ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python

Use of the BIM system to quantify civil construction waste: use of Revit and Dynamo combined with Python programming language

Fernanda Catarina Ribeiro da Luz
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | fernanda.rluz@ufpe.br
Rachel Perez Palha
Universidade Federal de Pernambuco | Recife | Brasil | rachel.palha@ufpe.br

Resumo

A construção civil, essencial para o progresso econômico, é uma grande fonte de resíduos prejudiciais ao meio ambiente. Em razão do contexto, o objetivo principal desta pesquisa é quantificar de forma detalhada os resíduos gerados durante o ciclo de vida do projeto. Para isso foi utilizada a metodologia BIM, através da integração do *software* Revit, a interface do Dynamo e a linguagem de programação Python. Destaca-se o desenvolvimento de um algoritmo para a quantificação dos resíduos nas fases de construção e demolição. Os resultados demonstram vantagens, tais como a economia de tempo, redução de erros manuais e a capacidade de personalização para atender a requisitos específicos. Este estudo contribui para o meio acadêmico ao criar um algoritmo que melhora a gestão sustentável de resíduos na construção civil, além de oferecer à indústria formas inovadoras de promover práticas sustentáveis. Como sugestão para enfrentar desafios futuros, propõe-se a automação completa do processo e a exploração de tecnologias emergentes em pesquisas subsequentes.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Building Information Modeling. Resíduos da Construção. Dynamo. Automatização.

Abstract

The construction industry, essential for economic progress, is a significant source of environmentally harmful waste. Given this context, the main objective of this research is to quantitatively assess the waste generated throughout the project's life cycle in detail. To achieve this, the BIM methodology was utilized, integrating Revit software, the Dynamo interface, and the Python programming language. Notably, an algorithm was developed for quantifying waste in the construction and demolition phases. The results demonstrate

Como citar:
LUZ, Fernanda Catarina Ribeiro da; PALHA, Rachel Perez. Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

advantages such as time savings, reduced manual errors, and customization capability to meet specific requirements. This study contributes to academia by creating an algorithm that improves sustainable waste management in the construction industry, while also offering the industry innovative ways to promote sustainable practices. To address future challenges, it is suggested to fully automate the process and explore emerging technologies in subsequent research.

Keywords: Sustainability. Building Information Modeling. Construction Waste. Dynamo. Automation.

INTRODUÇÃO

A sustentabilidade emerge como um elemento central no planejamento e na execução de projetos de engenharia civil, exercendo uma influência significativa na rotina profissional dos engenheiros atualmente, com perspectivas de uma influência ainda maior no futuro [1]. Entretanto, é importante reconhecer que segundo dados das Nações Unidas, a construção civil foi responsável por cerca de 37% das emissões globais de CO_2 em 2021, considerando também a produção dos materiais de construção [2].

A redução dos Resíduos da Construção Civil (RCC) é uma questão fundamental para a sustentabilidade, visto que, a construção civil é produtora de aproximadamente 25% de todos os resíduos sólidos e 40% dos materiais em aterros [3]. Além disso, segundo Jalaei *et al.* [4] a quantidade de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) prevê um aumento constante, atingindo 16,2 milhões de toneladas anuais, equivalendo a 3,62 quilos por habitante/ano, devido à acelerada urbanização sustentável.

No Brasil, em 2021, foram geradas 48 milhões de toneladas de Resíduos da Construção Civil [5]. No entanto, quantificar esses resíduos é desafiador devido à singularidade de cada projeto [6]. Cheng e Ma [7] também destacam a falta de ferramentas eficientes para estimar esses resíduos, apontando que as existentes não são práticas para os contratantes, o que os leva a sugerir que a Modelagem de Informações de Construção (BIM – *Building Information Modeling*) pode ser uma solução viável.

A gestão de resíduos na construção e demolição emerge como um componente crucial na indústria, buscando atenuar os impactos ambientais das atividades construtivas. Considerada essencial, essa prática se destaca como um fator determinante para o alcance do desenvolvimento sustentável [8]. Nesse contexto, a utilização da metodologia BIM surge como uma forma de mitigar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de uma construção. O BIM tem sido considerada uma tecnologia essencial e vem adquirindo notoriedade no cenário mundial na área de gestão de resíduos de construção e demolição devido a sua compatibilidade com outras tecnologias avançadas [9].

