avaliar duas nuvens de pontos diferentes na sua totalidade, alinhando-as e realizando uma comparação entre elas, com um conjunto específico de equações e algoritmos propostos.

A revisão da bibliografia permitiu identificar lacunas ao nível da comparação do desempenho de dispositivos móveis de levantamento com seus homólogos mais tradicionais, sendo que os estudos encontrados não utilizam mais de dois dispositivos na comparação. Este estudo tem como objetivo uma comparação sistemática de três sensores LiDAR diferentes: (i) LEICA P20 (*laser scanner* estático); (ii) BLK2GO (*laser scanner* móvel de mão) e (iii) iPhone 12 Pro (*smartphone* equipado com LiDAR). As análises combinarão diferentes abordagens mencionadas acima, mas também novas abordagens baseadas em análises estatísticas e metroológicas. O estudo permitirá

entender o quão confiáveis são cada um destes equipamentos e até que ponto estes podem ser utilizados na criação de um modelo BIM/HBIM de um edifício existente. Foram seleccionadas três diferentes tipos de análises comparativas a serem aplicadas às nuvens de pontos oriundas dos diferentes dispositivos:

- Uma análise sobre a distância relativa entre diferentes nuvens recorrendo ao CC, *software* de edição e processamento de nuvens de pontos 3D, com uma estrutura *octree* específica dedicada à comparação metrológica direta entre nuvens de pontos [1].
- Uma análise da exatidão das diferentes nuvens de pontos por comparação com as dimensões reais de objetos com geometria simples, para inferir os erros entre as diferentes metodologias e o quão próximos podem ser da realidade.
- Uma análise focada na precisão das diferentes nuvens realizada por amostragem de uma série de subconjuntos das nuvens originais (amostras de 20×20 cm oriundas de diferentes porções de paredes), analisados estatisticamente a fim de inferir informações de desempenho e comparar cada um dos equipamentos. Além disso, a precisão foi analisada através da criação de múltiplas seções no CC, escolhidas de forma que pontos de referência específicos e fixos estivessem presentes, como cantos de uma série de paredes que foram então utilizados para interpolar a posição ideal das paredes seleccionadas.

2 Análises realizadas

O edifício escolhido como caso de estudo para o desenvolvimento do presente trabalho é a cantina da UMinho do campus de Azurém, em Guimarães, em que a zona a ser analisada é o café do referido edifício. Na Figura 1 podemos ver a planta do piso térreo da edificação e, realçada em amarelo, está a zona do estudo. Os pontos vermelhos representam o posicionamento aproximado dos estacionamentos realizados com o LEICA P20 e as setas verdes o caminho percorrido com os equipamentos móveis BLK2GO e iPhone 12 Pro.

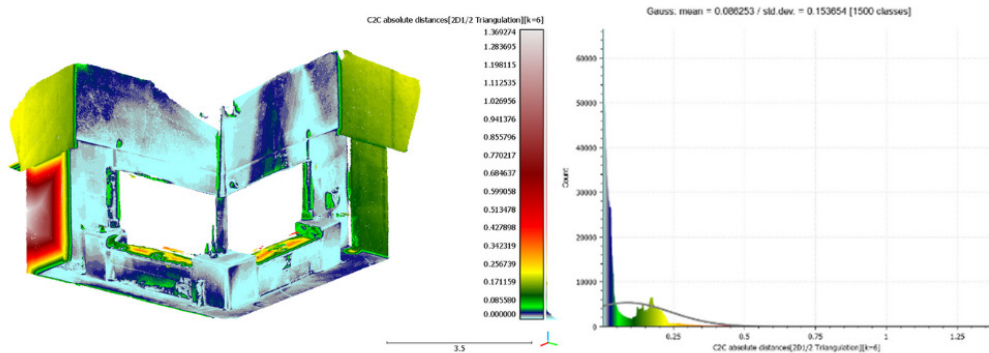


Figura 1
Planta do R/C da cantina com destaque da zona de estudo e fotos da zona durante os levantamentos.

2.1. Análise da distância relativa

Realizada de forma simples através do CC, a abordagem utilizada é a chamada "distância nuvem-nuvem". Para cada ponto da nuvem a ser comparada o algoritmo procura o ponto mais próximo numa nuvem utilizada como referência, calculando a sua distância euclidiana. A nuvem utilizada como referência deve abranger a mesma área da nuvem a comparar, ter maior densidade e melhor rigor posicional, tendo sido definida a nuvem de pontos do LEICA P20 para este fim. A comparação realizada é do tipo "abordagem de nuvem de pontos completa" por utilizar a totalidade das nuvens, mas também contém elementos da "abordagem de ponto de controlo", já que essa é a natureza do algoritmo utilizado para calcular as distâncias. A Figura 2 apresenta a comparação entre o LEICA P20 e o iPhone 12 Pro, onde é possível observar que, embora fosse esperado que a nuvem de pontos obtida pelo iPhone não fosse tão precisa, os resultados encontrados apresentaram um grau de semelhança muito interessante. Com uma distância média calculada para a da nuvem de referência de 8,62 cm e um desvio padrão de 15,4 cm, a nuvem do iPhone 12 Pro apresenta algumas flutuações significativas, especialmente em regiões mais afastadas do sensor LiDAR e em todas as superfícies que não são facilmente alcançáveis, como as superfícies horizontais da bancada. Durante os varrimentos houve o cuidado de manter a posição dos equipamentos móveis o mais próxima e ortogonal possível às superfícies capturadas, com uma distância aproximada de 2 (+/- 0.5) m. Por vezes foi necessário efetuar múltiplas capturas de um mesmo local para obtenção da imagem completa. Estas múltiplas passagens evidenciaram distorções significativas, como é visível no balcão em ambos os lados do pilar central. A distribuição gaussiana ajustada relativa à comparação das nuvens feita no CC, comporta-se como esperado: a distribuição dos valores em si é bastante irregular e a curva gaussiana correspondente é plana, assimétrica e com um pico baixo. Apesar dos resultados obtidos, foram excedidas as baixas expectativas iniciais para o *smartphone*.

Figura 2
 Resultados da comparação no CC entre LEICA P20 e iPhone 12 Pro (esquerda), escala de cores indicando a distância relativa (m) e distribuição Gaussiana dos pontos (direita).



Por outro lado, os resultados da comparação entre o LEICA P20 e o BLK2GO são ilustrados na Figura 3. A nuvem de pontos obtida com o BLK2GO revelou-se muito semelhante à nuvem de pontos de referência, com resultados homogêneos em todas as regiões e distorções muito pequenas. Estas distorções podem ser atribuídas à

forma como os varrimentos foram realizados, visto algumas superfícies serem mais difíceis de capturar.

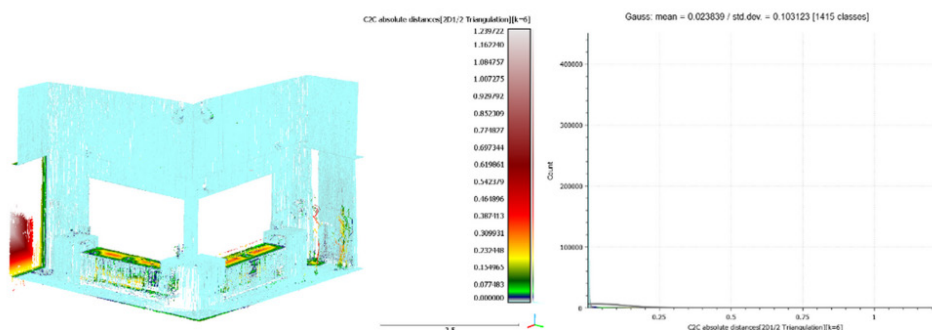


Figura 3
Resultados da comparação no CC entre LEICA P20 e BLK2GO (esquerda), escala de cores indicando a distância relativa (m) e distribuição Gaussiana dos pontos (direita).

Dada a natureza do dispositivo (móvel, cuja experiência de manuseamento pelo operador é fundamental), utilizadores diferentes podem obter resultados distintos em termos de rigor posicional, de acordo com sua experiência. A distribuição Gaussiana resultante já era esperada dada a estreita semelhança das duas curvas, o que faz com que as distâncias calculadas estejam próximas de zero e nenhuma curva de distribuição real possa ser calculada, gerando uma curva plana e quase inexistente. O valor médio da distância calculada é de 2,8 cm e o desvio padrão igual a 10,3 cm. Estes resultados, nativamente obtidos no CC, revelam uma boa exatidão destas nuvens, que será alvo de análises adicionais de seguida.

2.2. Análise da exatidão

Esta análise comparou medições obtidas a partir das três nuvens de pontos e medidas reais obtidas no local, com uma fita milimétrica, para uma bancada prismática (ver Figura 4). É realizada uma comparação direta entre as três medições obtidas pelas nuvens e a medição no local. As medições das nuvens de pontos são obtidas com o CC, escolhendo o mesmo ponto como vértice para as medições a fim de assegurar leituras consistentes. Foram escolhidas três arestas da bancada para garantir bons pontos de referência para as medições no CC. A representação gráfica das medições e o contexto geométrico dos objetos são mostrados na Figura 4.

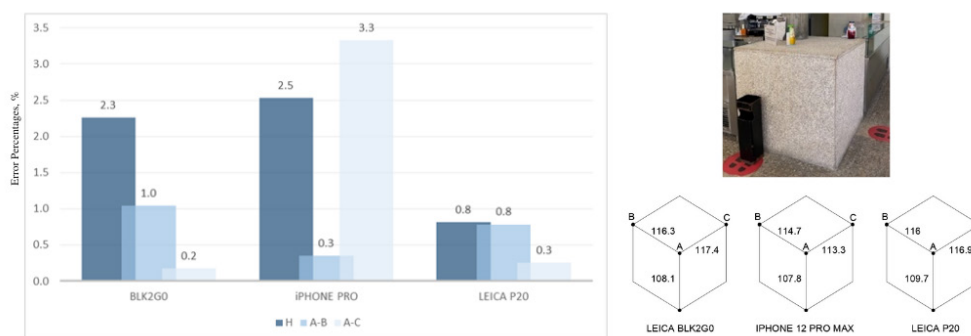


Figura 4
Bloco central – gráfico das percentagens de erro entre as medidas reais e as medidas por equipamento obtidas pelo CC (esquerda), fotografia e medições no local (direita).

Adicionalmente, foram efetuadas comparações análogas para as bancadas laterais da zona do café em estudo, apresentadas respetivamente na Tabela 1.

Tabela 1
Resultados das medições para os demais blocos, em (cm).

Bloco Direito	Medição no Local	LEICA BLK2GO	Erro (%)	iPhone 12 PRO MAX	Erro (%)	LEICA P20	Erro (%)
H	110,6	109,8	0,7	106,6	3,6	109,7	0,8
A-B	92,9	75	19,3	76,1	18,1	90,1	3,0
A-C	82,5	79,5	3,6	79,6	3,6	81,9	0,7
C-D	71,3	70,8	0,7	67,6	5,2	71,4	0,1
Bloco Esquerdo	Medição no Local	LEICA BLK2GO	Erro (%)	iPhone 12 PRO MAX	Erro (%)	LEICA P20	Erro (%)
H	110,6	108,9	1,5	108,8	1,6	110	0,5
A-B	74,8	74,5	0,4	70,7	5,5	69,3	7,4
A-C	80,5	79,6	1,1	79,6	4,8	79,3	1,5
C-D	92	77,5	15,8	0	2,0	91,3	0,8

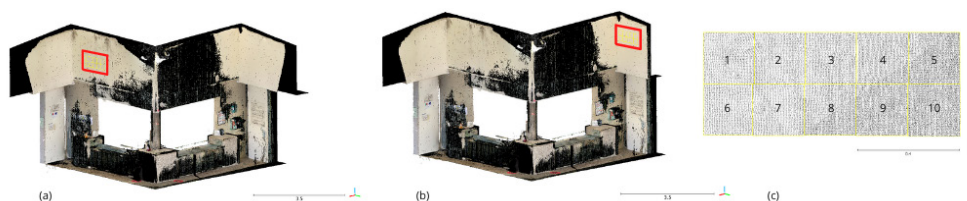
Os resultados mostram uma percentagem de erro bastante homogénea e baixa em todos os três blocos para o LEICA P20, apresentando uma percentagem média de erro de cerca de 1.5%. Em contrapartida, os resultados do BLK2GO e do iPhone 12 Pro são menos homogéneos, com erro médio de 4.2% e 4.8%, respetivamente. Se compararmos estes resultados com o Guia de Especificação do Nível de Exatidão USIBD [11], obtemos que o erro médio para o LEICA P20 é de 11mm, como um LOA30; para o BLK2GO o erro é de 48mm, classificando-o como LOA20 e o iPhone apresenta um erro de 55mm que é classificado como LOA10.

2.3. Análise da precisão

Esta análise incide na precisão das medições das três diferentes nuvens de pontos e pode ser classificada como "abordagem secundária" ou "abordagem de subconjunto". Foram escolhidas duas superfícies diferentes que, idealmente, deveriam ter sido detetadas como planas, definidas aqui como duas paredes paralelas. Foi estudado depois, de forma estatística, como os pontos levantados pelos equipamentos se distribuem em torno do plano ideal, permitindo inferir informações sobre a precisão dos referidos levantamentos. Para tal, foi selecionado um conjunto de 10 diferentes regiões quadradas com dimensões de 20×20 cm cada parede, totalizando 20 regiões - ver Figura 5. Estas regiões foram isoladas no CC e as suas coordenadas exportadas para Excel e estudadas do ponto de vista da distribuição gaussiana dos valores que foram detetados por cada levantamento.

Figura 5

Regiões selecionadas: (a) Levantamento paralelo (A) e (b) levantamento ortogonal (B). Em (c) é apresentada o arranjo das regiões selecionadas.



Após as transformações matemáticas necessárias, os resultados obtidos em cada região foram representados graficamente através da distribuição gaussiana dos pontos para cada dispositivo. Algumas das distribuições Gaussianas obtidas são mostradas na Figura 6. Uma vez que o valor médio representa o valor ideal para o qual cada levantamento tenderia (representando a parede), o comportamento dos pontos em torno deste valor pode prover informações úteis. A distribuição Gaussiana do LEICA P20 (Figura 6a) tem espectro bem concentrado, com pontos próximos à média, apresentando uma curva simétrica e um único pico alto e estreito. A curva comportou-se como previsto e as suas características são indicação de uma boa precisão. A distribuição do BLK2GO é muito semelhante à do LEICA P20, como observado nas figuras 6a e 6b. A distribuição do iPhone 12 Pro (Figura 6c) mostrou-se mais errática, gerando uma curva achatada e indicando resultados menos confiáveis. A relação entre a posição do dispositivo LEICA P20 e o ângulo de incidência do equipamento em relação às paredes também foi analisada, uma vez que a localização do estacionamento e o ângulo de incidência entre o raio laser e a superfície serem conhecidos.

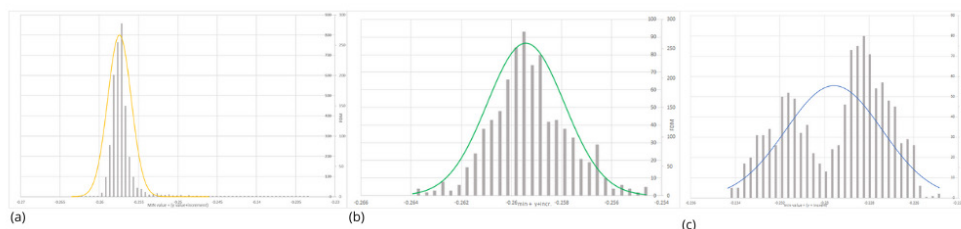


Figura 6
Distribuições obtidas estatisticamente para uma região isolada, sendo (a) P20, (b) BLK2GO e (c) iPhone Pro.

O estacionamento estava localizado próximo da esquina do balcão central, pelo que a perpendicularidade da incidência do raio laser às superfícies analisadas variada consideravelmente (ver Figura 7). A captura vai ocorrendo em condições progressivamente mais favoráveis da região 1 à região 5, onde o arranjo das regiões pode ser observado no diagrama (c) da Figura 5. Em contrapartida, da região 1 a 5 ficam progressivamente piores. Estas considerações foram apoiadas pelos resultados estatísticos apresentados nos gráficos da Figura 7.

Em sequência, como apresentado na Figura 8, as curvas foram normalizadas em torno do valor de pico do LEICA P20. As distribuições para cada região foram então deslocadas no eixo X de acordo com o desvio de pico medido. A variação inicial aplicada foi de +0,2 cm para o BLK2GO para a parede (A) e de +0,13 cm para parede (B). No caso do iPhone 12 Pro, a variação aplicada foi de -2,8 cm para (A) e de -17 cm para (B).

O deslocamento foi então representado para todas as regiões na Figura 9. É possível observar que o BLK2GO apresenta deslocamentos muito mais homogêneos e o iPhone 12 Pro deslocamentos bastante erráticos. Isto se deve à natureza do sensor do iPhone que, como já referido, realiza múltiplas capturas da mesma área para obter uma imagem completa, levando a um comportamento mais inconsistente, além dos problemas anteriormente descritos.

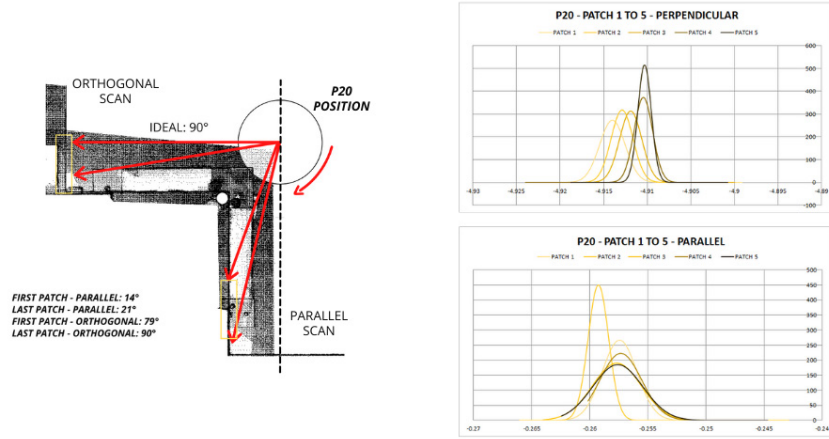


Figura 7
Representação esquemática do contexto do levantamento (esquerda) e comparação das distribuições entre todas as regiões (direita).

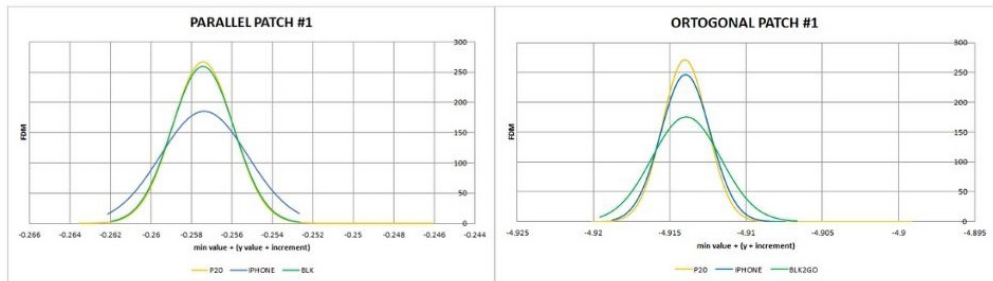


Figura 8
Distribuições Gaussianas normalizadas das medições realizadas para a região #1.

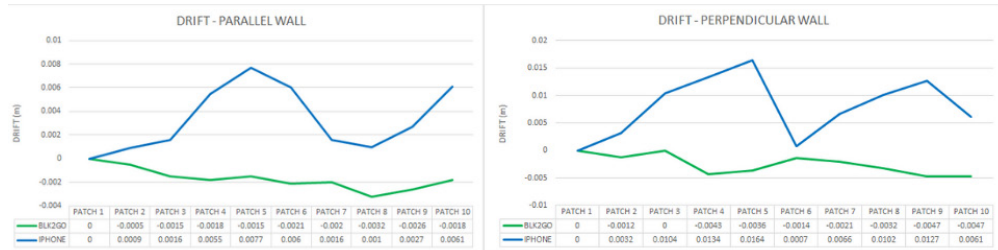


Figura 9
Deslocamentos das distribuições em torno do valor de referência para todas as regiões analisadas.

Outra forma de analisar o desempenho dos dispositivos foi extrair secções da parede superior da área analisada e compará-las. A Figura 10 ilustra como a secção do LEICA P20 é muito mais linear, sem limiares desgastados ou representação irregular da parede "ideal", comportamento contrário ao observado na nuvem derivada do iPhone 12 Pro. A Figura 10 também permitir perceber a proximidade das secções do BLK200 e do LEICA P20.

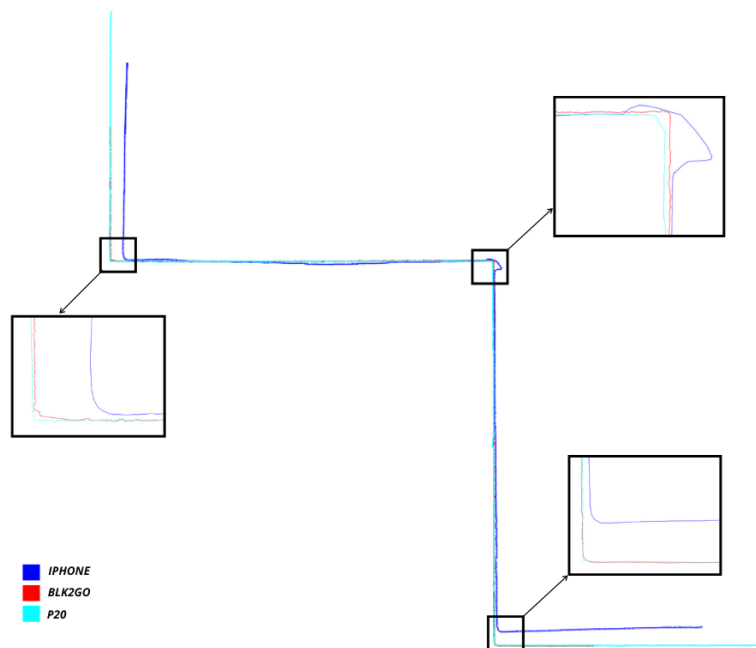


Figura 10
Comparação das secções.

Equipamento	Vantagens	Desvantagens	Uso recomendado	Erro médio	Precisão	Outras observações
Laser Scanner estático	Precisão e detalhe	Velocidade de aquisição e tempo de registo	Levantamentos detalhados	1.5%	+/- 1.5cm	A captura de informação RGB (fotografia) é facultativa, podem diminuir um pouco mais o tempo de aquisição
Laser Scanner móvel de mão	Velocidade de aquisição e facilidade de utilização	Detalhe da nuvem de pontos	Levantamentos de referência e complementares	4.2%	+/- 3.0cm	Requer um percurso de levantamento organizado
Laser Scanner do Telemóvel	Barato e fácil de usar	Precisão e detalhe	Levantamentos rápidos de auxílio	4.9%	+/- 15cm	Consegue levantar áreas limitadas, talvez necessite reiniciar o levantamento

Tabela 2
Conclusões e usos recomendados de cada tipo de equipamento analisado.

