



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FERNANDA CATARINA RIBEIRO DA LUZ

**USO DO SISTEMA BIM NA QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de
programação Python**

Recife

2024

FERNANDA CATARINA RIBEIRO DA LUZ

**USO DO SISTEMA BIM NA QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de
programação Python**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Estruturas.

Orientadora: Profa. Dra. Rachel Perez Palha.

Recife

2024

Catálogo na fonte:
Bibliotecária Sandra Maria Neri Santiago, CRB-4 / 1267

L979u Luz, Fernanda Catarina Ribeiro da.
Uso do sistema BIM na quantificação dos resíduos gerados na construção civil: utilização do Revit e Dynamo aliados a linguagens de programação Python / Fernanda Catarina Ribeiro da Luz. – 2024.
90 f.: il., fig., gráf., tab. e siglas.

Orientadora: Profa. Dra. Rachel Perez Palha.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2024.
Inclui referências.

1. Engenharia civil. 2. Sustentabilidade. 3. Building Information Modeling. 4. Resíduos da construção. 5. Dynamo. 6. Automatização. I. Palha, Rachel Perez (Orientadora). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG/2024-38

FERNANDA CATARINA RIBEIRO DA LUZ

**USO DO SISTEMA BIM NA QUANTIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL: utilização das linguagens de programação Python e
Dynamo aliadas ao Revit**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Estruturas.

Aprovada em: 19/02/2024.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rachel Perez Palha (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Anísio Brasileiro de Freitas Dourado (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Maurício Oliveira de Andrade (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Joaquim José Guilherme de Aragão (Examinador Externo)
Universidade de Brasília

Dedico este trabalho as minhas avós, que foram mulheres fortes em tempos difíceis. Helena Maria da Luz e Mirce Bezerra Ribeiro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que é meu alicerce, sigo com fé pois foi dito: “seja forte e corajoso, [...] pois o Senhor o seu Deus estará com você por onde você andar”.

Gratidão a minha família, especialmente aos meus pais, Milce e Fernando Luz que sempre me deram suporte em tudo ao longo da minha vida. Agradeço também aos meus irmãos Francisco e Flávia que tanto torcem por mim e cujo sentimento é recíproco. Grata ao meu companheiro Rodrigo Juan que desde a graduação me oferece suporte em tanto. Obrigada pelo afeto, compreensão e apoio.

Sou grata as pessoas que despertaram o meu interesse na área de pesquisa em BIM, primeiramente na graduação com a iniciação científica orientada pela professora Annielli Cunha e com o conteúdo debatido em sala de aula pelo professor Márcio Santana. Posteriormente no mercado de trabalho, onde fui incentivada ao estudo do BIM e das certificações ambientais pelo engenheiro Serapião Bispo, esse incentivo me inspirou na escolha da linha de pesquisa em sustentabilidade, por isso sou muito grata. Agradeço conjuntamente a Jaime Prado que também debatia sobre a temática do BIM na época do Camará e não poderia deixar de mencionar Thatianna Toscano que me recebeu tão bem na Brasília, sinto falta do convívio.

Agradeço aos amigos que me ajudaram durante o mestrado, especialmente a Joás de Aquino e aos que me auxiliaram na produção científica: Alice Gadelha e Sofia Pieroni. Grata também aos amigos, que com o convívio na universidade, tornaram meus dias mais leves: Bruna, Nakita, Claudia, Josivan, Eduardo, Evandro, Marília e Jessica. Gratidão também aos amigos que ajudaram com incentivos: Gracielle e Alan.

Agradeço a minha orientadora Rachel Pérez Palha, que me conduziu no desenvolvimento da minha dissertação. Sou muito grata por todos os ensinamentos, escuta, disponibilidade e paciência.

Por fim, agradeço aos professores do PPGECC que compartilharam conhecimento durante as disciplinas e aos demais amigos e colegas que fiz durante esse período.

RESUMO

A indústria da construção civil, embora essencial para o desenvolvimento econômico, é responsável por uma produção significativa de resíduos que impactam o meio ambiente e os recursos naturais. Nesse contexto, este estudo propõe a integração da modelagem de informações de construção (BIM) utilizando o software Revit, a interface de programação visual Dynamo e a linguagem de programação Python com a finalidade de quantificar de forma detalhada e eficaz os resíduos de construção civil. O destaque reside no desenvolvimento de um algoritmo que abrange todos os elementos construtivos do projeto, tanto na fase de construção quanto na de demolição. A automatização e a capacidade de adaptabilidade conferem eficiência e precisão, proporcionando ao algoritmo a flexibilidade necessária para se moldar a diferentes contextos na construção civil. Os resultados revelam benefícios como a economia de tempo, redução de erros manuais e personalização para requisitos específicos. Ao integrar conhecimentos teóricos, tecnologia e automação, este estudo representa um passo significativo em direção à gestão eficaz e sustentável dos resíduos da construção civil. O estudo não apenas enriquece o meio acadêmico, mas também inspira a indústria a adotar métodos inovadores, promovendo práticas mais sustentáveis e eficientes. Como sugestão para superar possíveis desafios, propõe-se a automação total do processo e a exploração de tecnologias emergentes para futuras pesquisas.