Nesse contexto, o presente artigo aborda a utilização do BIM como um sistema para quantificar o desperdício na construção civil, com utilização da aplicação conjunta do *software* Revit com a interface de programação visual Dynamo, aliados à linguagem de programação Python. Ao explorar essas convergências tecnológicas, é possível promover práticas mais sustentáveis e economicamente viáveis na construção civil.

Este estudo tem como objetivo principal a quantificação, de forma detalhada, dos resíduos gerados durante o ciclo de vida do projeto. Uma característica distintiva deste estudo é o algoritmo criado que abrange diversos elementos construtivos do projeto, incluindo as fases de construção e demolição para quantificação dos resíduos.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os resíduos de construção e demolição são materiais gerados durante o processo de construção, reforma e demolição [10], resultantes da não conformidade com especificações, utilização inadequada de recursos e danos à infraestrutura [11]. Esses resíduos requerem remoção do local ou, como alternativa, podem ser reaproveitados no próprio ambiente de construção, mas com uma finalidade diferente da inicialmente planejada [11].

Relacionando a temática do BIM e gestão dos resíduos da construção civil, Pellegrini *et al*. [12] analisou, por meio de três estudos de caso, a integração de estratégias de minimização e gestão de resíduos durante a fase de licitação utilizando a metodologia BIM. Os estudos de caso destacaram a possibilidade de os clientes públicos impulsionarem uma mudança no setor da construção em relação à integração de práticas de minimização e gestão de resíduos, por meio da aplicação de metodologias de aquisição verde e BIM.

Em relação aos artigos encontrados na literatura, estudos utilizam a plataforma Dynamo para finalidades diferentes, como: automatização e otimização de cálculos, conversão de modelos, coleta, armazenamento e extração de dados. O Quadro 1 apresenta uma síntese das pesquisas que fazem uso do ambiente de programação Dynamo, incluindo o título da pesquisa e a finalidade do uso do Dynamo.

Quadro 1: Finalidades do uso do Dynamo

Referência na Literatura	Título da Pesquisa	Finalidade
Anupama *et al*. [13]	*Application of lean principles for efficiency enhancement of BIM process*	Obtenção de lista de materiais do projeto
Basta *et al*. [14]	*A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability*	Automatização de cálculos
Wawryniuk [15]	*Prefabrication 4.0: BIM-aided design of sustainable DIY-oriented houses*	Conversão de um modelo BIM em uma alternativa pré-fabricada
Lima *et al*. [16]	*Integration of BIM and design for deconstruction to improve circular economy of buildings*	Coletar e armazenar dados no sistema
Thabet *et al*. [17]	*Linking life cycle BIM data to a facility management system using Revit Dynamo*	Extração de dados do modelo
Yang *et al*. [18]	*A BIM-Based Approach to Automated Prefabricated Building Construction Site Layout Planning*	Otimização do layout do canteiro

Fonte: os autores.

No que se refere a temática da quantificação de resíduos por meio de ferramentas BIM, é evidente a diversidade de abordagens utilizadas. O Quadro 2 resume as ferramentas empregadas para a quantificação de resíduos, juntamente com os tipos de resíduos estudados:

Quadro 2: Ferramentas utilizadas e tipos de resíduos estudados

Referência na Literatura	Título	Ferramenta Utilizada	Tipo de Resíduos Estudados
Jalaei *et al*. [4]	*Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)*	*Plug-in* do Naviswork	RCD
Quiñones *et al*. [19]	*Quantification of Construction Waste in Early Design Stages Using Bim-Based Tool*	Revit API	RC
Heigermoser *et al*. [20]	*BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management*	LPS *prototype* tool	RC
Cheng e Ma [7]	*A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning*	Revit API	RCD
Guerra *et al*. [21]	*BIM-based automated construction waste estimation algorithms: the case of concrete and drywall waste streams*	Planilha Excel extraída do modelo BIM	RC
Akinade e Oyedele [22]	*Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS)*	Revit API	RC

RC: resíduo da construção; RCD: resíduo da construção e demolição
Fonte: os autores.

A maioria dos artigos analisados discorrem sobre resíduos de construção. Sivashanmugam *et al*. [23] identificaram, por meio de revisão de literatura, que aproximadamente metade dos estudos se concentram na medição de resíduos gerados na construção de novos edifícios, enquanto 18% se dedicam a trabalhos de demolição. Os autores também destacam que, embora haja uma análise das metodologias de quantificação, os padrões digitais e de informação para automatizar esse processo são pouco explorados na literatura existente.