3. Conclusões

Através destas análises foi possível concluir que o *laser scanner* estático tem melhor desempenho que os *laser scanners* móveis. Entretanto, apesar da diferença de performance significativa em termos de precisão e exatidão, os scanners móveis podem ser utilizados como complemento pois o desempenho avaliado foi melhor que a expectativa inicial. É possível inferir que um telemóvel equipado com um sensor LiDAR não pode ser utilizado como ferramenta principal para obtenção de nuvens de pontos completas. No entanto, o equipamento pode ser válido e muito útil como um auxiliar em diferentes situações, cabendo a avaliação da sua utilidade ao contexto de utilização. Um levantamento com telemóvel poderia, por exemplo, complementar uma captura realizada com equipamento estático em situações onde, por motivos operacionais ou financeiros, não existem condições para se realizar um levantamento

de determinados detalhes adstritos a regiões muito concretas. Já existem soluções no mercado que permitem este tipo de complementaridade, permitindo num pós processamento a integração direta de nuvens de pontos obtidas com *Smartphones* com as recolhidas pelos equipamentos estáticos.

Já os resultados obtidos para a solução BLK2GO permite considerar a sua utilização como um complemento em situações nas quais a precisão geométrica não seja uma prioridade, como descrito na Tabela 2, uma vez que em geral os resultados se aproximam satisfatoriamente dos obtidos pelos *scanners* estáticos. Por fim, se forem necessários resultados precisos, como por exemplo LAO30 ou mais alto, a captura com *laser scanners* móveis não deverá ser equacionada.

4. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pela FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) sob a unidade de P & D do Instituto para Sustentabilidade e Inovação em Engenharia Estrutural (ISISE), com referência UIDB / 04029/2020. Agradece-se também o apoio financeiro providenciado pelo projeto Cognitive CMMS – Cognitive Computerized Maintenance Management System (POCI-01-0247-FEDER-033574), financiado pelos programas COMPETE2020, Portugal2020 e FEDER.

Bibliografia

- [1] D. Girardeau-Montaut, “Introduction to ClodCompare,” 13 12 2021. [Online]. Available: <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Introduction> .
- [2] V.V. Lehtola, “Comparison of the Selected State-Of-The-Art 3D Indoor Scanning and Point Cloud Generation Methods”, *MDPI*, 2017.
- [3] J. Jung, S. Yoon, S. Ju and J. Heo, “Development of Kinematic 3D Laser Scanning System for Indoor Mapping and As-Built BIM Using Constrained SLAM”, *MDPI*, 2015.
- [4] U. General Services Administration, Bim Guide for 3D Imaging, ver. 1.0, 2009.
- [5] Ortiz-Coder and Sanchez-Rios, “A self-assembly portable mobile mapping system for archeological reconstruction based on vslam-photogrammetric algorithm”, *MPI*, 2019.
- [6] K. Thoeni, A. Giacomini, R. Murtagh, E. Kniest “A COMPARISON OF MULTI-VIEW 3D RECONSTRUCTION OF A ROCK WALL USING SEVERAL CAMERAS AND A LASER SCANNER”, in *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Riva Del Garda, 2014.

- [7] D. Huttenloche, G. Klanderman and W. Rucklidge, "Comparing images using the Hausdorff Distance", *IEEE*, 1993.
- [8] B. Sirmacek, S. Y., L. R., Z. S. and D. A., "COMPARISON OF ZEB1 AND LEICA C10 INDOOR LASER SCANNING POINT CLOUDS", in *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague, Czech Republic, 2016.
- [9] B. Sirmacek, R. C. Lindenbergh and J. Wang, "QUALITY ASSESSMENT AND COMPARISON OF SMARTPHONE AND LEICA C10 LASER SCANNER BASED POINT CLOUDS, focus on urban context", *Research Gate*, 2016.
- [10] B. Sirmacek and R. Lindenbergh, "Accuracy assessment of building point clouds automatically generated from iphone images", *TU Delft*, 2014.
- [11] U. I. o. B. D. USIBD, USIBD Level of Accuracy Specification Guide, 2009.

Parte X – Visualização avançada de modelos

Orientações para a avaliação da usabilidade de interfaces imersivas para o sector da construção

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.41>

**Fábio Matoseiro Dinis¹, Bárbara Rangel²,
Ana Sofia Guimarães³, João Poças Martins⁴**

¹ CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0003-4017-7962

² CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0002-5911-9423

³ CONSTRUCT-LFC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0002-8467-6264

⁴ CONSTRUCT-GEQUALTEC, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 0000-0001-9878-3792

Resumo

Ao longo dos últimos anos tem sido verificado o desenvolvimento de meios de interação inovadores por forma a minimizar o impacto na mudança de paradigma tecnológico no sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO), quer pela implementação de novas tecnologias, quer pela extensa curva de aprendizagem de algumas ferramentas autorais BIM. A utilização de um espectro variado de tecnologias imersivas (e.g., Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA)), tem contribuído favoravelmente em diversas áreas do conhecimento como a educação e treino para Engenharia [1]–[3], revisão de projeto e colaboração [4]–[6], manutenção de edifícios [7]–[9], segurança na construção [10]–[12], entre outras. Contudo e quando presentes em trabalhos de investigação, a diversidade de procedimentos utilizados para avaliação da aplicabilidade de interfaces inovadoras no sector AECO carece de uma metodologia holística que forneça resultados passíveis de serem comparados, centrados no utilizador e em cumprimento com diretrizes sistematizadas em normas internacionais.

O presente artigo descreve o estado de uma investigação em curso no sentido de propor linhas orientadoras para a avaliação da usabilidade de interfaces inovadoras e imersivas baseadas em BIM, com base em normas de usabilidade de *software* e investigação relacionada. Adicionalmente, apresentam-se várias interpretações dos domínios que compõem o conceito de usabilidade, assim como adaptações para que as avaliações de usabilidade se possam adequar aos requisitos das interfaces imersivas e do próprio sector da construção.

1. Introdução

As interfaces de Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) têm sido desenvolvidas visando várias aplicações no sector da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações (AECO) causando, ao longo dos últimos anos, uma profusão de casos de estudo. De facto, os crescentes desenvolvimentos tecnológicos em campos como a informática e a computação gráfica permitiram o decréscimo dos preços dos equipamentos (e.g., head-mounted displays), tornando-os mais acessíveis ao consumidor comum [10], [13], [14].

Como resultado do progresso tecnológico, sectores industriais como a AECO, reconhecido por alguma resistência no investimento em novas tecnologias [15] largamente devido à natureza fragmentada do sector [16], têm sido alvo de investigação que procura preparar a mudança tecnológica em áreas como operações, coordenação, colaboração, design, aproximando os vários intervenientes dos projetos de construção. Neste sentido, a aplicação de interfaces imersivas baseadas em BIM tem demonstrado potenciais benefícios na melhoria dos comportamentos de segurança a adotar em obra [17], na gestão de cenários de emergência [1], manutenção [18], comunicação e colaboração entre vários intervenientes do sector AECO [19], assim como novas abordagens para a educação e treino na Engenharia [20], entre muitas outras aplicações. Neste sentido, a validação deste tipo de soluções assume especial relevo face à presença de alguns estudos sobre a aplicação de interfaces imersivas para a indústria da construção ausentes de testes complementares que comprovem a adequabilidade e potencial das soluções apresentadas. Por outro lado, quando presentes, verifica-se uma diversidade de métodos de avaliação, procedimentos e dimensões utilizadas que inviabiliza a comparação entre estudos.

É convicção dos autores deste estudo que a utilização de novas interfaces e das suas aplicações em contextos específicos como a Engenharia Civil ou campos relacionados com o sector AECO não deverá ficar comprometida pela falta de um mapa sistemático e holístico sobre como proceder na validação deste tipo de ferramentas e sistemas. Tais orientações deverão simultaneamente permitir a comparação entre estudos, fornecendo prescrições sobre como alcançar domínios de usabilidade padronizados, desta forma contribuindo para a base de conhecimento sobre o desenvolvimento e validação de interfaces imersivas.

O presente artigo assume o desafio de propor diretivas para a avaliação da usabilidade no contexto da Engenharia Civil, com base em normas de usabilidade de software e investigação relacionadas. São ainda apresentadas, várias interpretações dos atributos que compõem o conceito da usabilidade assim como respetivas adaptações para que as avaliações se possam adequar aos requisitos das interfaces imersivas desenvolvidas para o sector AECO.

2. Contextualização do conceito de usabilidade

Não obstante os resultados favoráveis reportados em publicações recentes relativamente à performance, eficiência, eficácia e facilidade de utilização de interfaces imersivas [21]–[23], estas dimensões constituem atributos ou domínios de um conceito mais amplo, a usabilidade. De facto, a utilização de procedimentos muito diversos para reportar resultados da aplicação de interfaces imersivas dificulta a comparação entre estudos, perpetuando a preocupação: "Existirá uma metodologia holística que permita uma comparação objetiva e suficientemente fundamentada sobre os resultados obtidos na aplicação de interfaces imersivas ao contexto do sector AECO?"

Atendendo aos resultados mencionados em recentes revisões sistemáticas da literatura [24], [25], permanece a lacuna por um conjunto de recomendações práticas e suficientemente inclusivas, que promovam uma alternativa à avaliação dispersa de interfaces imersivas aplicadas a objetivos e tarefas semelhantes. Assim, neste artigo apresentam-se os passos iniciais de uma investigação em curso no sentido de promover um conjunto de orientações abrangente e flexível para a avaliação de interfaces imersivas de RV e RA, passível de replicação e comparação entre estudos.

2.1. Pluralidade na definição de usabilidade

A usabilidade faz parte de uma vasta rede de conceitos relacionados com a aceitabilidade de sistemas. No entanto, em termos de aceitabilidade prática, a usabilidade pode ser considerada como um subcampo, relacionado com a qualidade da funcionalidade de um sistema em termos de uso [26]. Usabilidade é um conceito comum que tem sido aplicado como indicador da "capacidade de ser utilizado" referente a um sistema [27]. No entanto, a definição de usabilidade é uma tarefa desafiante, dada a pluralidade de normas com diferentes definições para este conceito (ver também [28]), bem como a dependência dos atributos de usabilidade do contexto de utilização [29]. De forma mais elucidativa, a ISO/IEC 9126-1 estabelece uma abordagem orientada para o produto definindo usabilidade como "A capacidade do software de ser compreendido, aprendido, utilizado e atrativo para o utilizador, quando utilizado em condições especificadas" [30]. Esta norma foi mais recentemente substituída pela ISO 25010:2011 [31] apresentando a usabilidade como uma categoria da qualidade em uso, adaptando a definição da ISO 9241 [32]. O ponto de vista apresentado pela ISO 9241-11:2018 [32] especifica medidas de desempenho e satisfação para avaliações de usabilidade, bem como a exigência de identificação dos objetivos e contexto de utilização [27]. Esta norma define usabilidade como a "medida em que um sistema, produto ou serviço pode ser utilizado por utilizadores especificados para atingir objetivos específicos com eficiência, eficácia e satisfação num contexto de utilização especificado" [32]. Uma visão semelhante é sustentada pela ANSI INCITS 354-2001 [33], como descrito por Sauro e Kindlund [34].

Por sua vez, a IEE Std.610.12-1990 especifica o mesmo conceito como "A facilidade com que um utilizador pode aprender a operar, preparar *inputs* para, e interpretar *outputs* de um sistema ou componente" [35].

O modelo para a usabilidade tem sido objeto de debate entre vários peritos e autores sob o ponto de vista de que mais domínios poderiam ser incluídos como características relevantes deste conceito (e.g., *memorability*, capacidade de aprendizagem, segurança) [26], [29], sugerindo, no entanto, diferentes medidas para a sua avaliação [29].

O presente artigo baseia-se nos modelos de usabilidade de Dix et al. [36], Nielson [26], Abran et al. [29] e Preece et al. [37], bem como nas recomendações da ISO 9241-11 [32] e ANSI INCITS 354-2001 [33]. Adicionalmente, os domínios de usabilidade visados neste trabalho constituem um exercício ilustrativo, passível de caracterizar uma hipotética avaliação de usabilidade no âmbito do sector AECO. Por conseguinte, este estudo pretende descrever uma ferramenta suficientemente plástica a futuras adaptações, nomeadamente a inclusão de outros domínios de usabilidade. Atendendo a que as interfaces imersivas poderão ser avaliadas face à facilidade de utilização e conformidade com os objetivos a atingir num determinado contexto por um determinado tipo de utilizadores (com requisitos próprios), na definição de orientações para a condução de tais avaliações, deverão ser consideradas possíveis modificações face à diversidade de perfis dos intervenientes dos projetos de construção e à amplitude de contextos presentes no sector AECO.

2.2. Sobre tipos de avaliação de usabilidade

Benyon [38] descreve dois tipos principais de avaliação: métodos baseados em peritos e métodos baseados em participantes. A avaliação baseada em peritos compreende um conjunto de sujeitos peritos em Interação Humano-Computador (IHC) ou usabilidade, aptos a testar uma versão em desenvolvimento de uma interface. Por sua vez, estes deverão recorrer à sua experiência para comparar a interface com um conjunto de princípios gerais de design também reconhecidos como heurísticas [38]. Este tipo de avaliação, também conhecido como avaliação formativa, é geralmente realizado durante as fases iniciais de desenvolvimento, onde grandes mudanças afetando a globalidade de uma interface poderão ainda ser apontadas [26], [37], [38].

O segundo tipo de avaliação referido, avaliações sumativas, constitui um método baseado em participantes, compreendendo a avaliação de domínios de usabilidade (e.g., eficiência, eficácia, satisfação, entre outros) podendo estar em conformidade com normas internacionais. Este tipo de avaliação destina-se a produtos finalizados [37], pelo que a qualidade global das interfaces poderá ser avaliada [26] pelos utilizadores (i.e., participantes).

Embora as avaliações sumativas possam ser mais adequadas na condução de uma avaliação quantitativa, a relevância dos aspetos qualitativos presentes na interação deve ser considerada [39]. De facto, a consideração de aspetos qualitativos na avaliação de usabilidade poderá ter um papel significativo na identificação de comportamentos

e decisões tomadas pelos utilizadores. Schaffer et al. [40] descrevem que qualidade está normalmente relacionada com a avaliação da perceção dos utilizadores. Num estudo sobre IHC e escolha da modalidade, os autores referem o efeito do contexto e preferência subjetiva sobre o comportamento dos utilizadores [40]. Embora a RV e RA sejam conhecidas há várias décadas, os avanços tecnológicos para a sua aplicação generalizada são relativamente recentes. Assim, espera-se que a maioria dos utilizadores do sector AECO não esteja completamente familiarizada com este tipo de interfaces, especialmente quando aplicadas à interação com modelos BIM segundo abordagens mais tradicionais (e.g., utilização de ferramentas autorais). Desta forma, a implementação de métodos qualitativos (e.g., entrevistas, grupos focais) para avaliar o contexto e as perceções dos utilizadores, assim como a aceitabilidade da tecnologia, poderá fornecer uma visão mais esclarecedora sobre as necessidades reais dos utilizadores e a disposição para adotar métodos inovadores.

3. Orientações para a avaliação de usabilidade

A aplicação de interfaces imersivas no sector AECO compreende a utilização de um novo tipo de sistema de interação. Neste sentido, e sob a ótica da avaliação, a escolha de objetivos de usabilidade é muitas vezes uma tarefa árdua quando comparada com o mesmo processo aplicado a novas versões de soluções pré-existentes [26]. Como tal, anteriormente à fase de conceção, poderão definir-se quais os atributos, domínios da usabilidade, a avaliar. Poderá igualmente ser solicitado o auxílio de especialistas em usabilidade a fim de se poderem definir critérios para a medição e cumprimento de determinadas tarefas (a realizar pelos utilizadores durante as avaliações sumativas) (ver também, Rideout [41] e Nielsen [26] sobre a utilização de linhas de objetivos de usabilidade).

Ao longo do processo iterativo de desenvolvimento de interfaces imersivas poderão planear-se momentos de teste formativos, como a realização de avaliações heurísticas, especialmente ao longo das fases iniciais. De facto, as etapas iniciais de desenvolvimento são propensas a um maior número de modificações na conceção, pelo que, através da aplicação de heurísticas, poderão identificar-se de forma expedita uma variedade de problemas de usabilidade. Sobre este tipo de avaliação, Nielsen [26] recomenda a utilização de três a cinco avaliadores, sugerindo a existência de uma relação positiva entre o número de peritos e o número de problemas que poderão vir a ser encontrados.

Noutro aspeto e anteriormente à concretização de avaliações sumativas, poderá equacionar-se a realização de testes piloto. Utilizadores menos experientes que enfrentem uma transição entre gerações de tecnologias e tipos de interface deverão ser expostos a sessões de formação para explorar alguns dos aspetos da interface sem comprometer os testes de usabilidade [26]. Este procedimento assegura que os resultados dos testes não serão distorcidos devido ao esforço dos utilizadores com a mecânica das interações [26].

Os testes de usabilidade baseados em participantes (i.e., avaliações sumativas) permitem avaliar uma dada interface numa fase avançada de desenvolvimento. Como tal, a realização de testes de medição torna-se adequada para aferir atributos de usabilidade previamente delineados. Sauro e Kindlund [34] declaram que para realizar uma avaliação sumativa sobre a usabilidade de um produto, é necessário definir e medir um conjunto de métricas. Os autores destacam as recomendações da ISO 9241-11 [32] e ANSI INCITS 354-2001 [33] que definem as dimensões de usabilidade como compostas por: eficiência, eficácia e satisfação.

A tabela 1 identifica a definição admitida pelos autores do presente artigo sobre os referidos atributos da usabilidade. Por razões estritamente ligadas a simplicidade da apresentação das orientações a que este artigo se propõe, admitiram-se apenas três atributos. Contudo e como referido anteriormente (ver subcapítulo 2.1) este estudo pretende descrever uma ferramenta suficientemente plástica a futuras adaptações, pelo que poderão incluir ou substituir-se atributos da usabilidade (e.g., *memorability*, capacidade de aprendizagem, segurança, entre outros) em pertinência dos requisitos e contexto da avaliação a que se destinam.

Tabela 1
Atributos da usabilidade e sua definição.

Atributos	Definição
Eficácia	A extensão alcançada pelos utilizadores cumprindo e completando com precisão um conjunto pré-definido de tarefas e objetivos. ¹
Eficiência	Recursos consumidos para atingir um determinado resultado que conduza a um determinado nível de desempenho. ²
Satisfação	O agrado verificado na utilização do sistema em comparação com as expectativas e necessidades do utilizador anteriores à experiência. ¹

¹ Conforme [26], [32]; ² Conforme [33].

Eficácia e eficiência são domínios da usabilidade relacionados com a definição de tarefas. Assim, deverá ser previamente formulada uma lista de tarefas e subtarefas, pelo que os utilizadores deverão ser igualmente e expressamente informados sobre quais as tarefas a serem executadas durante o teste de usabilidade. Assumindo que cada utilizador pretenderá completar as tarefas estabelecidas, na eventualidade de falhar ou não completar uma determinada subtarefa, deverá contabilizar-se um desconto na percentagem final (i.e., valor total da eficácia) de conclusão da tarefa (ver também Sauro e Kindlund [42]). A eficácia pode, portanto, ser medida como a percentagem de conclusão de uma tarefa, enquanto que a eficiência (de utilização) diz respeito ao tempo despendido a completar a tarefa [26].

No que respeita à avaliação da satisfação verifica-se a utilização de uma variedade de questionários. Um destes exemplos é o *System Usability Scale* (SUS) que, para além de representar uma ferramenta reconhecida, possui a vantagem de ser relativamente curto (i.e., 10 questões), com fiabilidade comprovada (ver também Sauro [43]), bem como relativamente fácil para a análise de resultados. Em detalhe, cada resposta pode ser classificada usando uma escala Likert de cinco pontos. Os valores das respostas serão depois adaptados de acordo com o número da pergunta. Ou seja, a cada resposta a itens ímpares é subtraído 1 valor, e cada resposta a um item de número

par terá a sua classificação subtraída a partir de 5. Após adicionar todos os valores de cada resposta (após o ajustamento), o valor obtido deverá ser multiplicado por 2,5 [43]. Segundo este processo o valor final situar-se-á entre 0 e 100 e corresponderá à satisfação geral do sistema.

A Figura 1 concentra a visão geral das fases e procedimentos acima mencionados.

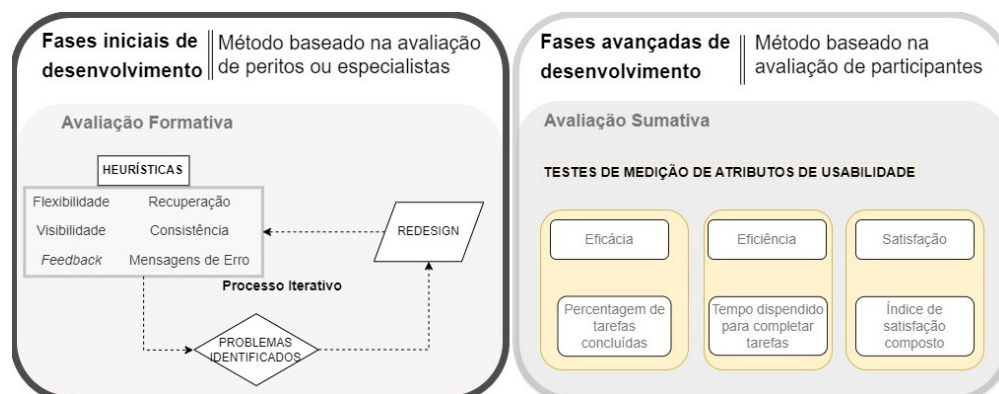
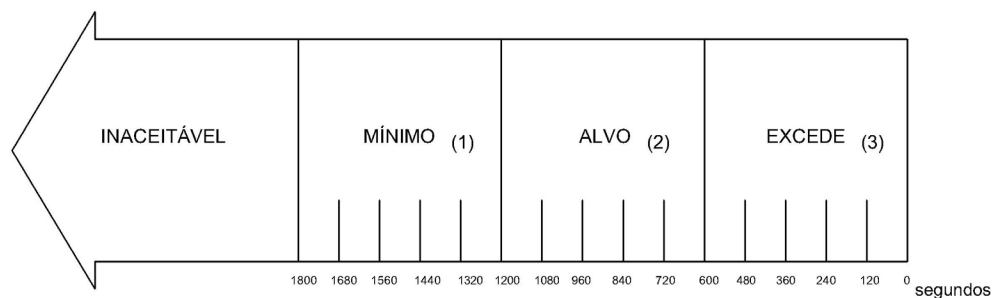


Figura 1
Avaliação formativa (à esquerda) e avaliação sumativa (à direita).

Para poder estabelecer uma comparação entre estudos centrados em aplicações semelhantes de interfaces imersivas, os autores deste estudo sugerem que os três atributos sejam comparados em termos de três medidas descritivas: média aparada, mediana, e coeficiente de correlação. Como tal, é necessário realizar uma transformação de escala, uma vez que o atributo eficiência é medido numa escala temporal (e.g., número de segundos despendidos na realização de uma tarefa), enquanto os restantes são avaliados numa escala percentual entre 0 e 100. Neste sentido e considerando a inexistência de uma regra geral para estabelecer a duração de tarefas (segundo o conhecimento dos autores), Preece et al. [37] sugerem estabelecer períodos de pausa se uma tarefa for concebida para demorar mais que 20 minutos. Considerando uma hipotética avaliação de usabilidade (teste sumativo), sem pausas, os autores propõem a definição de um mínimo e máximo aceitáveis, bem como o período de tempo alvo para completar tarefas pré-definidas (consultar Figura 2). Logo, é possível discernir qual seria o período de tempo alvo para diferentes intervalos de eficiência e posteriormente transformá-lo num valor percentual. Uma abordagem semelhante à definição de uma *usability goal line* (ver também Nielsen [26] e Rideout [41]) onde se estabelecem o nível planeado, assim como intervalos de tempo teóricos mínimos e máximos. A Figura 2 ilustra um exemplo de uma possível abordagem para transformação de escala visando o atributo da eficiência.