Palavras-chave: sustentabilidade; Building Information Modeling; resíduos da construção; Dynamo; automatização.

ABSTRACT

The construction industry, although essential for economic development, is responsible for significant waste production that impacts the environment and natural resources. In this context, this study proposes the integration of Building Information Modeling (BIM) using Revit software, the visual programming interface Dynamo, and the Python programming language to quantify construction waste in a detailed and effective manner. The highlight lies in the development of an algorithm that covers all construction elements, both in the construction and demolition phases. Automation and adaptability enhance efficiency and accuracy, providing the algorithm with the flexibility needed to adapt to different contexts in the construction industry. The results reveal benefits such as time savings, reduction of manual errors, and customization for specific requirements. By integrating theoretical knowledge, technology, and automation, this study represents a significant step towards effective and sustainable management of construction waste. The study not only enriches the academic environment but also inspires the industry to adopt innovative methods, promoting more sustainable and efficient practices. As a suggestion to overcome possible challenges, complete automation of the process and exploration of emerging technologies are proposed for future research.

Keywords: sustainability; Building Information Modeling; construction waste; Dynamo; automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Caracterização e classificação de resíduos segundo NBR 10.004.....	23
Figura 2 –	Síntese do conceito BIM.....	41
Figura 3 –	BIM do 3D ao 7D.....	42
Figura 4 –	Famílias do software Revit.....	49
Figura 5 –	Nós para seleção dos tipos de paredes.....	52
Figura 6 –	Nó Python Script.....	53
Figura 7 –	Framework para quantificação de resíduos na construção civil.....	56
Figura 8 –	Edifício Modelado no Software Revit para Estudo de Caso	57
Figura 9 –	Representação das Paredes, Janela, Porta e Piso no Revit	58
Figura 10 –	Projeto do edifício com perspectiva interna.....	59
Figura 11 –	Fluxograma para quantificação dos resíduos.....	61
Figura 12 –	Resíduos de construção e demolição gerados por elemento construtivo.....	66
Figura 13 –	Resíduo de construção e demolição gerados.....	66
Figura 14 –	Programação visual com a utilização de nós.....	68
Figura 15 –	Programação final dividida em grupos de construção e demolição.....	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Consumo total dos materiais de construção no Brasil em reais.....	25
Gráfico 2 –	Destinação dos resíduos da construção civil.....	26
Gráfico 3 –	Total de RCD coletado no Brasil em t/ano.....	28
Gráfico 4 –	Total de RCD coletado por região do Brasil em t/ano.....	29
Gráfico 5 –	Total de RCD coletado por região do Brasil em mt/ano.....	30
Gráfico 6 –	Massa de resíduos de construção civil gerada por classe.	33

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRECON	Associação Brasileira para Reciclagem de
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CONAMA	Conselho Nacional Do Meio Ambiente
DETR	<i>Department of the Environment, Transport and the Regions</i>
DfDR	<i>Design for Disassembly and Recycling</i>
EMLURB	Autarquia Municipal de Limpeza Urbana
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDLE	<i>Integrated Development and Learning Enviroment</i>
NBR	Norma Brasileira
PAIC	Pesquisa Anual da Indústria da Construção
PGRCC	Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RCC	Resíduo da Construção Civil
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
RSD	Resíduos Sólidos Domésticos
RSU	Resíduo Sólidos Urbanos
SNIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TI	Tecnologia de Informação
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
VPL	<i>Visual Programming Languages</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	17
1.2	OBJETIVOS.....	18
1.2.1	Objetivo Geral.....	18
1.2.2	Objetivos Específicos.....	19
1.3	QUESTÃO DE PESQUISA.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO.....	22
2.2	RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	26
2.3	CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DO RCD.....	30
2.4	REUSO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	32
2.5	QUANTIFICAÇÃO DE RCD.....	34
2.6	LEGISLAÇÃO.....	35
2.7	GESTÃO DOS RESÍDUOS.....	37
2.8	BUILDING INFORMATION MODELING.....	38
2.8.1	Utilização do BIM para análise de aspectos ambientais.....	43
2.8.2	Utilização do BIM na gestão de Resíduos da Construção Civil.....	44
2.9	FERRAMENTAS E LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS.....	46
2.9.1	Software Revit.....	47
2.9.2	Interface de Programação Visual Dynamo.....	49
2.9.2.1	Uso da Interface de programação Dynamo na construção civil.....	52
2.9.3	Linguagem de Programação Python.....	53
3	METODOLOGIA	55
3.1	ETAPA 1: DEFINIÇÃO DE PROJETO E MODELAGEM PARAMÉTRICA BIM.....	56
3.2	ETAPA 2: DESENVOLVIMENTO E PERSONALIZAÇÃO DO PROGRAMA.....	58
3.3	ETAPA 3: DOCUMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	63
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	66