Por fim, embora seja uma temática pouco recorrente, a quantificação de resíduos provenientes de construção e demolição tem experimentado um crescimento significativo na última década, refletido pelo aumento na produção científica sobre o assunto. Isso indica um reconhecimento crescente por parte dos pesquisadores em relação à importância e relevância desse tópico [23].

METODOLOGIA

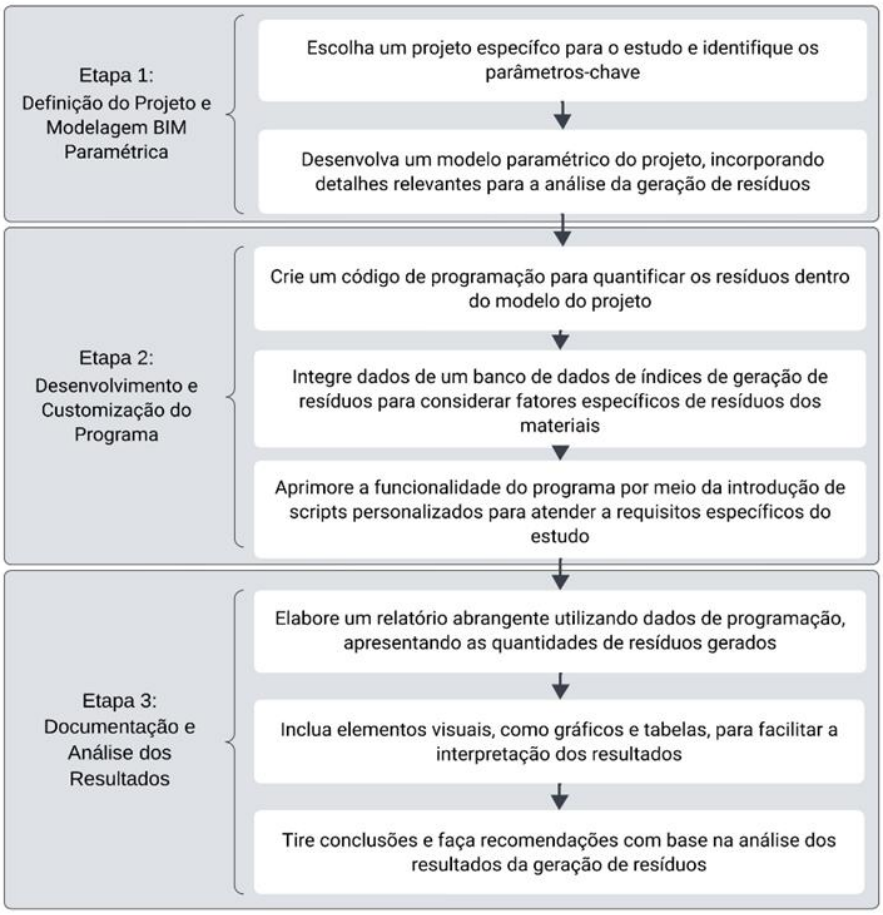
Esta seção descreve a abordagem empregada no estudo para quantificar os resíduos de construção e demolição por meio de uma metodologia que integra BIM, ferramentas computacionais e índices de geração de resíduos. Cada uma dessas etapas é fundamental para garantir a precisão, confiabilidade e aplicabilidade dos resultados alcançados.

Para a quantificação dos resíduos, foi desenvolvido pelos autores o projeto de um edifício utilizando o *software* Revit, uma ferramenta amplamente adotada na indústria

[24]. Para automatizar esse processo, foi empregado o Dynamo, uma ferramenta de programação visual integrada ao Revit. O Dynamo permite que os usuários criem *scripts* visuais, estabeleçam lógicas personalizadas e programem em várias linguagens textuais. Além disso, para aumentar a eficiência da programação, foram desenvolvidos scripts em Python, uma das linguagens de programação mais populares para a automação de tarefas [25].

A Fig. 1 ilustra as etapas de pesquisa realizadas para obtenção dos resultados obtidos, as etapas foram divididas em: (1) definição de projeto e modelagem paramétrica BIM; (2) desenvolvimento e personalização do programa; (3) geração de relatório e análise de resultados. As seguintes seções irão descrever as etapas de desenvolvimento do presente artigo.

Figura 1: Fluxograma para quantificação dos resíduos da construção civil



Fonte: os autores.