**Figura 2**

Sugestão para a transformação de escala do atributo eficiência através de uma *usability goal line*.

- (1) Deduzir 10 % por cada intervalo além da área alvo
- (2) Intervalo correspondente a 50 % de Eficiência
- (3) Adicionar 10% por cada intervalo além da área alvo

4. Conclusão

A mudança de paradigma tecnológico pode parecer inevitável e transversal à maioria dos sectores da indústria provocando novos desafios em particular no sector AECO face à possível substituição de práticas tradicionais por abordagens digitais. Adicionalmente, a adoção do BIM enfrenta ainda limitações no que respeita à adaptação aos níveis de conhecimento, requisitos e especificidade de tarefas de muitos intervenientes dos projetos de construção [44], [45]. A aplicação de tecnologias imersivas (e.g., RV e RA) para interação com informação contida em modelos BIM poderá constituir uma alternativa para agilizar colaboração e a integração de uma geração de profissionais ainda não totalmente familiarizados com ferramentas digitais imersivas.

Adicionalmente, a questão da validação assume especial relevo face à presença de alguns estudos visando interfaces imersivas desenvolvidas para a indústria da construção sem a presença de testes que comprovem a adequabilidade e potencial das soluções apresentadas. Por outro lado, quando presente, verifica-se uma diversidade de métodos de avaliação, procedimentos e dimensões utilizadas que inviabiliza a comparação entre estudos. Por conseguinte, o presente artigo pretende preencher esta lacuna, fornecendo diretivas acessíveis sobre como conduzir uma avaliação de usabilidade de interfaces imersivas para o sector AECO.

A escolha dos atributos de usabilidade constitui um passo fundamental no processo de avaliação, pelo que o presente trabalho sugere um conjunto de três domínios (i.e., eficácia, eficiência e satisfação) em conformidade com a pluralidade de definições para o conceito de usabilidade e as visões admitidas por diversos autores e normas internacionais.

São igualmente sugeridas a realização de avaliações heurísticas e testes piloto, assim como a transformação de escala do atributo relacionado com a eficiência através da utilização de *usability goal lines* de modo a viabilizar uma disseminação clara dos resultados obtidos numa potencial avaliação.

O presente artigo alerta ainda para a relevância dos testes qualitativos que poderão assumir um papel significativo na identificação de comportamentos e decisões tomadas pelos utilizadores.

Como trabalhos futuros serão realizados casos de estudo sobre a aplicação de interfaces imersivas cuja validação da adequabilidade ao sector AECO será avaliada segundo as orientações promovidas pelo presente trabalho.

Agradecimentos

O primeiro autor gostaria de reconhecer a bolsa de doutoramento 2020.07329.BD concedida pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), cofinanciada pelo Fundo Social Europeu (FSE) através do Programa Operacional Regional Norte.

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC), bem como o Financiamento de Base – UIDB/00145/2020 do CEAU – Centro de Estudos de Arquitectura e Urbanismo, ambos financiados por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).

Referências

- [1] B. Wang, H. Li, Y. Rezgui, A. Bradley, and H. N. Ong, “BIM based virtual environment for fire emergency evacuation”, *Sci. World J.*, vol. 2014, pp. 1-22, Jan. 2014.
- [2] T. H. Wu, F. Wu, C. J. Liang, Y. F. Li, C. M. Tseng, and S. C. Kang, “A virtual reality tool for training in global engineering collaboration”, *Universal Access in the Information Society*, vol. 1, no. 0123456789, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-13, 05-Dec-2017.
- [3] F. M. Dinis, A. S. Guimaraes, B. R. Carvalho, and J. P. P. Martins, “Development of virtual reality game-based interfaces for civil engineering education”, in *IEEE Global Engineering Education Conference, EDUCON*, Atenas, Grécia, 2017, pp. 1195-1202.
- [4] C. Botton, “Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D simulation”, *Autom. Constr.*, vol. 96, pp. 1-15, 2018.
- [5] J. Du, Y. Shi, Z. Zou, and D. Zhao, “CoVR: Cloud-Based Multiuser Virtual Reality Headset System for Project Communication of Remote Users”, *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 144, no. 2, p. 4017109, Feb. 2017.
- [6] J. G. Cárcamo, H. Trefftz, D. A. Acosta, and L. F. Botero, “Collaborative design model review in the AEC industry”, vol. 11, no. 4, pp. 931-947, Nov. .

- [7] Yangming Shi, Jing Du, S. Lavy, and Dong Zhao, "A Multiuser Shared Virtual Environment for Facility Management", *Procedia Eng.*, vol. 145, 2016.
- [8] H. Bae, M. Golparvar-Fard, and J. White, "High-precision vision-based mobile augmented reality system for context-aware architectural, engineering, construction and facility management (AEC/FM) applications", *Vis. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 3, Dec. 2013.
- [9] M. Chu, J. Matthews, and P. E. D. Love, "Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study", *Autom. Constr.*, vol. 85, no. October 2017, pp. 305-316, Jan. 2018.
- [10] T. Hilfert et al., "Low-cost virtual reality environment for engineering and construction", *Vis. Eng.*, vol. 4, no. 1, p. 2, Dec. 2016.
- [11] R. Sacks, J. Whyte, D. Swissa, G. Raviv, W. Zhou, and A. Shapira, "Safety by design: dialogues between designers and builders using virtual reality", *Constr. Manag. Econ.*, vol. 33, no. 1, pp. 55-72, Jan. 2015.
- [12] J. K. W. Wong et al., "Virtual prototyping for construction site Co2 emissions and hazard detection", *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 11, no. 1, p. 130, Aug. 2014.
- [13] J. Wolfartsberger, "Analyzing the potential of Virtual Reality for engineering design review", *Autom. Constr.*, vol. 104, pp. 27-37, Aug. 2019.
- [14] A. Nandavar, F. Petzold, J. Nassif, and G. Schubert, "Interactive Virtual Reality Tool for BIM Based on IFC – Development of OpenBIM and Game Engine Based Layout Planning Tool – A Novel Concept to Integrate BIM and VR with Bi-Directional Data Exchange", in *23rd CAADRIA Conference*, 2018, pp. 453-462.
- [15] Ning Gu and K. London, "Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry", *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 8, Dec. 2010.
- [16] R. Johnson and E. Laepple, "Digital innovation and organizational change in design practice", 2003.
- [17] S. Azhar, "Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites", *Procedia Eng.*, vol. 171, pp. 215-226, Jan. 2017.
- [18] G. Williams, M. Gheisari, A. M. Asce, P.-J. Chen, J. Irizarry, and M. Asce, "BIM2MAR: An Efficient BIM Translation to Mobile Augmented Reality Applications", *J. Manag. Eng.*, vol. 31, no. 1, p. A4014009, Jan. 2015.
- [19] F. M. Dinis, L. Sanhudo, J. P. Martins, and N. M. M. Ramos, "Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning", *J. Build. Eng.*, vol. 30, p. 101287, 2020.

- [20] C. Wang, H. Li, and S. Y. Kho, "VR-embedded BIM immersive system for QS engineering education", *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 26, no. 3, pp. 626-641, Feb. 2018.
- [21] W. S. Alhalabi, "Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education", *Behav. Inf. Technol.*, vol. 35, no. 11, pp. 919-925, 2016.
- [22] J. Fogarty, J. McCormick, and S. El-Tawil, "Improving Student Understanding of Complex Spatial Arrangements with Virtual Reality", *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol. 144, no. 2, 2018.
- [23] D. Paes, E. Arantes, and J. Irizarry, "Immersive environment for improving the understanding of architectural 3D models: Comparing user spatial perception between immersive and traditional virtual reality systems", *Autom. Constr.*, vol. 84, pp. 292-303, Dec. 2017.
- [24] A. Sidani et al., "Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review", *Arch. Comput. Methods Eng.*, vol. 28, no. 2, pp. 1-14, 2019.
- [25] A. Sidani et al., "Recent Tools and Techniques of BIM-Based Augmented Reality: A Systematic Review".
- [26] Jakob Nielsen, *Usability Engineering*. Mountain View, California: Morgan Kaufman, 1993.
- [27] N. Bevan, J. Carter, and S. Harker, "ISO 9241-11 Revised: What Have We Learnt About Usability Since 1998?", in *International Conference on Human-Computer Interaction*, 2015, pp. 143-151.
- [28] N. Bevan, "International standards for HCI and usability", *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 55, no. 4, pp. 533-552, 2001.
- [29] A. Abran, A. Khelifi, W. Suryn, and A. Seffah, "Consolidating the ISO usability models", *Proc. 11th Int. Softw. Qual. Manag. Conf.*, pp. 23-25, 2003.
- [30] ISO/IEC, "ISO/IEC FDIS 9126-1: SOFTWARE ENGINEERING PRODUCT QUALITY PART 1: QUALITY MODEL (2000)". 2000.
- [31] ISO_25010, "ISO/IEC 25010:2011: Systems and Software Engineering - Systems and Software Product Quality Requirements and Evaluation - System and Software Quality Models", ISO, 2011. [Online]. Available: <https://www.iso.org/standard/35733.html>. [Accessed: 04-Apr-2019].
- [32] "ISO 9241-11 Ergonomics of human-system interaction – Part 11: Usability: Definitions and concepts", vol. 2018. 2018.
- [33] "ANSI INCITS 354-2001 Common Industry Format for Usability Test Reports". InterNational Committee for Information Technology Standards [INCITS], 2001.

- [34] J. Sauro and E. Kindlund, "A method to standardize usability metrics into a single score", Proc. SIGCHI Conf. Hum. factors Comput. Syst. – CHI '05, p. 401, 2005.
- [35] IEEE, "IEEE Std 610.12-1990, IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology". p. 84, 1990.
- [36] A. Dix, J. Finlay, G. Abowd, and R. Beale, Human-Computer Interaction, 3rd ed. Essex, England: Pearson Education Limited, 2004.
- [37] J. Preece, Y. Rogers, and H. Sharp, *Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction*, vol. 18, no. 1. John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [38] D. Benyon, *Designing Interactive Systems: A comprehensive guide to HCI, UX and interaction design*, Third. Essex, England: Pearson Education Limited, 2014.
- [39] A. Cooper, R. Reimann, and D. Cronin, *About Face 3: The essentials of interaction design*, vol. 3, no. 3. Indianapolis, Indiana: Wiley Publishing, Inc., 2007.
- [40] S. Schaffer, R. Schleicher, and S. Möller, "Modeling input modality choice in mobile graphical and speech interfaces", Int. J. Hum. Comput. Stud., vol. 75, pp. 21-34, 2015.
- [41] T. Rideout, "Changing your methods from the inside," IEEE software, 8, 3, 1991.
- [42] J. Sauro and E. Kindlund, "A method to standardize usability metrics into a single score", in Proc. SIGCHI Conf. Hum. factors Comput. Syst. – CHI '05, Portland, Oregon, EUA, p. 401, 2005.
- [43] J. Sauro, "Measuring Usability With The System Usability Scale (SUS)", Measuring Usability, 2011. [Online]. Available: <https://measuringu.com/sus/>. [Accessed: 25-May-2018].
- [44] Y. Liu, S. van Nederveen, and M. Hertogh, "Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China", Int. J. Proj. Manag., vol. 35, no. 4, pp. 686-698, May 2017.
- [45] H. Kerosuo et al., "Challenges of the expansive use of Building Information Modeling (BIM) in construction projects", Production, vol. 25, no. 2, pp. 289-297, Jun. 2015.

Ambiente virtual imersivo e interativo para modelos BIM: Exportação automática e ferramentas de visualização

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.42>

**Pedro Ferreira¹, Luís Sanhudo¹,
José Pintor¹, António Aguiar Costa¹**

¹ *BUILT CoLAB – Collaborative Laboratory for the Future Built Environment, Portugal*

Resumo

Considerando o progresso de tecnologias como o *Building Information Modelling* (BIM) e tendo em vista a crescente adoção das mesmas em novos projetos construtivos, torna-se essencial que a integração destas tecnologias seja feita de forma intuitiva. Desta forma, usufrui-se dos diversos benefícios resultantes, sem os entraves que advêm de uma acentuada curva de aprendizagem associada a tecnologias disruptivas. Assim, a perspetiva de uma utilização recorrente e generalizada destas ferramentas tornar-se-á uma realidade mais atingível, permitindo o seu reconhecimento como o novo paradigma do setor da Construção.

De forma a facilitar a integração da metodologia BIM neste setor, o presente artigo propõe um ambiente virtual 3D que evidencia de forma simplificada algumas das vantagens desta tecnologia como ferramenta de apoio ao projeto. Este ambiente virtual foi criado recorrendo a um motor de jogo, tirando partido das características que só este proporciona, com a ambição de tornar o ambiente imersivo e interativo. Consequentemente, foram desenvolvidas ferramentas úteis de visualização, que visam estimular o interesse e colaboração entre utilizadores, que se deparam com uma visão mais realista da arquitetura e engenharia do projeto. A transição entre o *software* de modelação BIM e a aplicação desenvolvida é assegurada através de um exportador de modelos 3D, criado especificamente para o efeito. Desta forma, é estabelecido um fluxo de trabalho que integra de forma complementar o ambiente gerado e o *software* de modelação BIM utilizado.

1. Introdução

O processo de digitalização da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) apresenta um papel crucial na transformação deste setor, beneficiando de múltiplas inovações tecnológicas que potenciam uma significativa diminuição de custos ao longo do projeto construtivo [1]. Parte deste processo de digitalização passa pela própria implementação destas tecnologias que, consoante a atratividade dos respetivos benefícios, apresentam distintas prioridades ao nível do seu investimento e adoção [2]. Entre estas, destaca-se o *Building Information Modelling* (BIM), como a tecnologia mais transversalmente utilizada.

Contudo, apesar da progressiva adesão da indústria AEC a esta tecnologia, a sua taxa de adoção permanece inferior ao previsto [3]. Isto deve-se, em grande parte, à resistência à mudança, à acentuada curva de aprendizagem associada e à falta de conhecimento técnico por parte das entidades não especializadas que intervêm ao longo do projeto. Desta forma, o BIM acaba por não ser ainda abordado de forma completamente colaborativa [4], existindo a necessidade de estabelecer ferramentas e metodologias que permitam a fácil integração dos diferentes perfis e experiências das partes interessadas [5].

Neste sentido, a utilização de ambientes imersivos tem, em anos recentes, apresentado resultados favoráveis na resolução deste problema [6], permitindo uma simplificada e intuitiva interatividade entre o utilizador e o modelo BIM. Estes ambientes imersivos são, na sua maioria, suportados por tecnologia de Realidade Virtual (RV).

Com o intuito de encorajar a adoção de ambas as tecnologias e facilitar a interação com ambientes BIM, o presente artigo propõe um *software* onde se tira partido dos benefícios da tecnologia de RV para salientar os benefícios do BIM, em diferentes partes do processo construtivo.

Em termos de estrutura, este artigo inicia com uma breve exposição do estado da arte, referindo a relevância destas tecnologias no setor AEC. Segue-se uma descrição detalhada da metodologia implementada e o desenvolvimento das diferentes ferramentas produzidas. Posteriormente, é apresentado um caso de estudo realizado com o propósito de validar a metodologia utilizada e, por último, são identificadas as principais conclusões finais.

2. Estado da Arte

Ambientes virtuais, referem-se a ambientes simulados em computador que visam replicar interações realistas entre o utilizador e um ambiente 3D simulado, proporcionando experiências imersivas irreplicáveis por outras tecnologias. Avanços tecnológicos recentes nos domínios do *hardware* e *software*, têm impulsionado novos desenvolvimentos nesta área, possibilitando assim uma maior acessibilidade a este tipo de ferramentas.

Imprescindíveis à criação e desenvolvimento destes ambientes virtuais surgem os motores de jogo – *software* ou *frameworks* complexas que auxiliam e simplificam o processo de programação, reduzindo substancialmente o custo e duração do seu desenvolvimento. Estes motores fornecem múltiplas funcionalidades e ferramentas base, que evitam a redundância de as desenvolver de raiz. Destacam-se o motor de física e o motor de *renderização* embutidos, bem como ferramentas de som, animação e comunicação em rede como algumas das que acrescentam maior valor a este tipo de *software*. Através da integração destas ferramentas com modelos BIM, torna-se possível a criação de visualizadores 3D que elevam as capacidades de simulação, demonstração, comunicação e até educação desta tecnologia.

Beneficiando também das vantagens destes motores, existem cada vez mais aplicações de RV na indústria AEC. Esta tecnologia, que teve o seu início na indústria dos jogos, permite uma melhor visualização e simulação de diversos cenários da Construção, sendo que a imersividade proporcionada permite uma reprodução mais realista e intuitiva da localização e condição dos elementos construtivos, quando comparada com CAD tradicional [7]. Por este motivo, múltiplos autores, em anos recentes, consideram a adoção da tecnologia de RV para inúmeras tarefas da Construção [8], nomeadamente: planeamento urbano [9]; análise do edifício [10]; design [11]; monitorização de obra [12]; modelação e visualização de atividades [13]; identificação de riscos e/ou otimização de processos [14]; e apoio à comunicação [6]; com múltiplas ferramentas a serem desenvolvidas com o intuito de auxiliar na aplicação e exploração desta tecnologia [15]–[17].

Focando o apoio à comunicação, a integração destas tecnologias possibilita uma redução substancial de lacunas de conhecimento entre diferentes partes envolvidas num projeto. Como exemplo desta utilização, Y.-C. Lin et al. [18] sugerem a adoção duma aplicação para o contexto hospitalar, onde a ferramenta visa aproximar técnicos e *stakeholders* no que toca a processos de gestão e operação. Num cenário semelhante, V. Getuli et al. [19] propõem a utilização de RV e BIM para melhorar a transmissão de normas de segurança entre os trabalhadores e representar esta informação num modelo 3D. Por sua vez, F. Pour Rahimian et al. [20] abordam a adoção de RV para facilitar a coordenação e o fluxo de informação entre o modelo BIM e a realidade no estaleiro, de forma a rastrear o processo de construção. A rápida disseminação destas tecnologias permitiu ainda a sua adoção num contexto educativo [21], de formação e capacitação, fornecendo novas perspetivas em relação aos métodos comumente utilizados – inculcando novas experiências de trabalho e colaboração consideradas essenciais num mercado cada vez mais globalizado.

3. Metodologia

No decorrer deste trabalho foram realizadas escolhas relativas ao *software* utilizado que são relevantes para o enquadramento da aplicabilidade e acessibilidade do produto final. Relativamente ao *software* BIM, optou-se pela utilização do *Autodesk Revit*, uma ferramenta amplamente utilizada por arquitetos e engenheiros que dispõe de

uma *Application Programming Interface* (API) aberta e de simples operação. Para o motor de jogo, a plataforma *Unity3D* ou *Unity*, foi o *software* adotado no desenvolvimento do ambiente virtual. Esta ferramenta beneficia de uma ampla quantidade de utilizadores, que geram conteúdo educativo, bem como *assets* que podem ser utilizados de forma gratuita.

A metodologia utilizada para o desenvolvimento da aplicação proposta tem como principal objetivo garantir uma fácil e rápida interoperabilidade entre o *software* de modelação BIM e o motor de jogo. O intuito desta abordagem é de possibilitar a criação de uma *one-stop shop*, a que o utilizador recorre para transferir os seus modelos para o ambiente 3D imersivo. Assim, poder-se-á reduzir a fricção com que é realizada a transição entre aplicações, promovendo a sua inclusão de forma mais recorrente nos processos construtivos.

Para que esta metodologia seja bem-sucedida é necessário assegurar não só a interoperabilidade entre o *software* utilizado, mas também a correta passagem de todos os ficheiros que se verifiquem indispensáveis à visualização do modelo 3D no ambiente virtual. Como tal, foi feita uma revisão dos diferentes formatos de ficheiro que podem ser utilizados para transferir a informação geométrica para o visualizador, cujo resultado está disposto na Tabela 1.

Tabela 1

Formatos de ficheiro suportados pelos programas utilizados.

	DWG	DXF	DGN	OBJ	3DS	DAE	IFC	FBX
<i>Revit</i>	✓	✓	✓				✓	✓
<i>Unity</i>		✓		✓	✓	✓		✓

Pela análise da Tabela 1, verifica-se que a sobreposição entre os formatos suportados pelo *software Revit* e *Unity* reduz a escolha a apenas duas opções: FBX e DXF. Contudo, nenhuma das opções suporta a possibilidade da utilização de texturas – essencial numa aplicação que pretende visualizações realistas de modelos 3D.

Assim, foi necessária a adoção de um método alternativo, nomeadamente, o desenvolvimento de um exportador próprio. Este exportador foi criado sob a forma de um *plugin* para o *Revit* e fornece um maior grau de controlo e liberdade sobre as condições de exportação.

Esta solução permite a exportação da informação geométrica sob a forma de um ficheiro OBJ, através de funcionalidades disponibilizadas na API do *Revit*, em conjunto com um ficheiro MTL, que irá guardar toda a informação relativa às texturas. É ainda exportado um ficheiro adicional JSON, que fornece informação relevante do projeto BIM a ser exportado, juntamente com metadados pertinentes, específicos de cada elemento BIM constituinte. Só desta forma se poderá ter uma reprodução fiel no visualizador do modelo que está a ser desenvolvido no ambiente de modelação.

O fluxograma evidenciado na Figura 1 representa o fluxo de trabalho expectável para um utilizador da aplicação. No *Revit*, um utilizador que esteja no processo de

modelação e pretenda enviar o modelo para o ambiente BIM-VR em *Unity*, procede à abertura do exportador e à seleção das configurações de exportação. Os ficheiros resultantes da exportação são guardados numa pasta especificada pelo utilizador a que o *Unity* acede posteriormente. A geração do ambiente BIM-VR em *Unity* pode ser realizada sob duas formas: (1) diretamente através do *Revit*, após o término do processo de exportação; ou (2) através de um *Launcher* desenvolvido com o objetivo de abrir a aplicação de forma independente do *Revit* – versão *standalone*. De referir que a aplicação em *Unity* pode ser utilizada sem óculos de RV, recorrendo apenas ao computador, no qual são utilizados o rato e o teclado para fornecer os controlos *in-game*.

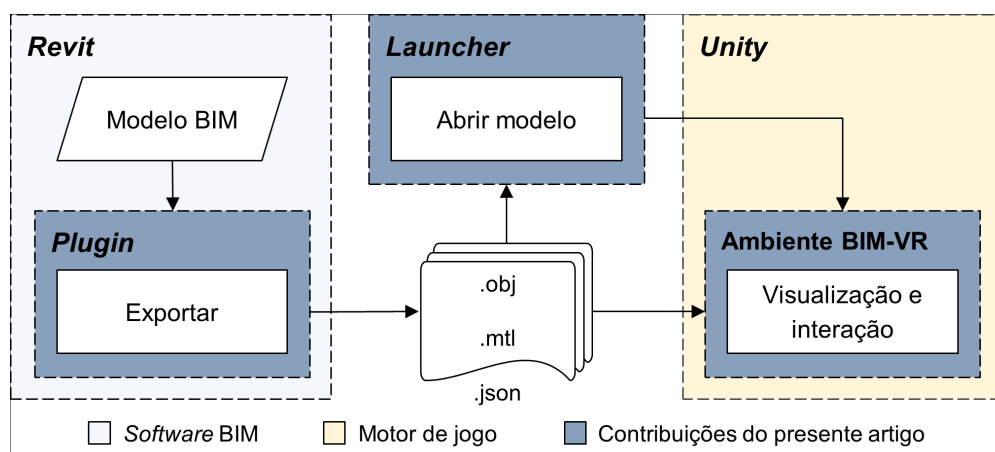


Figura 1
Fluxograma representativo da metodologia utilizada.