ETAPA 1: DEFINIÇÃO DE PROJETO E MODELAGEM PARAMÉTRICA BIM

Utilizando o *software* Revit, foi realizado o processo de modelagem tridimensional do edifício em estudo. Cada componente da construção, foi representado de maneira detalhada no modelo. Informações sobre os materiais utilizados foram incorporadas ao modelo para garantir uma representação fiel da estrutura. Para isso foi criado pelos autores o projeto de um edifício habitacional de 8 andares. Cada unidade residencial foi modelada contendo uma sala de estar, dois quartos, uma cozinha e um banheiro.

Cada pavimento possui 8 apartamentos, totalizando 64 unidades habitacionais. A Fig. 2 ilustra o edifício modelado no Revit.

Figura 2: Edifício modelado no *software* Revit para estudo de caso.



Fonte: os autores.

ETAPA 2: DESENVOLVIMENTO E PERSONALIZAÇÃO DO PROGRAMA

Um programa de quantificação de resíduos foi desenvolvido usando a ferramenta de programação visual Dynamo. A etapa envolveu extrair os elementos construtivos do projeto. Os elementos incluem pilares, vigas, lajes de concreto, entre outros. Para a quantificação do resíduo gerado foi utilizado como referência os índices obtidos através da pesquisa de Solís-Guzmán *et al*. [26].

A escolha dos índices fornecidos por Solís-Guzmán *et al*. [26] se justifica por se tratar de uma base de dados construídas a partir do estudo de diversas obras e por fornecer índices gerados por inúmeros elementos construtivos que foram utilizados para quantificação do modelo presente. A tabela 1 apresenta os índices percentuais de resíduo gerado fornecido por Solís-Guzmán *et al*. [26] para cada peça estrutural em sua fase de construção e demolição.

O fluxograma de desenvolvimento do código no Dynamo para quantificação de resíduos é mostrado na Figura 3. Inicialmente, verifica-se se o elemento construtivo possui camadas de revestimento. Se sim, um script em Python é utilizado para listar e selecionar os revestimentos. Os quantitativos dos elementos e revestimentos são então somados, e os índices de resíduos de Solís-Guzmán *et al*. [26] são aplicados. O total de resíduo gerado é quantificado com outro script em Python, e os dados são exportados para um arquivo Excel para análise posterior.

Para elementos construtivos sem revestimentos, a quantificação de resíduos envolve extrair e somar os quantitativos, aplicar índices de resíduos de construção e demolição, quantificar o resíduo total usando um script Python e exportar os resultados para o Excel. O script Python é usado para personalizar o código,

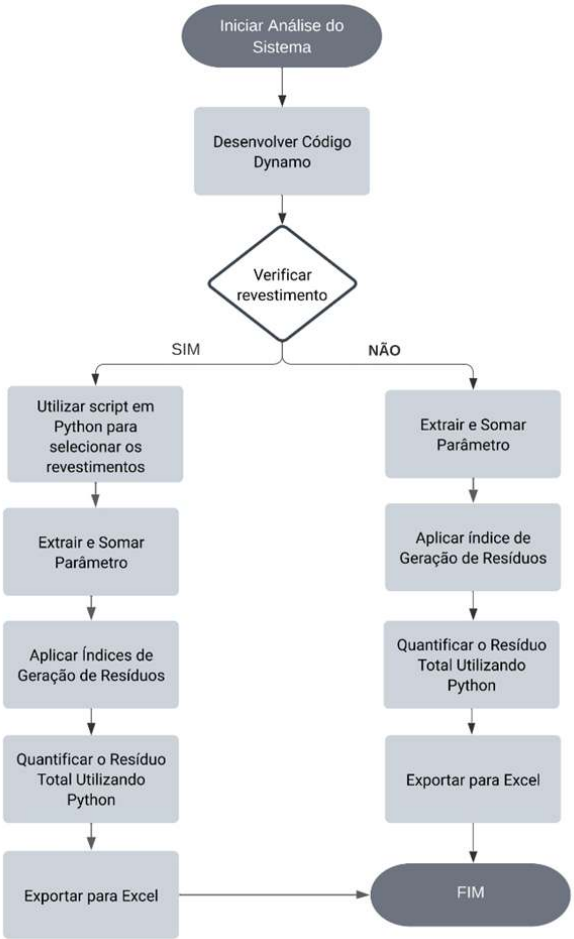
selecionando e separando camadas em elementos com revestimentos, especialmente em paredes e pisos. Ele desmembra as camadas, extrai as unidades de medida e quantifica o resíduo total para cada elemento durante a construção e demolição.