4. Desenvolvimento

O trabalho de desenvolvimento pode ser segmentado em duas grandes vertentes: uma referente ao *Revit* e outra ao *Unity*. Na sua maioria, as atividades desenvolvidas focaram-se em desenvolvimentos associados à física do motor de jogo, das ferramentas integradas no mesmo, bem como da interface gráfica. Outras atividades de relevo abrangem a consulta e utilização da API do *Revit*, a produção do *plugin* de exportação e, finalmente, do *launcher standalone*.

4.1. Autodesk Revit – Plugin de Exportação

O *plugin* de exportação desenvolvido para o *Revit* foi criado com recurso ao *Windows Presentation Foundation* (WPF), uma plataforma gráfica *open-source* desenvolvida pela *Microsoft*. Para a base do código utilizou-se C# e para a componente gráfica, o *Extensible Application Markup Language* (XAML). O *plugin* é composto apenas por uma única janela na qual o utilizador pode definir as configurações de exportação do modelo, consoante a sua finalidade. O conjunto de configurações que o utilizador pode ajustar para obter os resultados pretendidos inclui:

- Seleção manual de elementos a exportar versus todos os elementos visíveis na *view*;
- Escolha do nível de detalhe da geometria dos elementos a exportar;

- Escolha do diretório onde os ficheiros serão guardados;
- Opção de incluir toda a geometria num ficheiro único, ou exportar cada elemento para um ficheiro separado.

O *plugin* funciona de forma assíncrona, isto é, durante o processo de exportação é possível continuar a interagir com o *software Revit*, incluindo a alteração do próprio modelo BIM. De notar que só é possível iniciar o *plugin* quando o utilizador se encontra na *view 3D* do *Revit*, uma vez que, só assim a API pode aceder à informação geométrica dos elementos a exportar.

Terminada a exportação, como referido anteriormente, é possível abrir o *Unity* diretamente a partir do *Revit*, por forma a gerar o ambiente BIM-VR. Isto possibilita a criação de uma ligação entre os dois ambientes (BIM e BIM-VR), possibilitando a comunicação entre os dois. No futuro, esta ligação irá servir de base para o desenvolvimento de ferramentas que usufruam desta conexão, permitindo que alterações realizadas no ambiente BIM-VR sejam replicadas, de forma automática, no ambiente BIM.

4.2. Visualizador *Unity*

4.2.1. Criação do ambiente virtual

O ambiente *Unity* foi desenvolvido com o intuito de ser utilizado como sandbox para diferentes casos de uso. Neste sentido, a aplicação dever-se-á adaptar ao modelo importado, com a consciência de que todas as ferramentas disponibilizadas terão de funcionar com o elevado grau de especificidade e aplicabilidade dos diferentes modelos recebidos.

Paralelamente, foi realizado um esforço para que o visualizador fosse imersivo e visualmente apelativo, utilizando para isso o ficheiro MTL exportado, que disponibiliza as texturas a serem acrescentadas ao modelo para apresentação. Foi ainda considerada e incluída como predefinição a presença de um plano (caso este não seja incluído no modelo), que alicerça a personagem no ambiente, e de uma *skybox* interativa (conforme localização e horário). Toda a interface gráfica foi desenvolvida para proporcionar uma utilização intuitiva por parte de utilizadores menos experientes, sendo que as tipologias dos menus foram inspiradas naquelas habitualmente utilizadas em jogos.

4.2.2. Ferramentas Interativas

Dada a natureza multifacetada da aplicação desenvolvida, é essencial que a variedade de ferramentas disponibilizadas reflita esse objetivo. Assim, estas foram orientadas para a visualização e análise do modelo, tendo como objetivo base, colmatar lacunas presentes em *software* BIM – especificamente no que concerne a apresentação de uma perspetiva mais realista. Atualmente, encontram-se desenvolvidas as seguintes ferramentas:

- Diminuição de opacidade de elementos/fazer *highlight* para os realçar;
- Listagem de todos os elementos presentes no modelo 3D, ordenando-os por ID;
- Alteração da escala do modelo;
- Controlo do ciclo de dia/noite (localização da fonte de luz natural), incluindo a velocidade da passagem do tempo (ou paragem por completo do ciclo), a introdução de datas e horas específicas e a escolha de *presets* de estações do ano;
- Alteração da orientação do modelo e da sua localização geográfica (latitude e longitude);
- Visualização da informação geral do projeto (nome, localização, autor, entre outros);
- Aquisição, armazenamento e partilha de capturas da tela do ambiente no visualizador.

A estas funcionalidades acrescentam-se todas as mecânicas de controlo que permitem a navegação no ambiente, das quais se salientam a capacidade de voo e tele-transporte; a visualização de um mini mapa com a planta do edifício; e a capacidade de interação com elementos do modelo de forma realista (ex.: abertura de portas).

4.3. Launcher

A importância do *Launcher* advém da capacidade de fornecer controlo de versões e possibilitar o *download* de *updates* de forma automatizada. É também através deste que o utilizador escolhe o modelo a abrir, caso pretenda lançar o visualizador de forma independente do *Revit*.

Adicionalmente, o *Launcher* possibilita que vários utilizadores possam interagir em simultâneo no mesmo ambiente BIM-VR, permitindo a execução do mesmo em modo de anfitrião/cliente.

5. Caso de Estudo

Nesta secção é apresentado um caso de estudo com o intuito de validar a metodologia definida anteriormente. O caso de estudo foca a utilização das várias ferramentas desenvolvidas num contexto de design e/ou coordenação do projeto, possibilitando a navegação, visualização e interação com o ambiente BIM-VR.

Para isso, inicialmente foi necessário proceder à escolha do modelo BIM a ser utilizado. Por forma a garantir a replicabilidade dos resultados por outros utilizadores, identificou-se o modelo "*rac_advanced_sample_project*", disponível nas *samples* do *software Autodesk Revit*. Este modelo constitui um estabelecimento de ensino de 3 pisos (R/C incluído), de elevada área e volumetria, com um alto nível de complexidade geométrica e uma grande variedade de objetos e elementos construtivos.

Escolhido o modelo, seguiu-se a sua exportação utilizando o *plugin* desenvolvido para o propósito (Secção 4.1) e a sua abertura através do *Launcher* (intermediário escolhido neste caso de estudo). O resultado é uma réplica do modelo BIM no ambiente BIM-VR. As interfaces do *plugin* e do *Launcher* estão representadas na Figura 2, enquanto o ambiente BIM-VR encontra-se representado na Figura 3.



Figura 2
Interface do *plugin* (esquerda) e do *Launcher* (direita).

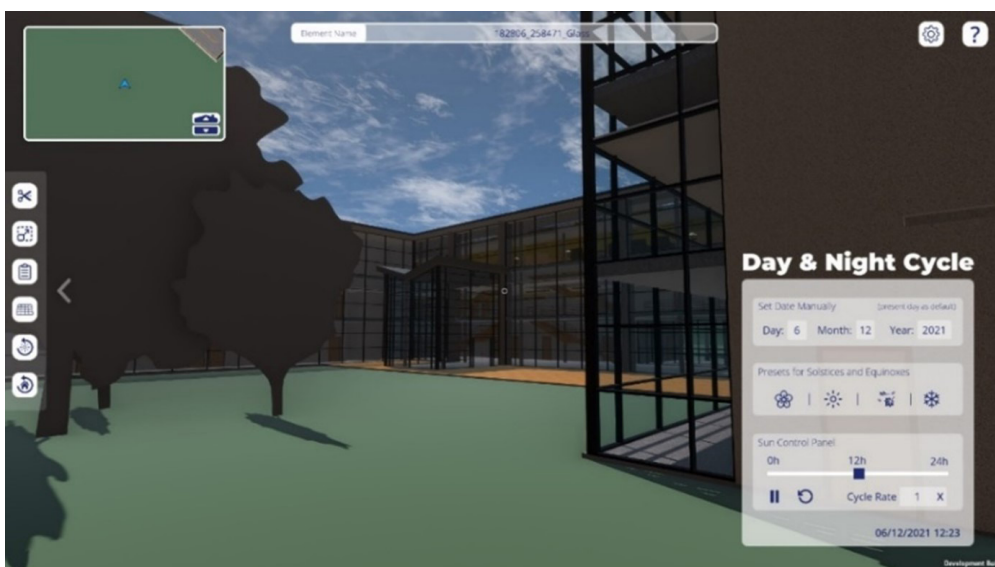


Figura 3
Ambiente BIM-VR obtido.

Aberto o visualizador, estão acessíveis ao utilizador todas as ferramentas que foram desenvolvidas para facilitar a análise e visualização do modelo. Na Figura 4 são representadas algumas das funcionalidades, enumeradas na Secção 4.2.2:

- (A) Realçar elementos através de um menu radial;
- (B) Alterar opacidade através da lista de objetos;
- (C) Capturar a tela/ecrã;
- (D) Controlar o ciclo de dia/noite, incluído todas as funcionalidades de manipulação do mesmo.

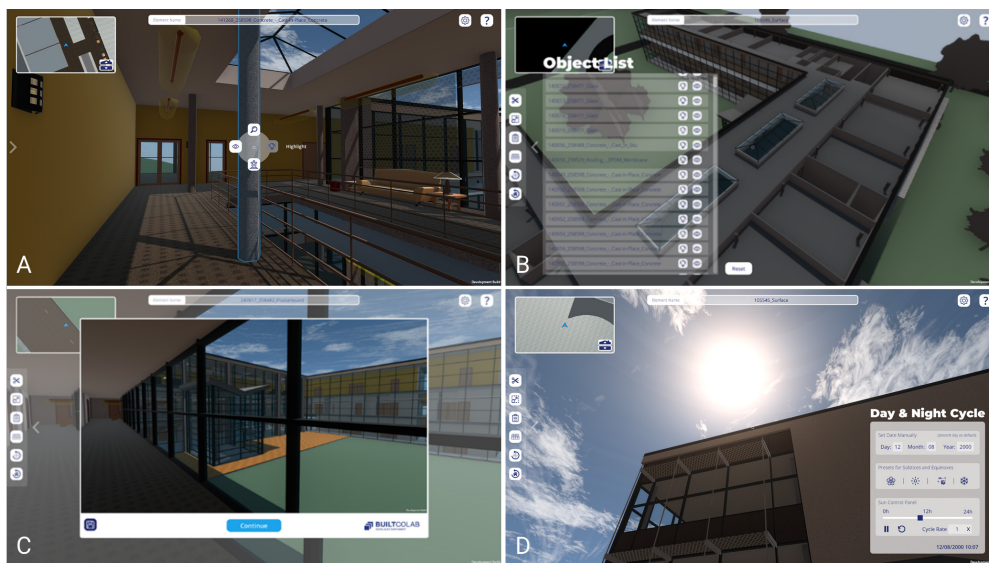


Figura 4
Exemplos de ferramentas desenvolvidas para o ambiente BIM-VR.

Através destas imagens, é ainda possível ter uma visão global do que foi implementado e da forma como foram planeadas a maioria das interações entre o utilizador e as ferramentas disponibilizadas.

Por fim, no desenrolar do caso de estudo foi possível identificar que todas as ferramentas se encontram devidamente implementadas, a funcionar corretamente e de acordo com o inicialmente planeado. Vídeos referentes às ferramentas desenvolvidas podem ser acedidos através dos seguintes links: <https://youtu.be/DkhEbyz492s> e <https://youtu.be/a1WRkIKgq2o> ou utilizando os códigos QR presentes na Figura 5.



Figura 5
Códigos QR para acesso aos vídeos das ferramentas desenvolvidas.

6. Conclusões

Outrora um setor conservador na sua recetividade a novas práticas e tecnologias, o setor AEC está neste momento melhor posicionado para a adoção de novos métodos de trabalho. Neste artigo, foi apresentada uma metodologia que considera as vantagens dos ambientes virtuais e da RV como auxiliar aos processos de visualização, planeamento e modelação BIM, com potencial de aplicação em múltiplos contextos do setor da Construção.

Durante a execução do projeto, as maiores dificuldades centraram-se no *plugin* de exportação, dada a sua importância no fluxo de trabalho proposto e a complexidade dos desenvolvimentos em causa. Foi necessária uma aprendizagem no que toca ao modo de funcionamento dos ficheiros OBJ, utilizados na exportação, nomeadamente na forma como guardam e organizam informação 3D. Outros problemas ainda enfrentados estão relacionados com a otimização das aplicações e o seu desempenho.

Trabalhos futuros envolvem a inclusão de ferramentas de colaboração, incluindo um modo cooperativo, onde vários utilizadores podem interagir, de forma simultânea, entre si e com o modelo, partilhando a mesma instância do visualizador. Acrescenta-se ainda o constante melhoramento das ferramentas já desenvolvidas, podendo ser adaptadas ao nível do seu funcionamento e da sua interface gráfica.

7. Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014].

Referências

- [1] P. Almeida et al., "Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology", 2016.
- [2] P. Bosch-Sijtsema et al., "The hype factor of digital technologies in AEC", *Construction Innovation*, 2021
- [3] D. Walasek and A. Barszcz, "Analysis of the Adoption Rate of Building Information Modeling [BIM] and its Return on Investment [ROI]", *Procedia Engineering*, 2017.
- [4] H. Kerosuo et al., "Challenges of the expansive use of Building Information Modeling (BIM) in Construction Projects", *Produção*, 2015.
- [5] A. Sidani et al., "Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review", *Archives of Computational Methods in Engineering*, 2021.
- [6] F. M. Dinis et al., "Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning", *Journal of Building Engineering*, 2020.
- [7] P. Puschmann et al., "Risk Analysis (Assessment) Using Virtual Reality Technology - Effects of Subjective Experience: An Experimental Study", *Procedia CIRP*, 2016.

- [8] L. Sanhudo et al., "Building information modeling for energy retrofitting – A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018.
- [9] M. Roupé et al., "Interactive navigation interface for Virtual Reality using the human body", *Computers, Environment and Urban Systems*, 2014.
- [10] T. Iachini et al., "Multisensory assessment of acoustic comfort aboard metros: A virtual reality study", *Applied Cognitive Psychology*, 2012.
- [11] D. Paes and J. Irizarry, "A Usability Study of an Immersive Virtual Reality Platform for Building Design Review: Considerations on Human Factors and User Interface", *Construction Research Congress*, 2018.
- [12] F. Pour Rahimian et al., "On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning", *Automation in Construction*, 2020.
- [13] M. Gath-Morad et al., "Beyond the shortest-path: Towards cognitive occupancy modeling in BIM", *Automation in Construction*, 2022.
- [14] S. Azhar, "Role of Visualization Technologies in Safety Planning and Management at Construction Jobsites", *Procedia Engineering*, 2017.
- [15] Enscape3d.com, "Enscape™ – Real-Time Rendering and Virtual Reality", 2022. [Online]. Available: <http://enscape3d.com>.
- [16] Irisvr.com, "VR for Architecture, Engineering, and Construction", 2022. [Online]. Available: <http://irisvr.com>.
- [17] BIMCreators.nl, "BIM Creators BV – BIM voor alle technische installaties – BIM Creators BV", 2022. [Online]. Available: <http://bimcreators.nl>.
- [18] Y. C. Lin et al., "Integrated BIM, game engine and VR technologies for healthcare design: A case study in cancer hospital", *Advanced Engineering Informatics*, 2018.
- [19] V. Getuli et al., "BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach", *Automation in Construction*, 2020.
- [20] F. Pour Rahimian et al., "On-demand monitoring of construction projects through a game-like hybrid application of BIM and machine learning", *Automation in Construction*, 2020.
- [21] D. Fonseca et al., "Combining BIM systems and Video-Games engines in Educational Ephemeral Urban and Architectural Proposals", *PervasiveHealth: Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 2020.

Realidade aumentada e realidade virtual em nuvem na construção civil: Uma análise da produção científica entre 2011 e 2021

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.43>

**Maria Paula Dunel¹, Thaís Alves²,
Reymard Sávio Sampaio de Melo³**

¹ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0002-4051-7341

² Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0002-4409-1536

³ Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, 0000-0001-9111-8992

Resumo

Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV) são tecnologias atuais postuladas pela Construção 4.0, e sua próxima evolução prevista é a integração com o ambiente em nuvem. O objetivo deste artigo é identificar, categorizar e analisar publicações científicas relacionadas a esta integração com aplicação na construção civil, através do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) e análise cientométrica por meio do uso da plataforma VOSviewer. O estudo retornou trabalhos de cunho teórico, mas quantidade considerável com caráter prático e possibilidades reais de aplicação. Além disso, demonstrou a tendência de integração de tais sistemas com outras tecnologias, entre as quais o *Building Information Modeling* (BIM) ganha lugar de destaque. Entretanto, as pesquisas também se revelaram incipientes, demandando maior integração e ainda apresentando diversas oportunidades de desenvolvimento. Assim, pretende-se contribuir para a organização do conhecimento e para a orientação de pesquisadores, profissionais de obras e investidores em tecnologia.

1. Introdução

O caminho evolutivo da Realidade Virtual (RV) e da Realidade Aumentada (RA) é em direção à nuvem [1]. Com base nas redes de quinta geração (5G) e tecnologias de nuvem de ponta, as soluções de RV/RA em nuvem surgiram para acelerar os aplicativos de RV/RA e melhorar a experiência dos usuários. A evolução 5G é rápida o suficiente para transmitir dados RV/RA da nuvem, e isso pode fortalecer a capacidade de processamento de dados, a visualização e feedback em tempo real [1].

Existe um estudo recente sobre o cenário de uso de RA e RV nos setores de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), que propõe uma agenda de pesquisa para suprir as lacunas existentes. Apesar da pesquisa formalizar e categorizar o uso existente de RA e RV na indústria da construção, percebe-se que os autores não focam na relação da RV/RA com a nuvem [2].

Considerando as pesquisas existentes e a lacuna de correlação das tecnologias no campo da AEC, este estudo propõe identificar, analisar e categorizar as publicações internacionais de RV/RA em nuvem na construção civil por meio do Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL). Dessa forma, pretende-se contribuir para a organização do conhecimento e para a orientação de futuras pesquisas (indicando áreas com maior potencial de exploração), para profissionais de obra que busquem exemplos de aplicação em suas realidades e para investidores em novas tecnologias.

2. Método de pesquisa

O MSL foi adotado como método de pesquisa. Um MSL objetiva uma visão geral sobre o que está sendo pesquisado no mundo sobre determinado assunto [3]. Para a realização deste MSL, foram estabelecidas duas etapas: Coleta de dados e Análise dos dados.

2.1. Coleta de dados

O protocolo de pesquisa foi realizado com base no método PICo (*Population or Problem, Interest, Context*) voltado para estudos qualitativos e funciona como auxílio na construção de “uma pergunta de pesquisa” e na “busca de evidências” [4]. Na Figura 1, apresenta-se o referido protocolo aplicado nas bases de dados *Web of Science* (WOS), *Scopus* e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

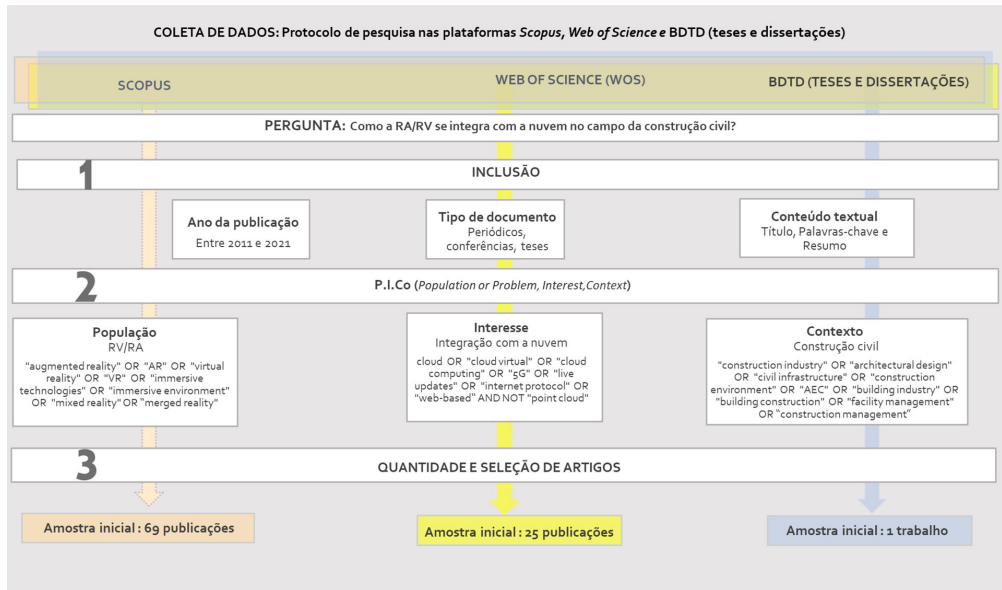


Figura 1
Protocolo de pesquisa aplicado.

Adicionalmente, foi feita uma busca manual nos anais das edições 2019 e 2021 do Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção (SBTIC) e das edições de 2016, 2018 e 2020 do Congresso Português de *Building Information Modelling* (PTBIM).

2.2. Processo de exclusão

Uma vez aplicado o protocolo de pesquisa nos bancos de dados, detectam-se 69 publicações na plataforma *Scopus*, 25 publicações na plataforma *Web of Science* e 01 tese de doutorado na BDTD. Foram coletadas apenas 03 publicações no PTBIM edição 2020 e 01 publicação no SBTIC da edição 2019. Em seguida, aplica-se o processo de triagem (Figura 2).

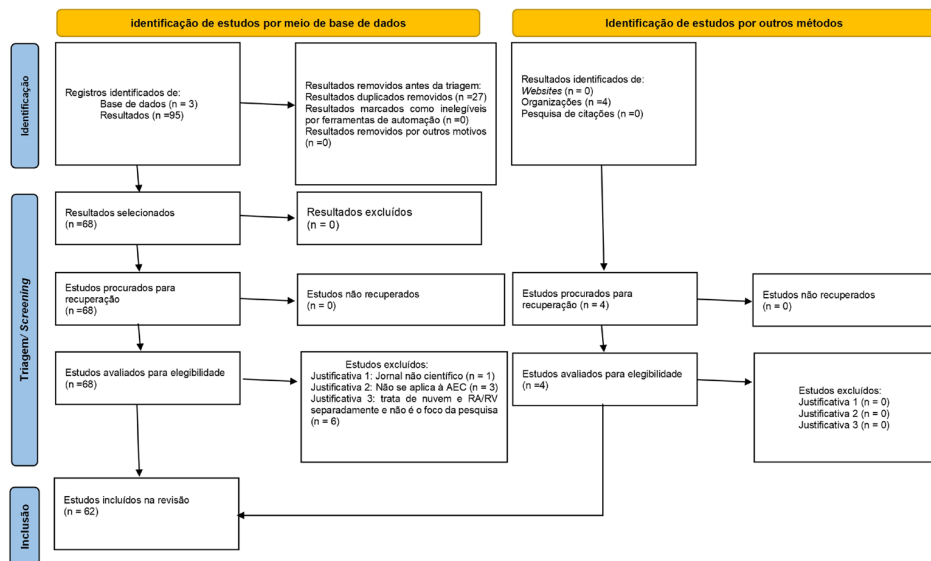


Figura 2
Fluxograma do processo de seleção da literatura.

2.3. Análise de dados

Nesta etapa, as publicações foram analisadas com base no conteúdo do título, resumo, palavras-chaves e considerações finais/conclusões. A análise de dados foi dividida em:

- **Análise cientométrica:** foram analisados os parâmetros científicos gerais das publicações (número de publicações por ano, distribuição geográfica, coocorrências de termos em palavras-chave, referências e coautoria). Foi necessária uma análise estatística para tratar esses dados, bem como utilizada a plataforma *VOSviewer* para complementar a análise.
- **Categorização das publicações revisadas:** Para fornecer uma análise mais aprofundada e qualitativa dos trabalhos revisados, os autores propuseram uma matriz que relaciona diferentes categorias nas quais eles podem ser organizados: natureza da publicação, fase do ciclo de vida da edificação, tipo de empreendimento, tipo de tecnologia aplicada e aplicação.

3. Resultados

3.1. Análise cientométrica

A pesquisa retornou um total de 197 autores, que foram analisados do ponto de vista geográfico e temporal. Pela Figura 3, é possível identificar 11 grupos distintos que não se relacionam entre si, em sua maior parte formados por um único país. Verifica-se liderança dos Estados Unidos e forte presença do continente asiático nas produções científicas, as quais são atribuídas à China, Coreia do Sul, Japão, Taiwan, Hong Kong, Bahrain, Índia, Singapura e Vietnã.

Na Figura 3, também é possível visualizar a distribuição das correlações autorais no tempo, através da média dos anos de publicação de cada país. O ápice das publicações acontece a partir de 2018. A figura revela que a participação da Croácia, Suécia, Singapura, Índia e Suíça é relativamente nova (2021), enquanto a participação do Japão e Coreia do Sul é mais antiga (inferior a 2016). Países como China, Estados Unidos, Taiwan e Canadá também possuem publicações no início do período de análise, mas, ao contrário dos países anteriormente citados, continuaram produzindo ao longo do tempo, e, portanto, possuem ano médio de publicação mais elevado.

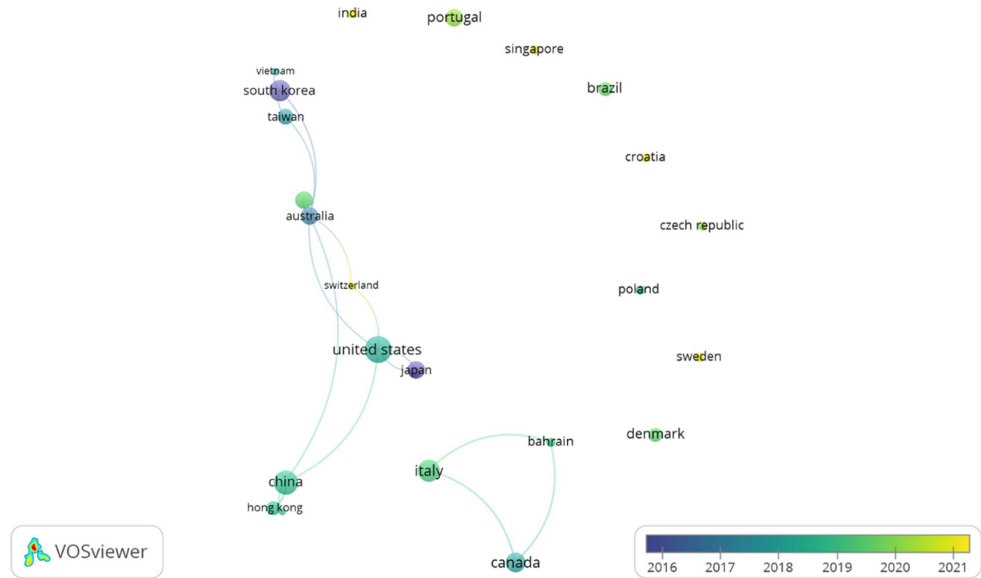


Figura 3
Coautoria geográfica.

A análise de palavras-chave dos autores também foi conduzida nesta pesquisa (Figura 4). Os termos que aparecem mais vezes nos documentos são, nesta ordem, “Augmented Reality”, “BIM” (e sua variação por extenso, *Building Information Modeling*), “Cloud computing” e “Virtual Reality”. Três destes termos eram esperados, já que a *string* utilizada para a busca focaliza esta temática. A frequência de uso do termo “BIM”, por sua vez, não era tão previsível, mas enfatiza a importância que tem sido a ele atribuída na indústria da construção.

Também é possível entender que a tecnologia de realidade aumentada tem sido mais explorada do que a realidade virtual, sendo a única interligada ao conceito de “Internet of Things (IoT)”. A realidade mista aparece com menor intensidade nos resultados. Ademais, verifica-se a ligação das palavras principais com termos relacionados a gestão, integração, colaboração e qualidade.

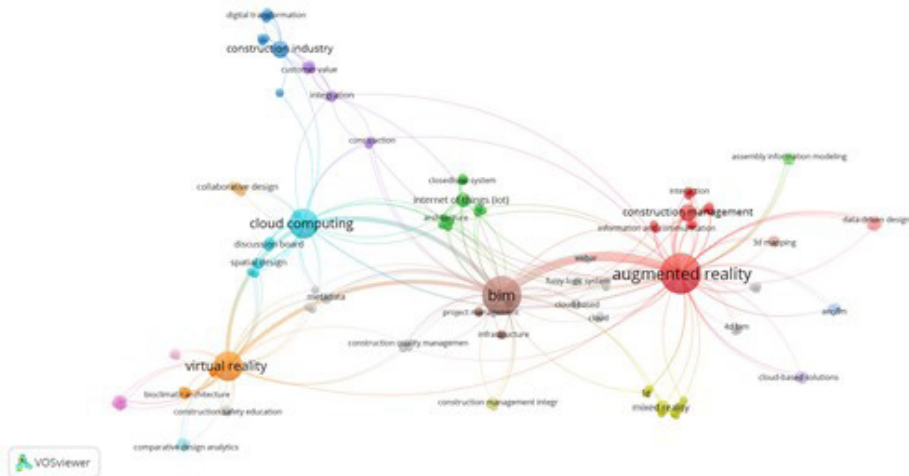


Figura 4
Coocorrência de palavras-chave (grupos de correlações diferenciados por cor).

No âmbito das citações, foi conduzida análise do número de vezes em que os trabalhos da pesquisa foram citados externamente, o que indica a relevância e aplicabilidade do seu conteúdo na comunidade científica (Figura 5). Apenas 40 publicações foram selecionadas para esta análise, já que os demais documentos não apresentam histórico de citação.

O líder do ranking é o artigo “*Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction*” [5]. Trata-se de um artigo amplo, que propõe de forma preditiva, tendências para o futuro da realidade aumentada na indústria da construção, entre elas a tecnologia da nuvem.

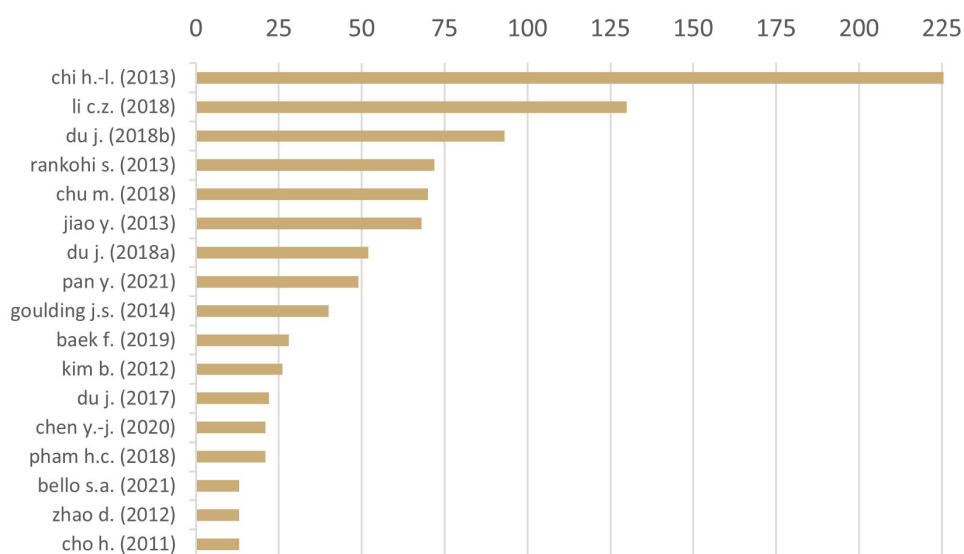
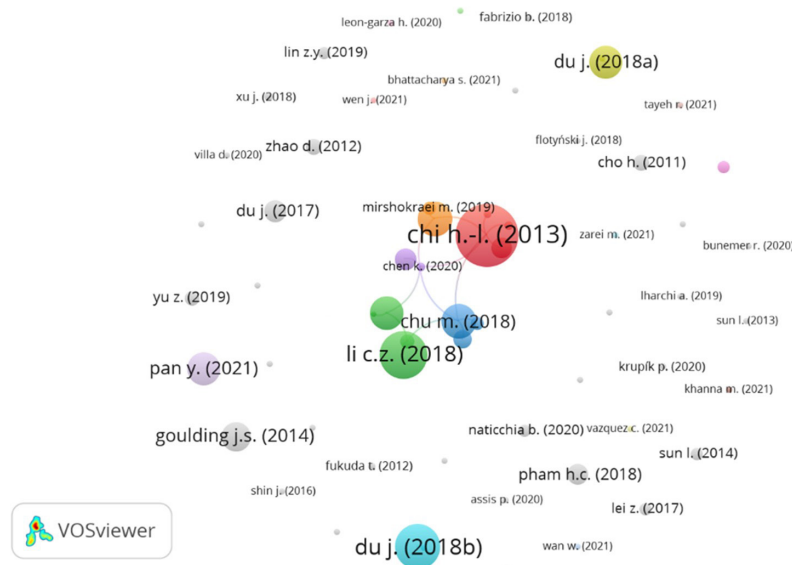


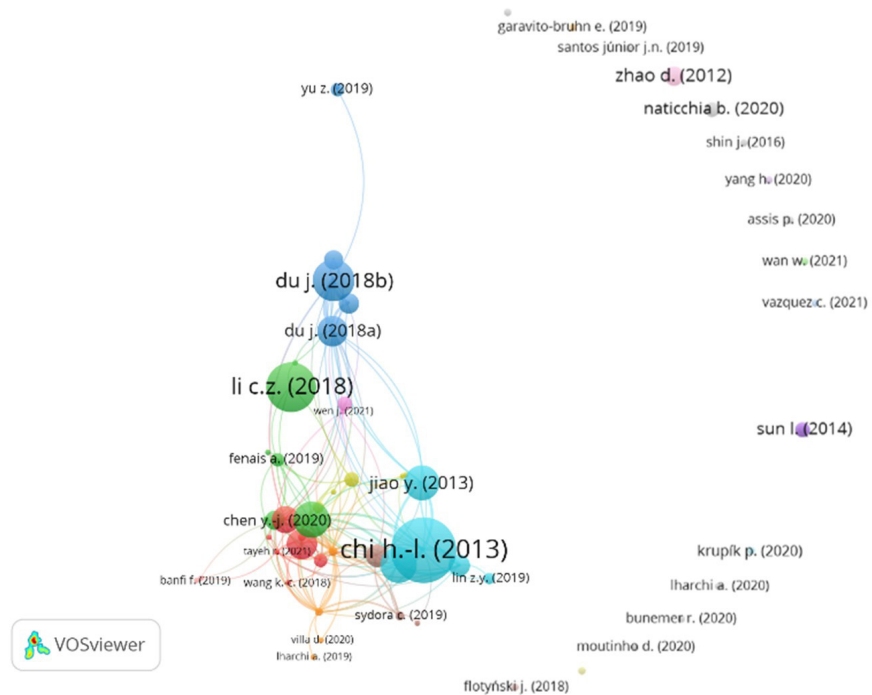
Figura 5
Número de citações por publicação (recorte das publicações mais citadas).

A Figura 6 ilustra a existência de 25 grupos de documentos que não se relacionam entre si em termos de citações, o que pode demonstrar uma fragmentação na área de pesquisa. Entretanto, em um destes grupos é possível verificar a correlação entre 15 publicações. Entre elas, vale destacar o artigo de Chu, M. [6], pois ele cita o artigo líder do ranking, considerado de grande relevância, e por sua vez, é citado por quatro outros documentos, dos quais dois se espelham na metodologia por ele proposta para avaliação prática após o desenvolvimento de sistemas.

**Figura 6**

Correlação de citações (grupos de correlações diferenciados por cor).

A Figura 7 mostra que a maioria das publicações apresenta pelo menos um documento de referência compartilhado com outro trabalho da pesquisa. Apenas treze artigos não apresentam nenhuma correlação com os demais.

**Figura 7**

Correlação de referências (grupos de correlações diferenciados por cor).

3.2. Categorização das publicações revisadas

A Figura 8 ilustra a matriz proposta para categorização das publicações revisadas. Inicialmente foram elencadas as tecnologias abordadas em cada documento. Verifica-se que 34% deles tratam exclusivamente da utilização da Realidade Aumentada (RA),

enquanto 36% aplicam a Realidade Virtual (RV). Entretanto, ainda é possível fazer uma subdivisão entre Realidade Virtual imersiva e não imersiva, sendo esta última compreendida essencialmente como uma visualização tridimensional através de monitor. Existem 11 trabalhos que tratam de ambas as tecnologias (RA e RV) e 8 que aplicam a Realidade Mista (RM), sugerindo que esta é uma abordagem ainda mais incipiente.

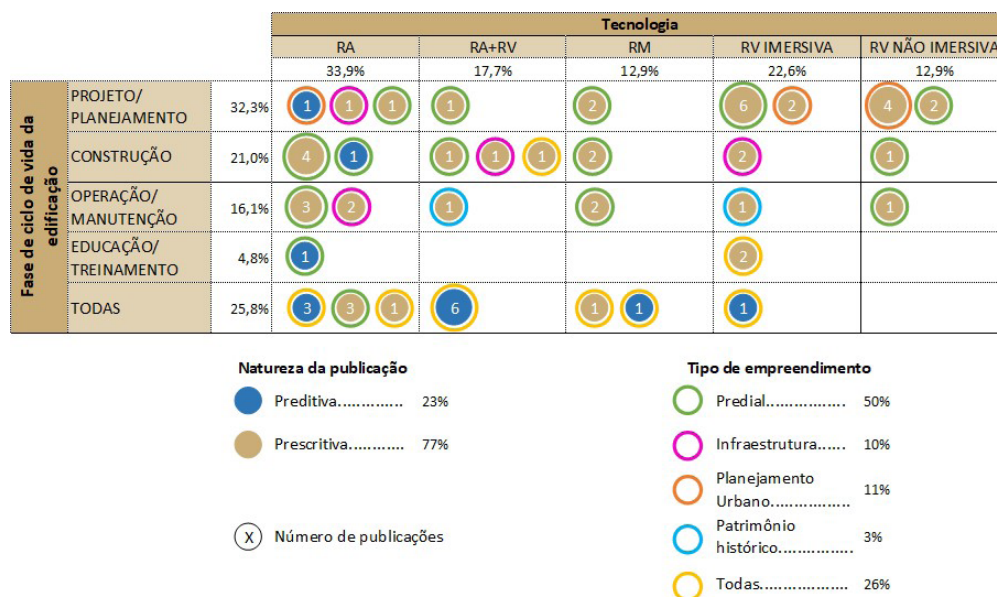


Figura 8
Matriz de categorias aplicadas.

A segunda avaliação feita está relacionada à fase do ciclo de vida da edificação em conjunto com as aplicações mais frequentes (referenciadas por publicações populares a título de exemplificação). A maioria das publicações trata de aplicações do tema no âmbito de desenvolvimento de projetos e planejamento da construção. Nesta fase, as pesquisas são focadas em: melhoria da comunicação do projeto [7]; aprimoramento da consolidação e compartilhamento de informações [8], sincronização entre plataformas [9], análise prévia de estratégias de execução de obra [10].

Na sequência, são identificados trabalhos aplicados à fase de construção. Nesta área são estudadas abordagens de: gerenciamento da evolução construtiva [11, 12]; avaliação de qualidade executiva [13]; centralização de informações e simplificação de leitura de projetos [6]; gerenciamento da segurança da obra [12].

Em terceiro lugar aparecem as publicações focadas na fase de operação. Tais documentos foram identificados a partir de 2016, sendo possível inferir que se trata de uma abordagem mais recente. Estas pesquisas buscam: facilitação do acesso às informações de projeto e dados de manutenção e pesquisa [14]; visualização de instalações embutidas/enterradas e monitoramento de estruturas de difícil acesso [15]; mapeamento de edificações existentes [16].

Existem 16 publicações generalistas que abrangem todas as fases da edificação, focados em explorar o estado da arte e tendências da digitalização na indústria da construção [1, 5] e melhorar a gestão de informações ao longo de todo o seu ciclo de vida [17].

Por fim, foram encontrados 3 trabalhos que focam na área de educação, especificamente voltados ao treinamento sobre segurança na construção [18, 19] e ao ensino de estruturas para alunos de engenharia [20].

Verifica-se que as publicações de projeto são majoritariamente relacionadas à RV. Os artigos de construção e operação utilizam principalmente a tecnologia RA. Entende-se que essa relação segue uma lógica, já que no momento do projeto, normalmente não há um ambiente para visualização aumentada e por isso, se recorre aos ambientes exclusivamente digitais. Por outro lado, o ambiente real se materializa na fase de construção e está consolidado na fase de operação, permitindo e demandando visualização *in loco*.

No âmbito da educação, a aplicação prática é exclusivamente voltada para a RV, sendo a RA uma lacuna ainda a ser explorada.

Também foi conduzida uma caracterização em função do tipo de empreendimento ao qual a publicação se aplica. A maioria é focada em aplicações prediais, mas também se verificam aplicações ao planejamento urbano, obras de infraestrutura e preservação do patrimônio histórico, ainda com vasto campo a ser explorado. Existem 16 artigos generalistas que não possuem uma aplicação definida.

Apesar das categorias identificadas, não se acredita que as aplicações dos estudos sejam restritas à tipologia utilizada, isto é, entende-se que é possível estender as contribuições dos artigos a outras áreas do setor.

Esta pesquisa também propõe uma categorização por natureza da publicação. 77% das publicações possuem uma natureza prescritiva, isto é, têm como objetivo diagnosticar um problema e propor uma solução utilizando as tecnologias RA/RV/RM em nuvem. Os 23% restantes apresentam natureza preditiva, que objetiva discorrer sobre tendências e possíveis aplicações futuras da temática, em sua maioria embasados por mapeamento da literatura e/ou por métodos investigativos (entrevistas, por exemplo).

Os documentos preditivos estão essencialmente relacionados à RA ou à combinação RA/RV. Foram identificadas apenas 2 publicações desta natureza focadas exclusivamente em RV e RM.

De forma majoritária, as publicações que apresentam natureza prescritiva propõem o desenvolvimento de um novo sistema computacional e conduzem testes de uso de tal sistema, através de simulações e amostragem ou aplicação em estudo de caso real. Eles permeiam todos os tipos de empreendimentos e fases do ciclo de vida.

Normalmente estes sistemas integram diferentes ferramentas e na maioria dos casos, consideram o uso do BIM, conceito este que é abordado em 73% dos documentos pesquisados.

Em termos de sugestões para estudos futuros, os artigos normalmente indicam potenciais de aprimoramento dos sistemas computacionais desenvolvidos na publicação, com o intuito de solucionar suas limitações, e ampliação de sua gama de testes. São citadas melhorias a serem perseguidas como o aumento da precisão da localização dos dados [13], da integração de usuários [9], da interoperabilidade de sistemas [7, 18], da capacidade de processamento para modelos complexos [6, 9], da retroalimentação em tempo real [15], do aumento da automação [7], entre outros. Também são indicadas como necessárias as avaliações da experiência do usuário e reais ganhos de qualidade e produtividade com novos sistemas [9, 18].

4. Considerações finais

O presente artigo permitiu identificar o estado atual da produção científica sobre RA/RV em nuvem na indústria da construção a partir de análises cientométricas e categorização das publicações revisadas.

Esta é uma área ainda pouco explorada, um pouco fragmentada em termos de autores e países, mas com alto número de estudos de natureza prescritiva, aplicados a grande diversidade de realidades e com soluções a serem aprimoradas.

As principais lacunas encontradas estão relacionadas à aplicação da realidade mista em geral, às aplicações em empreendimentos diferentes dos prediais, à exploração de trabalhos preditivos em RV e à ampliação dos estudos na área educacional, especialmente relacionados à RA, as quais representam potenciais lacunas para próximas pesquisas.

Considera-se importante destacar a existência de limitações para a presente pesquisa. A amostragem de documentos revela uma temática recente, em desenvolvimento inicial, e é possível que algumas publicações não tenham sido alcançadas pela *string* de busca utilizada. Pesquisas futuras podem incluir outras bases de dados no protocolo de pesquisa.