Tabela 1: Índices de resíduos por elemento construtivo [24]

Elemento	Nova Construção (%)	Demolição (%)
Pilares	2,65	0,00
Lajes de concreto	6,05	34,24
Concreto armado	0,01	0,00
Tijolo exterior	5,78	11,69
Tijolo interior	2,13	4,31
Azulejo	2,55	1,53
Gesso	0,33	3,47
Pisos	0,25	0,62
Teto	0,37	0,48
Pintura externa	0,50	0,10
Pintura interna	1,26	0,26
Portas de madeira	0,29	0,68

Fonte: os autores.

Figura 3: Fluxograma para quantificação dos resíduos



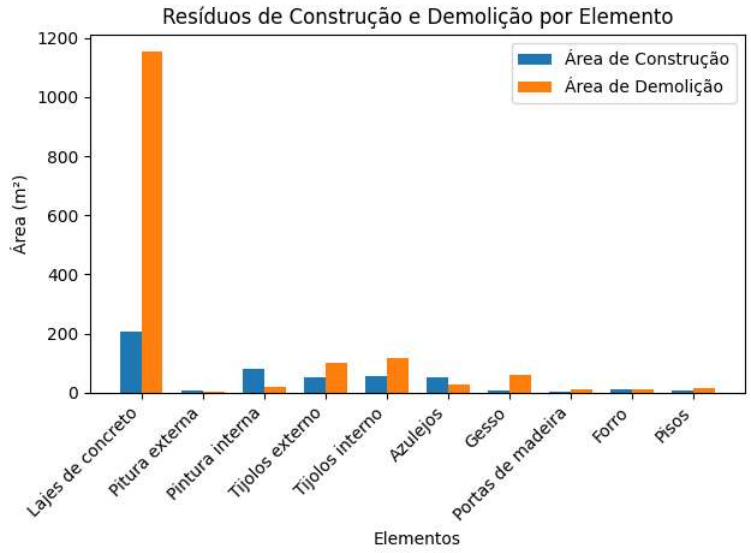
Fonte: os autores.

ETAPA 3: DOCUMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

A programação desenvolvida permite quantificar os resíduos gerados por cada elemento construtivo do modelo de forma automatizada, fornecendo os resultados em uma planilha. Esses dados possibilitam a análise e a quantificação total dos resíduos na fase de construção ou demolição do edifício. Utilizando os índices de Solís-Guzmán *et al*. [26], os resíduos são principalmente expressos em metros quadrados, exceto para vigas e pilares, apresentados em metros e quilogramas, respectivamente. A escolha da unidade de conversão fica a critério do estudo acadêmico ou do contexto empresarial.

A Figura 5 resume os resíduos gerados por cada elemento construtivo em metros quadrados durante as fases de construção e demolição, destacando uma notável disparidade com a laje de concreto e a ausência de valor correspondente para a pintura externa na base de dados selecionada.

Figura 4: Resíduos de construção e demolição gerados por elemento construtivo

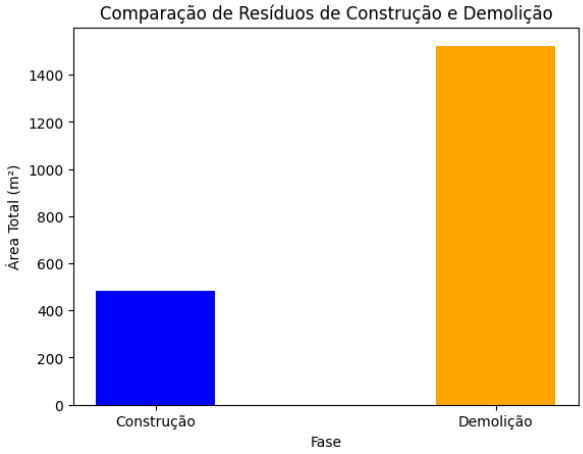


Fonte: os autores.

Ao empregar o código elaborado no Dynamo, incorporando os índices de Solís-Guzmán *et al*. [26], observa-se que o volume total de resíduos gerados durante a fase de demolição excede em mais de três vezes o observado na etapa de construção. A Fig. 6 apresenta uma representação visual comparativa entre os resíduos gerados em ambas as fases, destacando a discrepância entre os resultados. Essa análise ressalta a importância de direcionar a atenção para estratégias eficazes de gestão de resíduos durante a fase de demolição, enfatizando a necessidade de práticas sustentáveis para lidar com esse aumento substancial no volume de resíduos.

Por fim, a análise automatizada dos resíduos gerados por elementos construtivos revelou que, na fase construtiva, a laje de concreto, pintura interna e tijolo interno foram os principais contribuintes, enquanto na fase de demolição, a laje de concreto e tijolos (interno e externo) se destacaram. Elementos como porta de madeira, gesso e piso apresentaram menor impacto. A análise realizada enfatiza a necessidade de estratégias eficazes de gestão de resíduos, especialmente na demolição.

Figura 5: Resíduos de construção e demolição gerados



Fonte: os autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A programação desenvolvida para a quantificação de resíduos na construção, utilizando Dynamo e Python, proporciona diversos benefícios que merecem destaque. Inicialmente, a precisão na quantificação é notável, uma vez que o uso de ferramentas BIM e programação considera detalhes paramétricos do projeto, resultando em uma análise mais exata dos resíduos gerados. A automação do processo é igualmente benéfica, economizando tempo e reduzindo erros manuais durante a quantificação dos resíduos.

Outro benefício significativo é a capacidade de customização do programa para atender a requisitos específicos do projeto, conferindo-lhe adaptabilidade a diferentes cenários de construção. Importante notar que a metodologia desenvolvida pode requerer adaptações para considerar peculiaridades específicas de diferentes projetos de construção. Para Morais *et al*. [27] é importante o incentivo para engenheiros e arquitetos a desenvolver e utilizar ferramentas computacionais para criar soluções compatíveis com a realidade de cada projeto.

Ao final do código, a geração de uma planilha em Excel não apenas consolida os dados, mas também fornece uma base sólida para a tomada de decisões informadas, favorecendo práticas eficazes de gerenciamento de resíduos na construção civil. A utilização de códigos de programação para gestão de resíduos também pode auxiliar na obtenção de certificações ambientais. Ghaffarianhoseini *et al*. [28] afirma que o BIM pode apoiar os profissionais a atender critérios de certificações. Através de revisão de literatura, os autores, observaram aumento no número de publicações sobre BIM e a certificação Green Star, indicando um crescente interesse e evolução do tema.

Por outro lado, as limitações identificadas residem na complexidade de implementação do sistema, demandando conhecimento técnico em BIM, programação e gerenciamento de dados. Apesar dos benefícios gerados, a implementação pode encontrar resistência devido à falta de familiaridade com abordagens BIM e programação. Diversos autores pontuam dificuldade na

implementação do BIM devido à falta de profissionais treinados, questões de educação e treinamento, custo do treinamento e de *software*, falta de conscientização sobre os benefícios do BIM, falta de regulamentação governamental e a falta de colaboração entre as partes interessadas [29, 30, 31].

Outra dificuldade enfrentada é a limitada disponibilidade de bases de dados para avaliação do sistema e a dependência de dados externos. Morais *et al*. [27] mencionam sobre a dificuldade de haver um banco de dados em que as informações sustentáveis sobre materiais utilizados na modelagem possam ser acessadas. Ressalta-se que a qualidade dos resultados está intrinsecamente ligada à precisão e disponibilidade dos dados de índices de geração de resíduos em bancos de dados externos.

CONCLUSÃO

A abordagem desenvolvida responde à crescente necessidade de gestão sustentável de resíduos na construção, visto que, este setor possui um alto impacto ambiental devido à produção de grandes quantidades de resíduos [32]. Esta abordagem estabelece um precedente para a integração de tecnologias avançadas em práticas tradicionais do setor. A combinação da modelagem paramétrica do BIM com o uso do Dynamo e da programação em Python oferece não apenas uma visão aprimorada da geração de resíduos, mas também estabelece os fundamentos para futuras inovações na gestão ambiental de projetos de construção.

Os desafios identificados, como a complexidade técnica e a possível resistência à adoção, não devem ser vistos como obstáculos intransponíveis, mas como oportunidades para aprimoramento contínuo e educação na indústria. Estratégias de capacitação e conscientização podem mitigar resistências, permitindo que profissionais se beneficiem plenamente das capacidades transformadoras dessa metodologia.