Referências

- [1] Y. Pan and L. Zhang, "Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends", *Automation in Construction*, vol. 122, pp. 1-21, February 2021. doi: 10.1016/j.autcon.2020.103517
- [2] J. M. D. Delgado, L. Oyedele, P. Demian, and T. Beach, "A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 45, pp. 1-21, August 2020. doi: 10.1016/j.aei.2020.101122

- [3] K. Petersen, R. Feldt, S. Mujtaba, and M. Mattsson, "Systematic mapping studies in software engineering", in *International conference on evaluation and assessment in software engineering – EASE'08 (2008)*, Italy, 2008. pp. 68-77.
- [4] V. Cardoso, I. Trevisan, D. A. Cicoella, and R. Waterkemper, "Revisão sistemática de métodos mistos: método de pesquisa para a incorporação de evidências na enfermagem", *Texto & Contexto Enfermagem*, vol. 28, pp. 1-12, April 2019. doi: 10.1590/1980-265X-TCE-2017-0279
- [5] H-L Chi, S-C. Kang, and X. Wang, "Research trends and opportunities of augmented reality applications in architecture, engineering, and construction", *Automation in Construction*, vol. 33, pp. 116-122, August 2013. doi: 10.1016/j.autcon.2012.12.017
- [6] M. Chu, J. Matthews, and P. E. D. Love, "Integrating mobile Building Information Modelling and Augmented Reality systems: An experimental study", *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 305-316, January 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.032
- [7] J. Du, Y. Shi, Z. Zou, and D. Zhao, "CoVR: Cloud-Based Multiuser Virtual Reality Headset System for Project Communication of Remote Users", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144 (2), February 2018. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001426
- [8] S. Moon, M. Pyeon, S. Bae, D. Lee, and S. Han, "Big Data Architecture Design for the Development of Hyper Live Map (HLM)", *Journal of the Korean Society of Surveying*, vol. 34, pp. 207-215, April 2016. doi: 10.7848/ksgpc.2016.34.2.207
- [9] J. Du, Z. Zou, Y. Shi, and D. Zhao, "Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making", *Automation in Construction*, vol. 85, pp. 51-64, January 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2017.10.009
- [10] J. S. Goulding, F. P. Rahimian, and X. Wang, "Virtual reality-based cloud BIM platform for integrated AEC projects", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, pp. 308-325, September 2014.
- [11] C. Z. Li, F. Xue, X. Li, J. Hong, and G. Q. Shen, "An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction", *Automation in Construction*, vol. 89, pp. 146-161, May 2018. doi: 10.1016/j.autcon.2018.01.001
- [12] H. Cho, K. H. Lee, S. H. Lee, T. Lee, H. J. Cho, S. H. Kim, and S. H. Nam, "Introduction of construction management integrated system using BIM in the Honam high-speed railway LOT no. 4-2", in *Proceedings of the 28th International Symposium on Automation and Robotics in Construction – ISARC (2011)*, Seoul, Korea, 2011, pp. 1300-1305. doi: 10.22260/isarc2011/0239

- [13] M. Mirshokraei, C. I. De Gaetani, and F. Migliaccio, "A web-based BIM-AR quality management system for structural elements", *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9 (19), pp. 1-14, September 2019. doi: 10.3390/app9193984
- [14] Y.-J. Chen, Y.-S. Lai, and Y.-H. Lin, "BIM-based augmented reality inspection and maintenance of fire safety equipment", *Automation in Construction*, vol. 110, pp. 1-18, February 2020. doi: 10.1016/j.autcon.2019.103041
- [15] F. Baek, I. Ha, and H. Kim, "Augmented reality system for facility management using image-based indoor localization", *Automation in Construction*, vol. 99, pp. 18-26, March 2019. doi: 10.1016/j.autcon.2018.11.034
- [16] M. A. Athick and S.-Y. Lee, "3D virtual reality model for multi-stories building and utilities with different vertical ownership ID's," in *41st Asian Conference on Remote Sensing – ACRS (2020)*, Deqing, Zhejiang Province, China, 2020.
- [17] J. Xu and W. Lu, "Smart construction from head to toe: A closed-loop lifecycle management system based on IoT", in *Construction Research Congress: Construction Information Technology (2018)*, New Orleans, Louisiana, EUA, 2018, pp. 157-168. doi: 10.1061/9780784481264.016
- [18] H. C. Pham, N.-N. Dao, J.-U. Kim, S. Cho, and C.-S. Park, "Energy-efficient learning system using Web-based panoramic virtual photoreality for interactive construction safety education", *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10 (7), pp. 1-17, July 2018. doi: 10.3390/su10072262
- [19] D. Zhao, W. Thabet, A. P. McCoy, and B. M. Kleiner, "Managing electrocution hazards in the US construction industry using VR simulation and cloud technology", in *Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling – ECPPM (2012)*, Reykjavik, Iceland, 2012, pp. 759-764. doi: 10.1201/b12516-120
- [20] J. Wen, M. Gheisari, S. Jain, Y. Zhang, and R. E. Minchin, "Using Cloud-Based Augmented Reality to 3D-Enable the 2D Drawings of AISC Steel Sculpture: A Plan-Reading Educational Experiment", *Journal of Civil Engineering Education*, vol. 147, pp. 1-11, July 2021. doi: 10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000046

Vantagens e limitações do uso da realidade virtual em cenário remoto – Uma análise comparativa

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.44>

**Thalita Costa¹, Emilha Lira²,
Josyanne Giesta³, Alfredo Costa Neto⁴**

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 0000-0003-2258-3932

² Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 0000-0001-5061-0681

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 0000-0002-0596-3821

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Natal, 0000-0002-3967-6855

Resumo

BIM é uma metodologia que envolve a integração dos profissionais e informações projetuais. A Realidade Virtual (RV) facilita essa integração, pois representa uma experiência imersiva entre usuário e imagens 3D produzidas computacionalmente. O Reinvente seu Bairro é uma ação extensionista da UFERSA que, em 2019, desenvolveu um projeto de intervenção junto à comunidade do bairro Frei Damião, Pau dos Ferros/RN. Para garantir que os moradores compreendessem o projeto, fincou-se parceria com o Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos/IFRN, que atuou na apresentação em RV à comunidade, com uso de óculos imersivos. Em 2021, a segunda edição, voltada ao bairro Princesinha do Oeste, realizou a apresentação final remotamente, devido ao contexto de isolamento da pandemia da Covid-19. Necessitou-se, portanto, uso de RV de imersão parcial, pela disponibilização dos produtos em endereços virtuais para a comunidade e estudantes de Arquitetura e Urbanismo. Assim, este trabalho busca identificar benefícios e limitações da utilização remota da RV na compreensão projetual em cenários adversos, como o pandêmico, de difícil acesso territorial ou para aproximação projeto/cliente. Para tanto, realizou-se uma análise comparativa entre as apresentações presencial e remota, nas etapas: aquisição do projeto desenvolvido pelos alunos da UFERSA; renderização de produtos de RV; apresentação aos moradores e alunos; aplicação de questionário qualitativo; e análise dos resultados. Obteve-se que, em ambos casos, a RV facilitou a compreensão dos projetos e o nível de satisfação equiparou-se. Logo, a RV é vantajosa, não só com uso de óculos específicos presencialmente, mas também com estratégias remotas, em distanciamento espacial e/ou temporal.

1. Introdução

A complexidade das obras contemporâneas, a necessidade de reduzir retrabalhos e custos de produção, assim como a busca por maior rapidez de execução e praticidade [1] tem impellido a área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) no desenvolvimento e assimilação de inovações científicas, tecnológicas e processuais em suas atividades. Esses avanços auxiliam na dinamização das diferentes etapas do empreendimento, com notoriedade para os aspectos de representação, visualização e gestão do objeto concebido.

Nesse contexto, tem-se o Building Information Modeling (BIM), que consiste em uma metodologia de trabalho que envolve tecnologias, processos e políticas para promoção de uma construção virtual do empreendimento, a partir de ações colaborativas e integradas entre os diversos profissionais competentes. O BIM dispõe de plataformas e sistemas operacionais que geram informações atualizadas e confiáveis para a operação e manutenção da edificação, viabilizando também maior praticidade interpretativa dos modelos.

Ademais, o BIM, com sua modelagem tridimensional e paramétrica, atua na melhoria da visualização do todo e das partes de um projeto, de forma a minguar dúvidas e falhas de interpretação. Em consonância a isso, apresenta-se a Realidade Virtual (RV): “uma ‘interface avançada do usuário’ para acessar aplicações executadas no computador, propiciando a visualização, movimentação e interação do usuário, em tempo real, em ambientes tridimensionais” [2]. Assim, a RV insere-se como um facilitador de tal integração, dado que representa uma experiência de imersão e interação entre o usuário e as imagens gráficas 3D produzidas por uma máquina.

Direcionando os conceitos e aplicações citadas para o desenho urbano, este e a RV podem envolver o uso de modelos virtuais para simular a evolução dos diversos fatores influentes no traçado urbanístico, comunicar as soluções arquitetônicas aos diferentes agentes e órgãos relacionados, analisar o impacto dos projetos nas áreas existentes e avaliar a influência da intervenção na configuração estrutural e sócio-econômica de uma determinada região [3].

Nessa perspectiva, o Reinvente seu Bairro – ação de extensão da UFERSA que, em 2019, buscou realizar um diagnóstico urbanístico do bairro Frei Damião, em Pau dos Ferros-RN, e desenvolveu um projeto de intervenção urbanística de forma conjunta com a população residente – estabeleceu parceria com o IFRN, através do Grupo de Estudos e Pesquisa em Integração de Projetos (GIP). Essa colaboração teve por finalidade garantir uma compreensão adequada do projeto por parte dos moradores, o qual seria apresentado mediante renderizações e RV.

Em 2021, o Reinvente seu Bairro teve sua segunda edição, voltada para o bairro Princesinha do Oeste, com desenvolvimento de duas propostas de intervenção urbanística. No entanto, nesse ano, o Brasil se encontrava em contexto de isolamento social,

devido à pandemia da Covid-19, e, portanto, a apresentação final da proposta para a comunidade foi realizada remotamente.

Isso posto, considerando-se as adaptações efetuadas para o encontro expositivo, em decorrência da conjuntura e suas demandas restritivas, este trabalho tem por objetivo identificar os benefícios e as limitações da RV de forma remota para a exibição, leitura e compreensão de projetos em cenários adversos, como o pandêmico, os de difícil acesso territorial ou para uma aproximação entre o projeto e os clientes e interessados no empreendimento ou proposta urbanística.

2. Metodologia

Quanto ao trabalho desenvolvido pelos discentes pesquisadores do GIP, para cada uma das duas edições do Reinvente seu Bairro foram realizadas cinco etapas. A saber, a primeira delas consistiu na aquisição dos projetos desenvolvidos em SketchUp pelos alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFERSA, em conjunto com as respectivas comunidades. Na edição de 2019, foi utilizado o projeto da praça para a comunidade do bairro Frei Damião, Pau dos Ferros/RN (Figura 1), e na edição de 2021, foram utilizados os projetos do entorno da Capela Menino Jesus de Praga (Figura 2) e da nova praça (Figura 3), ambos para a comunidade da Princesinha do Oeste, no mesmo município.

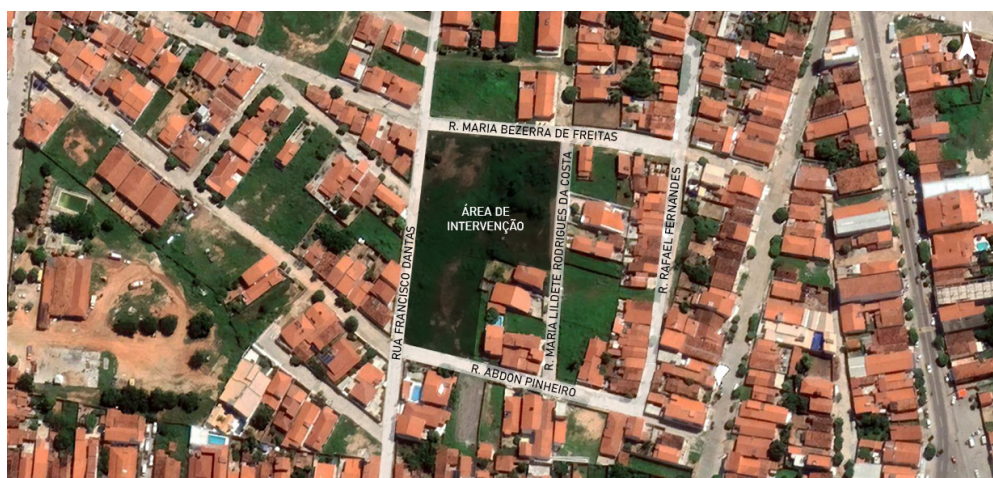


Figura 1
Área de intervenção
do projeto da praça
do bairro Frei Damião
(2019).



Figura 2
Área de intervenção do projeto da igreja no bairro Princesinha do Oeste (2021).

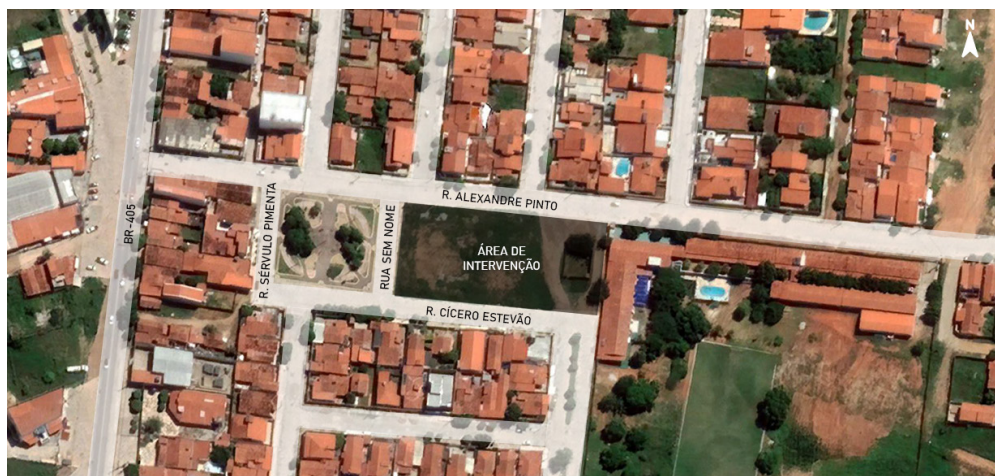


Figura 3
Área de intervenção do projeto da praça no bairro Princesinha do Oeste (2021).

Na segunda etapa, os discentes do GIP desenvolveram a renderização desses projetos em produtos de Realidade Virtual, enquanto a terceira etapa consistiu na apresentação desses produtos aos moradores e aos alunos. Para a edição de 2019, que ocorreu de modo presencial, foram desenvolvidas imagens renderizadas em 360°, as quais foram apresentadas com o uso de óculos imersivos para a comunidade, bem como um vídeo renderizado do espaço projetado virtualmente, o qual foi apresentado à comunidade em telão no encontro com os moradores. A Figura 4 expõe uma das imagens renderizadas apresentadas para a comunidade.



Figura 4
Imagem renderizada
360° da edição de 2019.

Em 2021, no entanto, pela impossibilidade de encontrar presencialmente a comunidade do bairro da Princesinha, a apresentação da proposta final ocorreu de forma remota, através de reunião virtual com auxílio da ferramenta do Google Meet. Assim, com a inviabilidade do uso dos óculos de RV por parte dos moradores, optou-se pela disponibilização de imagens renderizadas em 360° para a comunidade através de links, os quais puderam ser acessados por um equipamento eletrônico como celular e possibilitaram a visualização imersiva do projeto proposto para a localidade. Somado a tais imagens, também foi apresentado vídeo renderizado do espaço virtual durante o encontro remoto. As Figuras 5 e 6 são algumas das imagens renderizadas 360° apresentadas para os moradores, sendo respectivamente da praça e da igreja.

Após a exibição, foram aplicados questionários qualitativos, tanto para os moradores, quanto para os discentes do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFERSA, o que consistiu na quarta etapa do trabalho. Por fim, a quinta etapa se deu pela análise dos resultados obtidos na ação.



Figura 5
Imagem renderizada
360° da praça da edição
de 2021.



Figura 6
Imagem renderizada
360° da igreja da edição
de 2021.

Diante desses materiais coletados, foi possível desenvolver uma análise comparativa e qualitativa entre as duas edições do Reinvente seu Bairro, de modo a melhor compreender as potencialidades e as limitações do uso da RV adaptada em uma realidade parcialmente imersiva, capaz de ser aplicada em contextos remotos, onde não é possível ou há dificuldade de uma comunicação simultânea e no mesmo local.

Cabe salientar que nas duas edições do projeto foram realizadas apresentações para os discentes da UFERSA sobre as tecnologias do BIM e da RV, promovendo um debate a partir da exposição de informações geométricas e não geométricas. Contudo, na aplicação para a comunidade, não foram utilizadas informações não geométricas, apenas imagens, em virtude do grau de instrução dos participantes bem como considerando o objetivo da ação extensionista.

3. Resultados

A partir das respostas obtidas nos questionários, foram elaborados gráficos a fim de compreender individual e comparativamente as percepções da comunidade de cada bairro e dos alunos do curso de Arquitetura e Urbanismo quanto à utilização da RV na apresentação de propostas projetuais da área.

Quanto às populações das amostras, na edição de 2019, foram entrevistados 12 moradores, sendo que 5 eram mulheres e 7 eram homens; 3 tinham idade até 20 anos, 1 entre 21 e 30 anos, 1 entre 31 e 40 anos, 3 entre 41 e 50 anos e 4 maior de 60 anos; 2 possuíam graduação, 3 possuíam ensino médio completo e 7, ensino fundamental incompleto; e nenhum havia tido experiência com a RV ou o BIM. Ainda na primeira edição, foram entrevistados 15 alunos, sendo que 10 eram mulheres e 5 eram homens; todos tinham idade entre 18 e 25 anos; 14 cursavam Arquitetura e Urbanismo

e 1 cursava Engenharia Civil; 4 já haviam tido experiência com a RV e 11, não; e 12 já haviam tido experiência com o BIM e 3, não.

Na edição de 2021, foram entrevistados 8 moradores, sendo que 6 eram mulheres e 2 eram homens; 1 tinha idade entre 21 e 30 anos, 4 entre 41 e 50 anos e 3 entre 51 e 60 anos; 6 eram graduados e 2 possuíam ensino médio completo; e nenhum havia tido experiência com a RV ou o BIM. Nessa segunda edição da ação extensiva, foram entrevistados 8 alunos, sendo que 4 eram mulheres e 4 eram homens; todos tinham idade entre 18 e 25 anos; todos cursavam Arquitetura e Urbanismo; 3 já haviam tido experiência com a RV e 5, não; e todos já haviam tido experiência com o BIM.

No que se refere à percepção de espaço físico, os moradores caracterizaram tais aspectos majoritariamente como bons ou excelentes, tanto em 2019 quanto em 2021, detendo os produtos mais imersivos (expostos em óculos de RV) melhores classificações em detrimento das imagens panorâmicas apresentadas de forma remota (Figura 7). No entanto, ainda que a avaliação feita na edição de 2021 tenha se apresentado inferior se comparada à edição de 2019, seus resultados foram bastante positivos, com 62,5% das respostas como Excelente e os outros 37,5% como Boa.

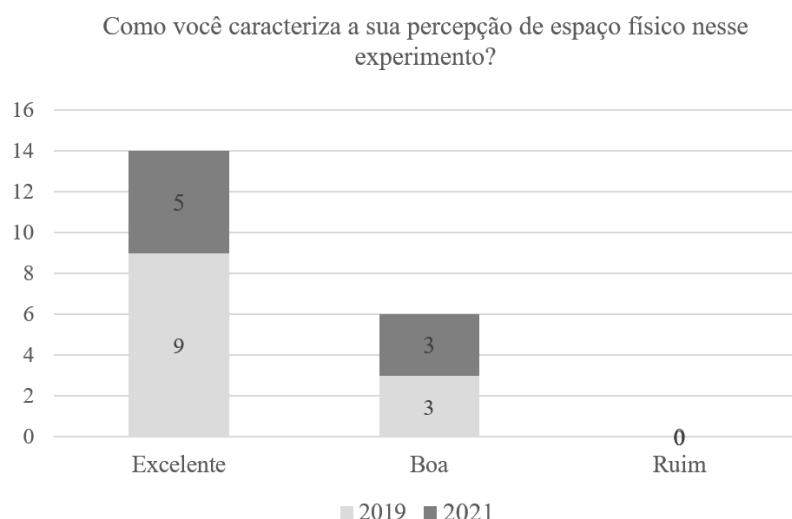


Figura 7

Caracterização da percepção de espaço físico em ambas edições.

Quanto ao modo como os moradores qualificam essa forma de visualização para o auxílio na apresentação de uma construção ainda inexistente, ambas edições também apresentaram resultados muito favoráveis, sendo que a edição de 2021 superou a anterior, com 87,5% de respostas como Excelente, frente a 75% alcançado em 2019 (Figura 8).

Somado a isso, descrições dos moradores de suas percepções qualitativas corroboram com tais resultados e embasam as confirmações das vantagens do emprego da RV para compreensão das intervenções e entendimento de seus elementos de infraestrutura. Algumas das considerações são expostas no Quadro 1.

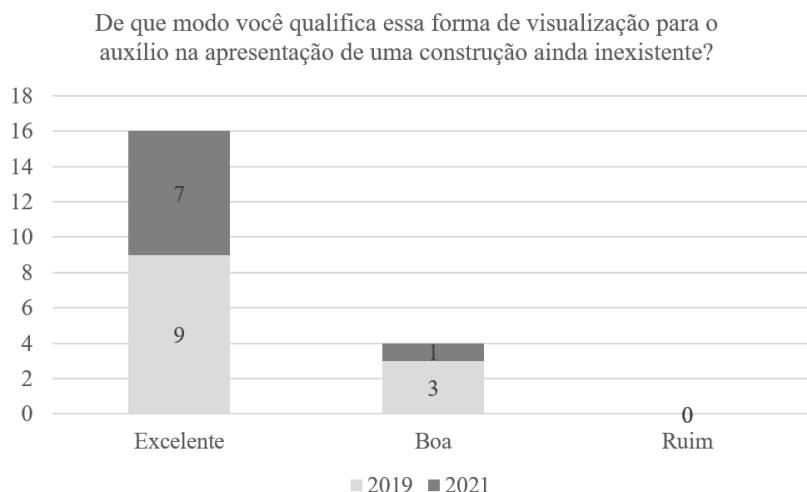


Figura 8
Qualificação da visualização para auxílio na apresentação em ambas edições.

Como você caracteriza a sua percepção de espaço físico através das imagens panorâmicas?	De que modo você qualifica essa forma de visualização para o auxílio na apresentação de uma construção ainda inexistente?
Fiquei impressionado com a riqueza dos detalhes.	Dá para ter uma ideia muito próximo da realidade do que está projetado.
Inovador.	Dá noção de fato de como o projeto ficará.
Temos a sensação de que o Projeto já foi construído, pois nos aproxima de forma muito dinâmica.	Temos uma visão real do projeto.
	Dá uma visão panorâmica do que virá a ser.

Quadro 1
Descrições dos moradores de suas percepções qualitativas.

Todos moradores concordaram, tanto na edição de 2019 quanto na de 2021, com as afirmativas de que “a visualização em RV tornou mais clara a compreensão de como os espaços ficarão após a conclusão da construção”, “a visualização em RV permitiu uma melhor percepção dos elementos de infraestrutura (quadra de esportes, espaço de lazer infantil, horta coletiva, centro pastoral, largo da Capela, etc.) que serão construídos na praça e para a Capela e sua área de convivência”, “a RV auxiliou na assimilação do tamanho dos equipamentos, objetos e/ou artefatos que serão instalados na praça e na Capela (se serão grandes ou pequenos)” e “a RV ajudou a ver melhor como os objetos, equipamentos, máquinas e outros elementos componentes estarão dispostos nos ambientes”.

Isso reforça o caráter vantajoso do uso da RV para a melhor compreensão dos espaços propostos por parte do cliente, morador, ou grupo que usufruirá dos objetos arquitetônicos e/ou urbanísticos projetados, fornecendo a eles a capacidade de atuar ativamente no projeto, nas escolhas e nas mudanças dos elementos, das áreas. Nesse mesmo sentido, os Quadros 2 e 3 expõem algumas considerações pessoais dos moradores quanto às questões mencionadas.

Quadro 2

Considerações pessoais dos moradores quanto à visualização em RV.

A visualização em RV tornou mais clara a compreensão de como os espaços ficarão após a conclusão da construção?	A visualização em RV permitiu uma melhor percepção dos elementos de infraestrutura que serão construídos na praça?
A sensação que tive é que estava realmente dentro do espaço idealizado.	Essa RV dá a oportunidade de já visualizar o que ficará funcional ou não no projeto.
Inclusive da noção de espaço com as escalas de móveis e pessoas dentro do espaço.	Define com precisão os detalhes de como ficará o projeto.
A tecnologia foi utilizada com conhecimento e manejo com muita qualidade.	Permite a visão articulada entre a disposição, com nitidez, de cada ambiente.
	Uma ideia muito próxima da realidade.

Quadro 3

Considerações dos moradores quanto ao auxílio da RV na assimilação do projeto.

A RV auxiliou na assimilação do tamanho dos equipamentos, objetos e/ou artefatos que serão instalados na praça?	A RV ajudou a ver melhor como os objetos, equipamentos, máquinas e outros elementos componentes estarão dispostos nos ambientes?
A ideia de colocar objetos e pessoas auxilia muito na percepção do espaço.	A RV viabiliza o olhar com maior clareza acerca do ambiente, no seu todo.
Nos projeta com o que será a realidade.	Definição perfeita.
São compatíveis com a área disponível para a edificação do projeto.	