A dependência de dados externos e a necessidade de adaptação para diferentes projetos destacam a importância de uma base sólida de dados e uma abordagem flexível na implementação. Esta consideração reforça a necessidade de colaboração entre profissionais da construção, gestores de dados e especialistas em programação para garantir que a metodologia seja aplicável em uma variedade de contextos.

Esta pesquisa preenche uma lacuna existente na literatura, visto que, há um déficit de discussões que dissertam sobre Green BIM e resíduos [33]. Araújo *et al*. [34], ao realizar uma revisão sistemática sobre gestão da construção sustentável, também identificaram uma escassez de estudos que empregam abordagens quantitativas para avaliar os impactos ambientais associados às atividades e produtos na indústria da construção.

Para futuras pesquisas, recomenda-se aplicar o código de programação desenvolvido em projetos que se encontram em fase de construção e demolição para validar sua eficácia. Propõe-se a utilização de índices de geração de resíduos da empreiteira como base para a previsão dos resíduos gerados. Também é sugerido a associação da

quantificação dos resíduos com valores orçamentários para obtenção automatizada dos custos gerados pelos resíduos em obras.

Outra sugestão envolve a automação do processo total do modelo, eliminando etapas manuais, como vinculação direta de bancos de dados. A automação integral poderia potencialmente acelerar ainda mais o processo de quantificação de resíduos, permitindo uma análise mais ágil e em tempo real. Além disso, a investigação de tecnologias emergentes, como *machine learning*, poderia ser considerada para aprimorar a capacidade do sistema em prever padrões de geração de resíduos com base em dados históricos. Essa automação aprimorada não apenas simplificaria as operações, mas também promoveria uma maior eficiência, oferecendo uma perspectiva promissora para o futuro da gestão de resíduos na construção civil.

Ao concluir este estudo, vislumbra-se não apenas um método aprimorado para quantificação de resíduos, mas uma forma de incentivo para uma mudança mais ampla na mentalidade e práticas da construção civil. Esta pesquisa serve como um guia, não apenas para gestores e pesquisadores, mas para toda a comunidade envolvida na construção, incentivando uma abordagem mais consciente e eficiente para um futuro mais sustentável.

A automatização proporcionada pelo algoritmo, aliada à capacidade de customização do código, representa um avanço em direção à eficiência e precisão. A capacidade da metodologia em se adaptar a diferentes contextos e requisitos específicos dos projetos é uma inovação importante. Essa adaptabilidade confere à pesquisa uma versatilidade que possibilita sua aplicação em uma variedade de cenários na construção civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à FACEPE pelo apoio concedido à pesquisa. Processo n°: TO-APQ-1178-21-52652 e IBPG-1728-3.01/21.

REFERÊNCIAS

[1] QUAPP, Ulrike; HOLSCHEMACHER, Klaus. Implementation of Sustainable Planning and Building in Civil Engineering Ethics. **Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction**, v. 16, n. 1, p. 04523049, 2024.

[2] United Nations. (2022). Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. www.globalabc.org.

[3] LOIZOU, Loizos et al. Quantifying advantages of modular construction: Waste generation. **Buildings**, v. 11, n. 12, p. 622, 2021.

[4] JALAEI, Farzad; ZOGHI, Milad; KHOSHAND, Afshin. Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building

Information Modeling (BIM). **International Journal of Construction Management**, v. 21, n. 8, p. 784-801, 2019.

[5] ABRELPE. (2022). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022

[6] KERN, Andrea Parisi et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, p. 35-44, 2015.

[7] CHENG, Jack CP; MA, Lauren YH. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste management**, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.

[8] YUAN, H. P. et al. A model for cost–benefit analysis of construction and demolition waste management throughout the waste chain. **Resources, conservation and recycling**, v. 55, n. 6, p. 604-612, 2011.

[9] GUPTA, Sakshi; JHA, Kumar Neeraj; VYAS, Gayatri. Proposing building information modeling-based theoretical framework for construction and demolition waste management: Strategies and tools. **International Journal of Construction Management**, v. 22, n. 12, p. 2345-2355, 2022.

[10] YUAN, Hongping; SHEN, Liyin. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v. 31, n. 4, p. 670-679, 2011.

[11] SKOYLES, Edward R**. Waste prevention on site**. BT Batsford Limited, 1987.

[12] PELLEGRINI, Laura et al. Digital transition and waste management in architecture, engineering, construction, and operations industry. **Frontiers in Energy Research**, v. 8, p. 576462, 2020.

[13] ANUPAMA, V. M. et al. Application of lean principles for efficiency enhancement of BIM process. **Asian Journal of Civil Engineering**, p. 1-11, 2023.

[14] BASTA, Andrew; SERROR, Mohammed Hassanien; MARZOUK, Mohamed. A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability. **Automation in construction**, v. 111, p. 103064, 2020.

[15] OSTROWSKA-WAWRYNIUK, Karolina. Prefabrication 4.0: BIM-aided design of sustainable DIY-oriented houses. **International Journal of Architectural Computing**, v. 19, n. 2, p. 142-156, 2021.

[16] LIMA, Patricia Rodrigues Balbio; DE SOUZA RODRIGUES, Conrado; POST, Jouke M. Integration of BIM and design for deconstruction to improve circular economy of buildings. **Journal of Building Engineering**, v. 80, p. 108015, 2023.

[17] THABET, Walid; LUCAS, Jason; SRINIVASAN, Sai. Linking life cycle BIM data to a facility management system using Revit Dynamo. Organization, technology

& management in construction: an international journal, v. 14, n. 1, p. 2539-2558, 202.

[18] YANG, Bin et al. A bim-based approach to automated prefabricated building construction site layout planning. KSCE Journal of Civil Engineering, v. 26, n. 4, p. 1535-1552, 2022.

[19] QUIÑONES, Rocío et al. Quantification of construction waste in early design stages using bim-based tool. **Recycling**, v. 7, n. 5, p. 63, 2022.

[20] HEIGERMOSER, Daniel et al. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019.

[21] GUERRA, Beatriz C. et al. BIM-based automated construction waste estimation algorithms: The case of concrete and drywall waste streams. **Waste Management**, v. 87, p. 825-832, 2019.

[22] AKINADE, Olugbenga O.; OYEDELE, Lukumon O. Integrating construction supply chains within a circular economy: An ANFIS-based waste analytics system (A-WAS). **Journal of Cleaner Production**, v. 229, p. 863-873, 2019.

[23] SIVASHANMUGAM, Subarna et al. Enhancing information standards for automated construction waste quantification and classification. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104898, 2023.

[24] MAZZOLI, Cecilia et al. Building information modeling as an effective process for the sustainable re-shaping of the built environment. Sustainability, v. 13, n. 9, p. 4658, 2021.

[25] MCKINNEY, Wes. Python para análise de dados: Tratamento de dados com Pandas, NumPy e IPython. Novatec Editora, 2018.

[26] SOLÍS-GUZMÁN, Jaime et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste management**, v. 29, n. 9, p. 2542-2548, 2009.

[27] ALVES TENÓRIO DE MORAIS, Gabriela et al. Integration potential between REVIT and LEED: a review. **Architectural Engineering and Design Management**, p. 1-16, 2023.

[28] GHAFFARIANHOSEINI, Ali et al. Amplifying the practicality of contemporary building information modelling (BIM) implementations for New Zealand green building certification (Green Star). **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 24, n. 4, p. 696-714, 2017.

[29] ODUYEMI, Olufolahan; OKOROH, Michael Iheoma; FAJANA, Oluwaseun Samuel. The application and barriers of BIM in sustainable building design. **Journal of Facilities Management**, v. 15, n. 1, p. 15-34, 2017.

[30] AKDAG, S. Girginkaya; MAQSOOD, Uzair. A roadmap for BIM adoption and implementation in developing countries: the Pakistan case. Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, v. 14, n. 1, p. 112-132, 2019.

[31] ALMUTIRI, Yasser. Awareness of Building Information Modeling implementation and green buildings in the building industry in the Kingdom of Bahrain. In: **2020 Second International Sustainability and Resilience Conference: Technology and Innovation in Building Designs** (51154). IEEE, 2020. p. 1-5.

[32] SPIŠÁKOVÁ, Marcela et al. Waste management in a sustainable circular economy as a part of design of construction. **Applied Sciences**, v. 12, n. 9, p. 4553, 2022.

[33] LUZ, Fernanda Catarina Ribeiro et al. Investigando tendências em Green BIM: uma análise bibliométrica. **Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção**, v. 4, p. 1-11, 2023.

[34] ARAUJO, Adolpho Guido; CARNEIRO, Arnaldo Manoel Pereira; PALHA, Rachel Perez. Sustainable construction management: A systematic review of the literature with meta-analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 256, p. 120350, 2020.