No que concerne à qualidade da visualização, em seus aspectos de cores, materiais e texturas, por exemplo, em ambas as estratégias de exibição e aplicação da Realidade Virtual, os resultados foram favoráveis. Não obstante, houve uma expressiva aprovação e melhor qualificação, quando comparados os eventos, os materiais apresentados em 2021, conforme ilustrado na Figura 9. Isso pode ser decorrente de que, na edição de 2021, os próprios moradores acessaram as imagens panorâmicas através de seus aparelhos eletrônicos em suas residências e, portanto, puderam visualizar tais imagens pelo tempo que acharam adequado e de forma mais confortável. Sendo assim, as sensações de autonomia e de ser agente ativo no processo podem ter favorecido o contato e a troca de informações entre o profissional projetista e a comunidade ou futuro usuário.

Os moradores também asseguraram, em sua maioria, a capacidade e qualidade de imersão das metodologias empregadas nos dois anos de encontro. Os dados obtidos (Figura 10) auxiliam na validação das tecnologias escolhidas para a promoção da sensação de imersão no modelo, conquanto as renderizações 360° disponibilizadas sob a forma de endereços eletrônicos não possibilitem isso efetivamente – 12,5% dos residentes entrevistados caracterizam a capacidade de imersão da ferramenta como Ruim.

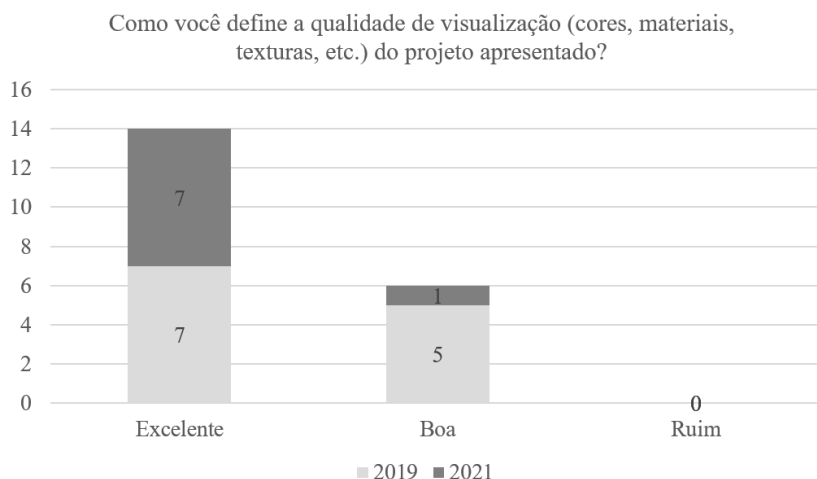


Figura 9
Definição da qualidade de visualização do projeto apresentado em ambas edições.

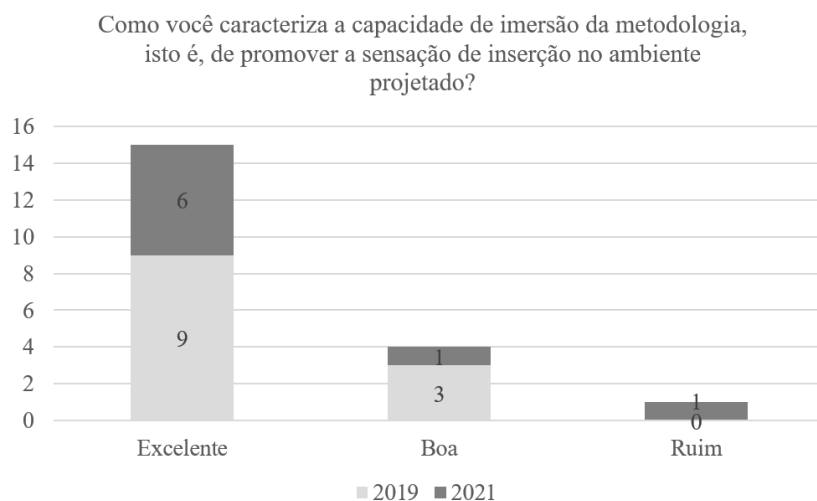


Figura 10
Caracterização da capacidade de imersão da metodologia em ambas edições.

No referente ao questionário respondido pelos discentes do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFERSA, em ambas edições todas as respostas concordaram com as afirmativas “após a apresentação, você considera que o BIM é uma metodologia vantajosa para a área da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC)”, “tendo em vista as inovações e exigências no mercado de trabalho, você é favorável à adoção de disciplinas e ferramentas BIM nas academias” e “você acredita que a RV facilitará a visualização e a compreensão do projeto por parte da comunidade, levando em consideração que os indivíduos não detêm conhecimentos técnicos da área”.

Sendo assim, é válida a constatação de que a RV de fato é uma facilitadora da visualização e a compreensão do empreendimento tanto pelos profissionais quanto por parte da comunidade, levando em consideração que os indivíduos não detêm conhecimentos da área. Essa assertiva está fundamentada tanto na unanimidade de confirmações dos alunos ao serem questionados acerca disso quanto pelos comentários sobre o quão apreensível se torna a linguagem do desenho quando atrelado aos

modelos tridimensionais e à RV, contribuindo significativamente para a aceleração do entendimento e familiaridade com o projeto (Quadro 4).

Quadro 4

Considerações dos alunos quanto ao BIM e a RV.

Tendo em vista as inovações e exigências no mercado de trabalho, você é favorável à adoção de disciplinas e ferramentas BIM nas academias?	Você acredita que a RV facilita a visualização e a compreensão do projeto por parte da comunidade, levando em consideração que os indivíduos não detêm conhecimentos técnicos da área?
Sou favorável, com certeza! Vislumbrando os caminhos de desenvolvimento tecnológico e aprimoramento das técnicas construtivas, é imprescindível a adoção de ferramentas na academia.	A linguagem do desenho técnico não é tão facilmente apreensível para os indivíduos inseridos na área, a RV contribui imensamente para a aceleração do entendimento e a familiaridade da pessoa ao projeto.

Quando perguntados se consideram que a RV poderia ter sido utilizada como ferramenta facilitadora do processo ensino-aprendizagem de alguma disciplina da grade curricular do curso, a expressiva maioria dos discentes afirmou que sim, sendo de menos que 7% as respostas negativas em 2019 (Figura 11). Já na edição de 2021, todos concordaram com a afirmação.

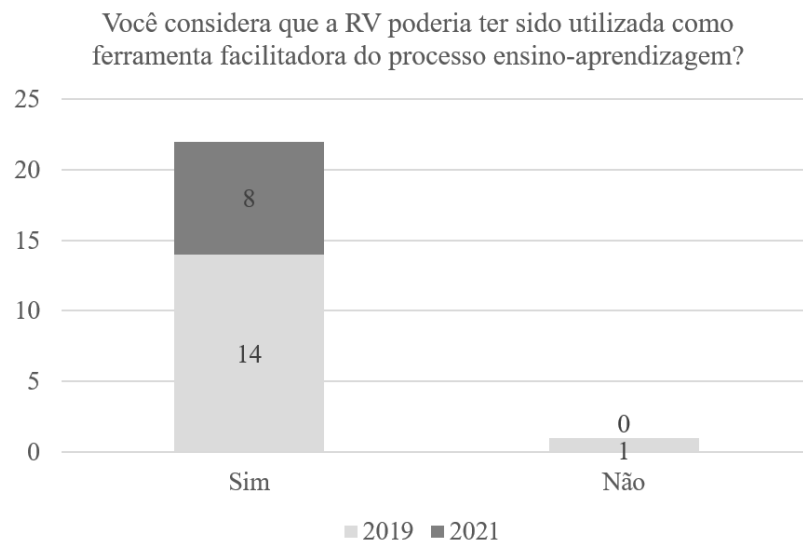


Figura 11

A RV como facilitadora do processo ensino-aprendizagem em ambas edições.

Ademais, quanto às disciplinas nas quais poderia ser utilizada a ferramenta da RV para o processo ensino-aprendizagem, as respostas foram bastante variadas, a saber: Topografia, Instalações, Estruturas, Desenho Auxiliado por Computador, Projeto Arquitetônico, Planejamento Urbano e da Paisagem, Planejamento Urbano e Regional, História da Arquitetura, Psicologia Ambiental e disciplinas complementares. Isso demonstra que a RV tem potencial bastante amplo e as vantagens de sua utilização não se limitam a uma pequena área, mas podem ser usufruídas em diversos contextos.

No que concerne à definição pelos alunos da percepção de espaço físico nesse experimento, eles majoritariamente caracterizaram como Excelente, e alguns como Boa

(Figura 12). Além disso, os universitários também caracterizam como Boa ou Excelente a capacidade imersiva dos métodos usados (Figura 13), com ressalvas moderadas referentes à parcialidade de imersão das renderizações 360° apresentadas e fornecidas. Infere-se que isso se dá devido a não efetivação completa dos estímulos sensoriais principais para a RV.

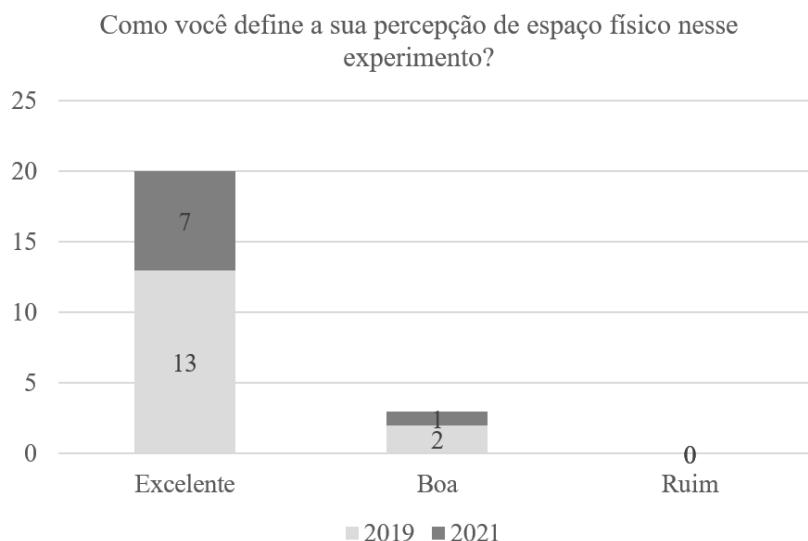


Figura 12
Definição da percepção de espaço físico pelos alunos em ambas edições.

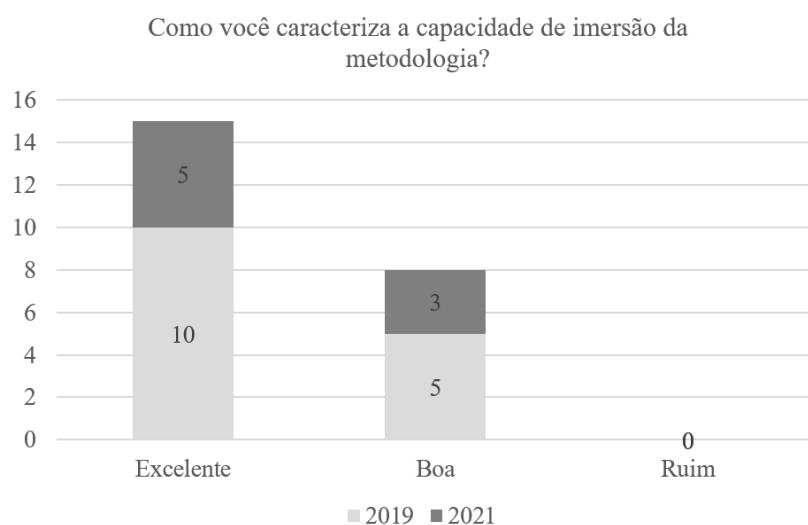


Figura 13
Caracterização da capacidade de imersão da RV pelos alunos em ambas edições.

4. Conclusão

A leitura e análise dos resultados obtidos, em ambos os eventos e grupos, sustenta a afirmativa de que a Realidade Virtual é uma ferramenta de grande auxílio e relevância para a percepção, avaliação e apreciação de projetos arquitetônicos e urbanísticos, em seus elementos internos e externos, ainda em fase anterior à construção. Assim, a RV, com sua interação, materiais e mídias associadas, possibilita aos

agentes relacionados a representação, simulação e estudo prévio de um empreendimento, acarretando em melhorias estéticas e funcionais desse, mesmo em estágio de concepção.

Confirmou-se, ainda, a imprescindibilidade da tecnologia e seus aparatos na compreensão do concebido verbal e graficamente. Isso pois, uma vez que a apresentação tem seus limites manuais, instrumentais, técnicos e de imaginação diminuídos, ideias e concepções arquitetônicas e urbanísticas são comunicadas com maior clareza e assertividade tanto para os profissionais competentes quanto para os civis interessados.

Para além disso, conclui-se que a alternativa metodológica adotada para a apresentação, com auxílio de RV, dos modelos elaborados foi de grande relevância para o entendimento dos projetos, sobretudo para os residentes envolvidos na proposta intervenção no espaço urbano, não desconsideradas suas limitações de estímulos sensoriais. Logo, mesmo em situações adversas de distanciamento espacial e/ou temporal, o emprego da Realidade Virtual mantém vantagem quando comparado aos métodos tradicionais de representação e exibição.

Ademais, percebeu-se que, de forma geral, as vantagens do uso da RV não são perdidas quando não é possível a utilização dos óculos imersivos, apesar das limitações quanto ao grau de imersão, e que tal ferramenta também pode ser bem usufruída com o auxílio de aparelhos eletrônicos simples e de considerável acesso pela população. Assim, a RV é excelente ferramenta capaz de aproximar projeto, projetistas e usuários inclusive em situações onde não é viável um contato simultâneo e/ou no mesmo espaço desses agentes, bem como apresenta grande potencial para a inserção da comunidade no processo projetual urbano ou do cliente no projeto arquitetônico, garantindo-lhes maiores autonomia e poder de decisão.

Tal trabalho é, portanto, bastante relevante no sentido de aprofundar os conhecimentos sobre as vantagens da utilização da RV, porém apresenta como limitações a quantidade limitada de respostas para os questionários e os casos específicos estudados, com um recorte espacial considerável. Nesse aspecto, é válida que tal pesquisa de análise comparativa seja replicada em outras localidades ou que ações semelhantes sejam desenvolvidas em outros projetos de proposta urbana para comunidades, a fim de melhor sustentar os resultados encontrados.

Referências

- [1] J. C. Lino, M. Azenha and P. Lourenço, “Integração da Metodologia BIM na Engenharia de Estruturas”, in *BE2012 – Encontro Nacional Betão Estrutural (2012)*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil, Porto, Portugal, 2012, pp. 1-10.
- [2] C. Kirner and R. Siscoutto, *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Petrópolis, R.J.: Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2007.
- [3] K. McMillan, *Virtual reality: Architecture and the broader community*, 1994.

Análise do BIM e a realidade aumentada aplicada no projeto hidrossanitário residencial unifamiliar

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.77.45>

**Pedro Osterno¹, José Oliveira²,
Geórgia Jereissati³, José Cavalcante⁴, Francisco Oliveira⁵**

¹ Centro Universitário Christus, Fortaleza

² CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Portugal, ORCID: 0000-0002-2417-9653

³ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Portugal, ORCID: 0000-0003-2683-2748

⁴ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Portugal, ORCID: 0000-0003-2205-9241

⁵ CIAUD, Centro de Investigação em Arquitetura, Urbanismo e Design, Faculdade de Arquitetura, Universidade de Lisboa, Portugal, ORCID: 0000-0003-0089-3112

Agradecimentos

Este trabalho é financiado por fundos nacionais através da FCT - Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do Projeto Estratégico com a referência UIDB/04008/2020.

Resumo

A construção civil está em constante transformação e estão relacionadas ao desenvolvimento de projetos e modernização tecnológica, a visar solucionar problemas como desperdícios, retrabalhos, atraso no cronograma e dos custos, que em parte está relacionado às incompatibilidades de projeto e, conseqüentemente, na execução da obra. Com isso, surge à necessidade de aplicar a metodologia BIM com a Realidade Aumentada *in loco* para compatibilização dos projetos em escala de projeto e em escala real, no desenvolvimento dos projetos da edificação, com a finalidade de evitar incompatibilidades, desde a fase da concepção até sua execução. Também minimiza a ausência da comunicação entre arquitetos, engenheiros e executores. Realizou-se estudo do projeto de arquitetura e complementares de engenharia de uma residencial unifamiliar, na compatibilização em escala de projeto e escala real com aplicação da Realidade Aumentada, inserida na metodologia BIM. Para realização da pesquisa foi feita a compatibilização dos projetos de arquitetura, estrutural e hidrossanitário elaborados em REVIT. O resultado encontrado foi de onze incompatibilidades em escala de projeto e quatorze em escala real com utilização da realidade aumentada. Após identificado as incompatibilidades, obteve-se o valor de 25% a mais em escala real com aplicação da realidade aumentada em relação a escala de projeto.

1. Introdução

A arquitetura e a construção civil estão em constante mudança e se relacionam com o desenvolvimento dos projetos e modernizações tecnológicas. Tais transformações têm como objetivo solucionar problemas como o desperdício de materiais, retrabalho, riscos na execução da obra, controle do cronograma e dos custos.

Desta forma, o *Building Information Modelling* (BIM) surgiu com o propósito de gerar recursos que facilitam a resolução desses problemas [1]. Assim, a metodologia BIM tem o intuito de utilizar ferramentas, tecnologias e processos na produção, comunicação e análise dos modelos de construção. Diferentemente de um simples modelador 3D, o BIM tem como objetivo integrar Arquitetos, Engenheiros e Construtores (AEC) na elaboração de projetos que convirjam seus esforços para a construção de um modelo de edifício federado [2].

Com a evolução das tecnologias de informática, os aplicativos de computação podem estar em vários locais ao mesmo tempo, isso acontece em telefones celulares, tablets e em outros dispositivos. Como consequência, os ambientes colaborativos estão tendo um grande desenvolvimento, demandando ambientes mais realistas através do uso da Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA) [3].

Conforme o processo de inovação, a Realidade Aumentada (RA) pode ser utilizada para melhor entendimento e compreensão sobre o meio, principalmente no que diz respeito ao ambiente construído [4]. A RA permite que o usuário se mantenha em seu ambiente físico e o ambiente virtual seja inserido dentro do espaço do usuário a possibilitar a visualização do projeto virtual.

Além disso, de acordo com [5], a elaboração de projetos virtuais facilita a observação de possíveis incongruências nos projetos existentes, bem como o cálculo das quantidades de materiais necessários à construção do edifício.

Dessa forma, com a metodologia BIM e a utilização da RA *in loco*, visam evitar diversos custos e erros desde a fase de concepção do projeto até a fase de execução, prevendo o que poderiam ocorrer em um empreendimento com incompatibilidades, além de mitigar a ausência da comunicação entre os integrantes AEC em função do amplo acesso a compatibilização dos projetos, proporcionada em escala de projeto para a escala real na execução do empreendimento.

Deste modo, o presente artigo busca, como principal objetivo, a análise da compatibilização no projeto de instalações hidrossanitárias residencial unifamiliar em escala de projeto e aplicação da RA inserida na metodologia BIM.

2. Referencial teórico

2.1. BIM

Define-se BIM [6] como, “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para produzir, comunicar e analisar modelos de construção”.

Entende-se que o BIM é uma técnica de modelagem e um conjunto de processos relacionados para gerar, comunicar e analisar modelos arquitetônicos (edifícios e outras obras de engenharia civil, incluindo elementos estruturais, não estruturais e geotécnicos). A qual possibilita a transmissão de informações de engenharia ser realizada sem desenhos detalhados [6].

A colaboração e partilha entre os diversos intervenientes no processo, torna essencial a agilização da troca de dados entre sistemas diferentes e a correta transmissão de informação. No caso do formato de dados para transferência de informação de objetos 3D, a normalização do modelo do produto, usada para representar informação de edifícios, é feita através do formato aberto designado por *Industry Foundation Classes* (IFC) desenvolvido pela organização *BuildingSMART*, que tende a ser uma norma de aceitação universal para a troca de dados de modelos de edifícios e que inclui a geometria, a estrutura do objeto e atributos de material e de desempenho.

Com a interoperabilidade todo o processo de elaboração de projeto em BIM ocorre de maneira integrada entre os profissionais envolvidos. São geradas inúmeras informações ao mesmo tempo e em diferentes projetos. Embora todas as informações do projeto estejam contidas em um modelo com banco de dados único, a integração entre os profissionais ainda se faz quase que obrigatória [7].

2.2. Realidade Aumentada

Durante o processo se pode aplicar a RA como uma das tecnologias que pode ser utilizada para expandir o potencial da metodologia BIM e realizar outras formas de visualização e interação com edifícios, como visualização de elementos construtivos, sinalização de ambientes e inserção de informações nos campos da arquitectura, engenharia e construção [8].

O aplicativo em RA AUGIN [9] tem início em 2018 com o lançamento do catálogo virtual no intuito de otimizar a comunicação entre as pessoas e projetos. Idealizado no Brasil, este aplicativo possui a tecnologia RA para construção com fluxos automáticos, por meio de *plug-in* para o *upload* de arquivo em 3D, que permite ao usuário fazer usos de todas as suas funcionalidades disponíveis no site <https://ugin.app>.

3. Métodos

A pesquisa realizada foi a quanti-qualitativa, esse estudo é utilizado quando se deseja constar as pesquisas qualitativas e quantitativas juntas. Segundo [10], ajudam a conjecturar sobre o caminho a cursar na pesquisa científica, pois ajudam a compreender, revelar, qualificar e quantificar de forma verificável, permitindo que a importância dos fenômenos e fatos a serem estudados possam ser mensurados.

O diagrama apresentado abaixo resume a estrutura geral da pesquisa, onde demonstra as etapas adotadas para esta pesquisa.

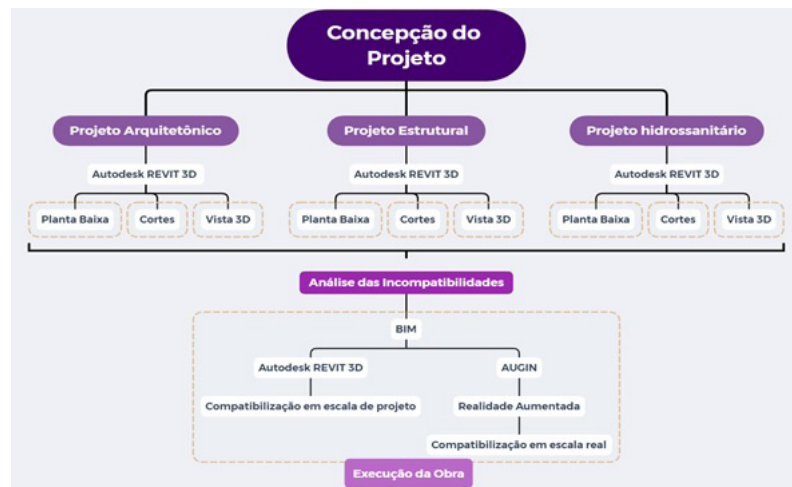


Figura 1
Etapas da pesquisa.

Este estudo de caso foi feito com o projeto de uma edificação residencial unifamiliar composta por pavimento térreo e superior, onde no térreo são dispostas as áreas como sala de estar e jantar; *deck*; banheiro *deck*, cozinha; garagem; suíte hospede, banheiro hospedes; dependência e banheiro de serviço; área de serviço, depósito e piscina. No pavimento superior contém a suíte *master* com *closet* e banheiro, suíte 01 com banheiro, suíte 02, com *closet* e banheiro, estar íntimo e escritório, totalizando uma área construída de 350 m², conforme mostra a Figura 2.

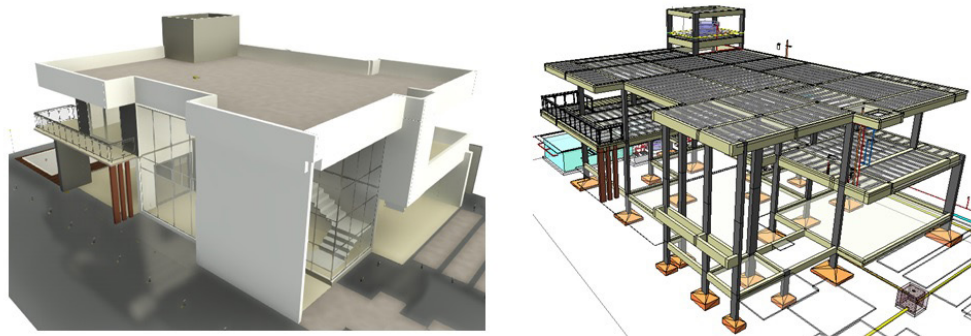


Figura 2
Modelagem da Residência Unifamiliar.

Na análise de compatibilização em escala de projeto foram realizados relatórios de interferências entre os projetos Arquitetónico x Estrutural, Hidrossanitário x Arquitetónico, Hidrossanitário x Estrutural, Hidráulico x Sanitário. Além disso, ressalta-se que foram encontradas incompatibilidades com o auxílio do programa REVIT, que fez a checagem das interferências automaticamente, através do comando de Verificação de Interferência (Figura 3)

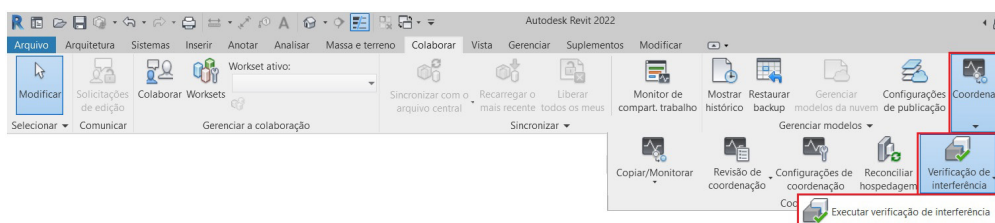


Figura 3
Comando de verificação de Interferência – REVIT.

Para a análise de incompatibilidade em escala real entre os projetos hidráulico, sanitário de águas pluviais com o Estrutural, foi utilizado o *plugin* AUGIN para o REVIT, que proporciona uma análise em RA com escala 1:1, por meio do telemóvel Samsung Galaxy S8+ com sistema androide, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4
Plataforma AUGIN.

4. Estudo de caso

4.1. Escala de projeto

A Figura 5 demonstra o resultado do relatório de interferência realizado em escala de projeto, onde foram analisadas as checagens das interferências entre as tubulações e conexões no projeto hidráulico, sanitário, águas pluviais, com os pilares e vigas no projeto estrutural, sendo identificadas pelas letras A, B e C.

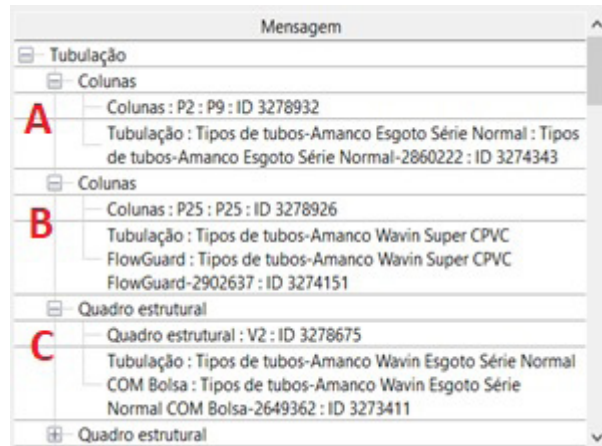


Figura 5
Relatório do REVIT.

A Figura 6 mostra a localização das incompatibilidades identificadas pelas letras A e B por meio do comando de verificação no REVIT no Pavimento Superior da Residência Unifamiliar.



Figura 6
Identificação das incompatibilidades – Hidrossanitário x Estrutura.

A Figura 7 apresenta a localização das incompatibilidades identificadas pela letra C por meio do comando de verificação no REVIT no Pavimento Térreo da Residência Unifamiliar.

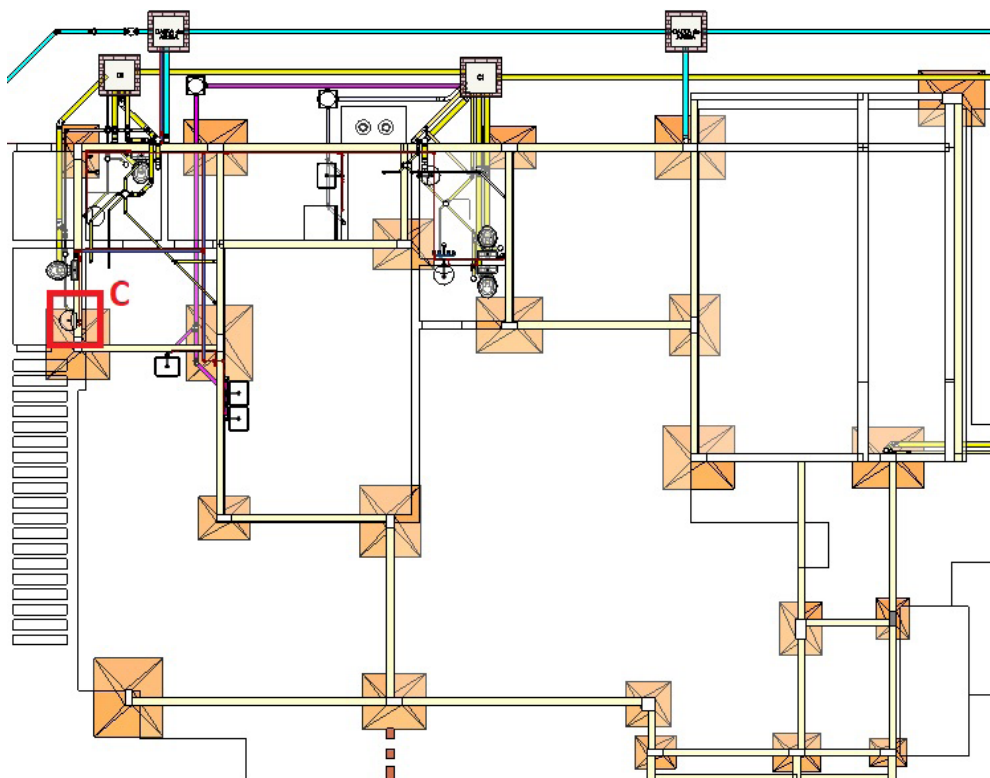


Figura 7
Identificação das incompatibilidades – Hidrossanitário x Estrutura.

Desse modo, faz necessário demonstrar as interferências apresentadas em planta baixa e na modelagem 3D em escala de projeto. Estas incompatibilidades ocorrem com a tubulação de águas pluviais com o Pilar 9 no Pavimento Superior, entre a tubulação de água quente e o Pilar 25 no Pavimento Superior e a tubulação de esgoto com a viga de baldrame no Pavimento Térreo, conforme Figura 8.

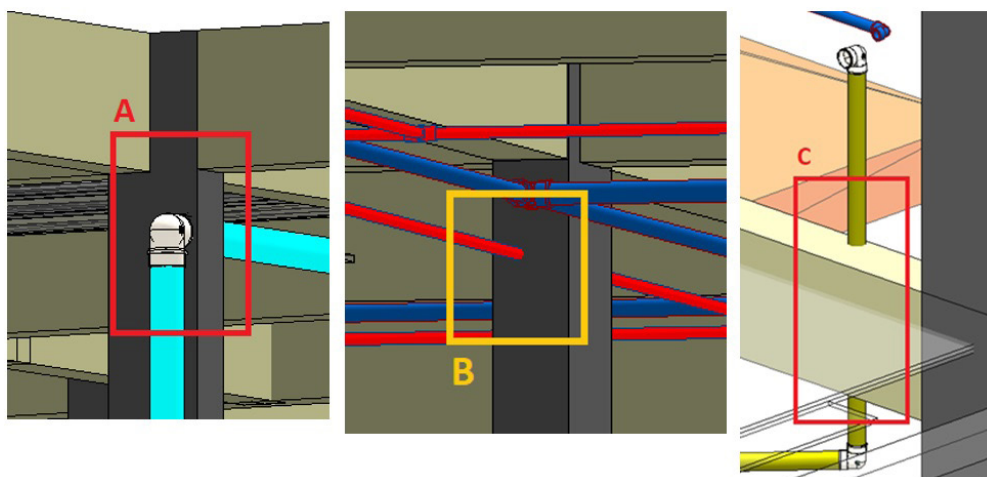


Figura 8
Incompatibilidades – Hidrossanitário x Estrutura.

4.2. Escala Real

Na análise realizada em escala real com a aplicação do AUGIN, foi feita nos projetos hidráulico, sanitário e de águas pluviais com o estrutural, assim como, com o projeto hidrossanitário com o arquitetônico, e por último foi analisado o projeto arquitetônico com o estrutural.

Após as análises *in loco*, foram identificadas todas as incompatibilidades já apresentadas em escala de projeto e, além disso, foram encontradas incompatibilidades que não foram observadas em escala de projeto. Estas incompatibilidades foram obtidas na análise entre o projeto hidrossanitário com o arquitetônico, assim como, o projeto estrutural com arquitetura no ambiente do *deck* no pavimento térreo e na sala íntima no pavimento superior. A Figura 9 expõe as incompatibilidades entre os projetos hidrossanitários e arquitetônico.



Figura 9
Realidade Aumentada –
Arquitetura x Instala-
ções.

A Figura 10 exibe a aplicação da RA e identificação da incompatibilidade do pilar presente no projeto estrutural e não estando presente no projeto arquitetônico, assim como, identificou-se a incompatibilidade das vigas que estão fora do alinhamento da alvenaria com a exibição das vigas na fachada principal da residência unifamiliar.

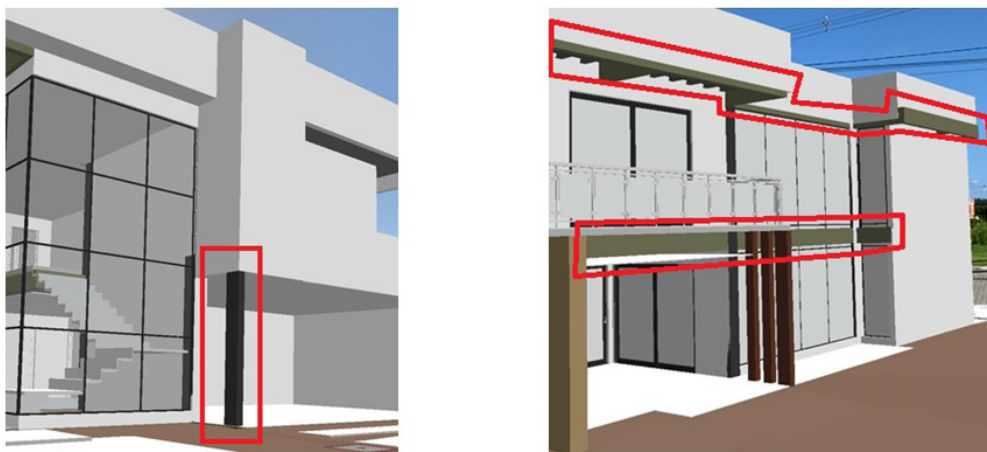


Figura 10
Realidade Aumentada –
Arquitetura x Estrutura.

5. Resultados e discussão

No comparativo extraído do quantitativo das incompatibilidades encontradas em escala de projeto e em escala real com RA para a modelagem federada, obteve-se diferentes quantidades em relação aos métodos aplicados nas compatibilizações entre os projetos de Arquitectura, Hidrossanitário e Estrutural. Com isso, foi necessário elaborar uma tabela com os quantitativos das incompatibilidades encontradas para as respetivas escalas utilizadas, conforme Tabela 1.

PROJETOS	INCOMPATIBILIDADES	
	ESCALA PROJETO	ESCALA REAL
Arquitetónico x Estrutural	3	5
Arquitetónico x Hidrossanitário	0	2
Estrutural x Hidrossanitário	3	3
Hidráulico x Sanitário	5	5
TOTAL	11	15

Tabela 1
Quantitativo das incompatibilidades – Escala de Projeto x Escala Real.

Percebe-se na Tabela 1, ao comparar a soma das análises de incompatibilidades detectadas em cada escala, um maior número de incompatibilidades encontradas em escala real com aplicação do RA em relação a escala de projeto analisada no Revit. Isto foi possível devido o uso do *plugin* AUGIN, onde os projetos analisados foram federados, isto é, com os projetos de arquitectura, instalações e estrutural agrupados e analisados em escala real *in loco*, a verificação ficou mais perceptível.

Embora a Tabela 1 mostre que em escala real no RA apresenta uma maior quantidade de incompatibilidades percebidas, observou-se também que em escala de projeto possibilita a antecipação no REVIT por meio do comando de verificação as incompatibilidades em relação a aplicação da Realidade Aumentada por meio do AUGIN.

Além disso, constataram-se aspectos em que a compatibilização foi complementar em relação a escala de projeto e escala real. Entre estes aspectos cabe ressaltar a possibilidade de verificação automática de interferências e a capacidade de realizar modificações no projeto, onde isto é possível somente no uso da ferramenta REVIT.

Como também em escala real a aplicação da RA proporcionou a visualização de incompatibilidades, nas quais componentes, que estavam alocados indevidamente em projetos Hidrossanitário e estrutural, ficaram expostos erroneamente no projeto arquitetônico, sendo assim imperceptíveis em escala de projeto. Visto que a ferramenta REVIT só encontra incompatibilidades em interposição entre componentes, com isso sendo incapaz de localizar falhas como componentes sendo alocados em lugares indesejáveis, que não estejam colidindo com outros elementos.

Dessa forma, vale ressaltar que foi realizado o somatório das incompatibilidades encontradas em escala de projeto e real, em que se mostra uma diferença de incompatibilidades encontradas a mais em escala real.

5. Conclusão

Este trabalho retratou a compatibilização entre os projetos arquitetônico, estrutural e hidrossanitário, através da metodologia BIM juntamente com aplicação da Realidade Aumentada com os projetos em REVIT já finalizados.

Após a federação dos projetos, para se ter um modelo consistente e integrado de todas as disciplinas dos projetos, foram realizados relatórios de interferências entre os projetos de arquitetura com estrutural, hidrossanitário com arquitetônico, hidrossanitário com estrutural, hidráulico com sanitário, a fim de analisar a compatibilização no *software* Revit.

Observou-se que o uso da metodologia BIM juntamente com a RA aplicada nos projetos complementares e de arquitetura, apresentou ser um método eficiente para a sua compatibilização, uma vez que vários aspectos se mostraram vantajosos, visto que a compatibilização foi feita tanto em escala de projeto por meio do comando de verificação do REVIT, a ser uma das ferramentas aplicadas ao BIM, quanto em escala real com a RA por meio do *plugin* AUGIN.

Percebeu-se que, para o estudo realizado, algumas incompatibilidades em escala de projeto não foram alcançadas durante o estudo, mas identificadas com aplicação do comando de verificação da ferramenta REVIT, que as identifica automaticamente. Assim como, em escala real a aplicação da RA proporcionou a visualização de incompatibilidades imperceptíveis em escala de projeto.

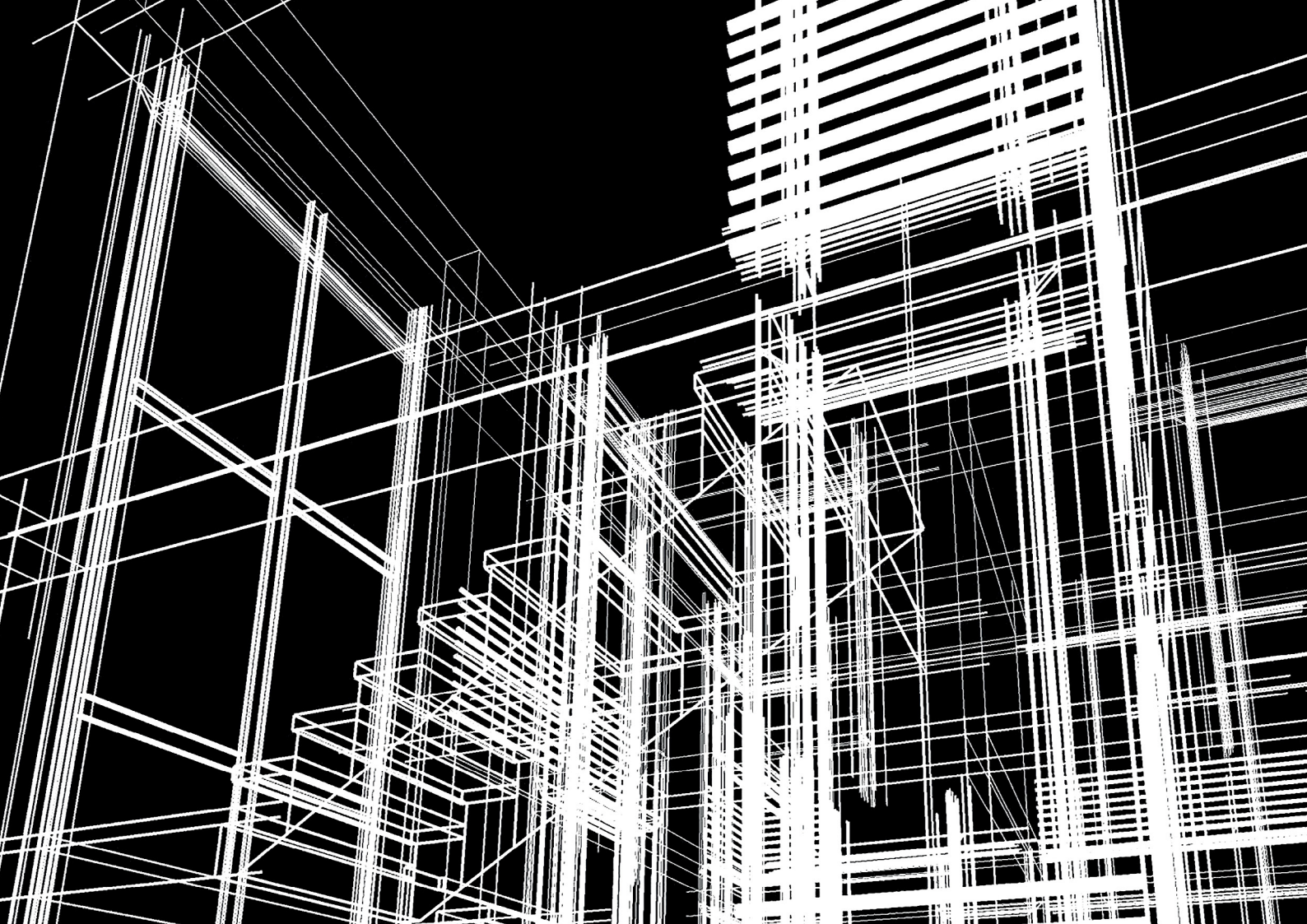
Após as análises, identificaram-se onze incompatibilidades em escala de projeto e quinze em escala real, 26,67% a mais de incompatibilidades em escala real com aplicação da RA.

Portanto a metodologia BIM juntamente com a aplicação da RA, mostrou-se viável na compatibilização dos projetos, permitindo maiores possibilidades de análises e verificações de compatibilidades, principalmente durante a etapa de projeto, visto que a detecção de tais incompatibilidades está ainda em projeto. Com isso, a correção é feita na fase de projeto e não na execução, evitando assim diversos custos e erros construtivos e economia de tempo e recursos na construção.

5. Referências

- [1] Y. S. Gomes, “Planejamento e Gerenciamento Construtivo Através de Ferramentas BIM, Um Estudo de Caso na Fundação Estrutural”, Trabalho de Conclusão de Curso, Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, Brasil, 2018.
- [2] G. L. B. B. Menezes, “Breve histórico de implantação da plataforma BIM”, *Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*, v. 18, n. 22, pp. 152-171, Maio 2012, doi: <https://doi.org/10.5752/P.2316-1752.2011v18n22p152>.
- [3] C. Kiner e R. Siscoutto, *Realidade Virtual e Aumentada: Conceitos, Projeto e Aplicações*. Petrópolis, RJ, Brasil: SBC, 2007.
- [4] M. R. Freitas, e R. C. Ruschel, “Validação de aplicativo comercial visando à incorporação da realidade aumentada a um modelo de avaliação pós-ocupação”, *Ambiente Construído*, v. 15, n. 2, pp. 97-112, Abril-Junho/2015, Porto Alegre, RS, Brasil. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212015000200016>.
- [5] O. J. M. Azevedo, “Metodologia BIM - Building Information Modelling na Direção Técnica de Obras”, Dissertação de Mestrado, Guimarães, Universidade do Minho, Portugal, 2009.
- [6] J. C. Lino, M. Azenha, e P. Lourenço, “Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas”, in *Encontro Nacional Betão Estrutural (2012)*, Porto, Portugal, 2012, pp. 1-10, 2012. Disponível em: https://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/076_Artigo.pdf
- [7] M. L. Marsico, R. Medeiros, V. Delatorre, M. F. Castella, C.A. Jacoski, “Aplicação de BIM na compatibilização de projetos de edificações”, *Iberoamerican Journal of Industrial Engineering*, v. 9, n. 17, pp. 19-41, 2017, Santa Catarina, Brasil. Disponível em: <http://incubadora.periodicos.ufsc.br/index.php/IJIE/article/view/v9n1702/pdf>
- [8] L.C.S. Moreira, “Expressão Gráfica através da Realidade Aumentada e BIM : Uma Experiência de Visualização”, in: *XXI Simpósio Nacional de Geometria Descritiva e Desenho Técnico*, Florianópolis, Brasil, 2013, pp. 1-12, 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/georg/Downloads/EXPRESSAOGRAFICAATRAVESDAREALIDADEAUMENTADAEBIMUMAEXPERIENCIADEVISUALIZACAO.pdf>

- [9] AUGIN. “Utilização da Plataforma”. S.d. s. l. Disponível em: <https://augin.app/sobre-nos>
- [10] S. Proetti, “As Pesquisas Qualitativa e Quantitativa como Métodos de Investigação Científica: Um Estudo Comparativo e Objetivo”, Revista Lumen – v. 2, n. 4, 2018. ISSN: 2447-8717



Livro de atas do Congresso ptBIM 2022, onde se promove um fórum de discussão técnico-científica em língua Portuguesa nas metodologias 'Building Information Modelling' (BIM), envolvendo a participação ativa das comunidades profissional e académica das áreas de Arquitetura e Engenharia. Pretende-se enfatizar os problemas e esforços de implementação na Indústria da Construção e reforçar as redes de profissionais que incorporam práticas BIM nas suas atividades.
<https://ptbim.org/>



UMinho Editora



Universidade do Minho

ISBN 978-989-8974-69-3



9 789898 974693 >