5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	75

1 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 (Quapp e Holschemacher, 2024). Entretanto, é importante reconhecer que segundo dados das Nações Unidas, a construção civil foi responsável por cerca de 37% das emissões globais de CO₂ em 2021, considerando também a produção dos materiais de construção (United Nations, 2022).

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 (Loizou *et al.*, 2021). Além disso, segundo Jalaei *et al.* (2019) 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.

A quantidade de resíduos de construção gerados em diferentes países varia significativamente. Na Austrália, Europa, Hong Kong e Reino Unido, a construção contribui com um volume de resíduos sólidos que varia de 28 a 121 toneladas para cada um milhão de dólares em trabalho (Tam e Lu, 2016). Na Ucrânia, o volume anual de resíduos de construção é de quase 1 milhão de toneladas, com uma parte significativa sendo reciclada e reutilizada em todo o mundo (Bereziuk e Finyk, 2022).

Em 1996, a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 2002) estimou que cerca de 136 milhões de toneladas de detritos de construção e demolição foram gerados, com a maior parte originando-se de demolições e reformas, 48% e 44% respectivamente. No Reino Unido, anualmente, aproximadamente 70 milhões de toneladas de materiais de RCD e solo são descartados como resíduos (DETR, 2000).

O descarte inadequado de materiais provenientes de projetos de construção surge como uma das principais fontes de poluição tanto na União Europeia quanto globalmente. Estima-se que mais de 35% de todos os resíduos descartados na

União Europeia se originem da atividade de construção. Tal desperdício de materiais não apenas impacta negativamente a rentabilidade do projeto, mas também diminui a competitividade das empresas envolvidas nessas iniciativas, gerando consideráveis consequências ambientais (Arsenos e Giannadakis, 2023).

A China encontra-se como o principal gerador de resíduo de construção no mundo (Menegaki e Damigo, 2018). A indústria da construção desempenha um papel crucial na economia chinesa e de acordo com informações do Ministério da Habitação e Desenvolvimento Urbano-Rural, a produção de RCC ultrapassou 3 bilhões de toneladas em 2020 (Liu; Chen; Wang, 2022). No entanto, como resposta a esse desafio ambiental, a China lançou, em 2018, o projeto "Zero-waste Cities" (ZCs), incorporando mais de 100 cidades. O propósito desse programa é estabelecer um modelo de desenvolvimento urbano que minimize o impacto ambiental dos resíduos sólidos (Li e Li, 2024).

No Brasil, a indústria da construção civil gera uma quantidade significativa de resíduos sólidos, conhecidos como resíduos de construção civil (RCC). Esses resíduos causam grandes impactos ambientais quando não são adequadamente gerenciados. Estudos destacaram a necessidade urgente de práticas eficazes de gestão de resíduos no setor da construção, incluindo redução, reutilização e reciclagem de RCC (Gomes *et al.*, 2021).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) brasileira foi criada em 2010 para abordar essas questões, mas sua influência na gestão de resíduos tem sido limitada. Embora tenha havido uma diminuição nas taxas de geração de resíduos sólidos domésticos (RSD) após o desenvolvimento da PNRS, uma grande percentagem de resíduos ainda é descartada em aterros (Alves *et al.*, 2022). A gestão e o tratamento de RCC, resíduos sólidos de saúde e RCD no Brasil não apresentaram melhorias significativas, apesar da existência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Oliveira *et al.*, 2022).

Em estudo realizado no município brasileiro de Goiânia, os autores Borges *et al.* (2023) abordaram a questão do descarte inadequado de resíduos de construção civil, destacando a falta de conscientização ambiental, o impacto negativo no meio ambiente e a necessidade de se lidar com esses materiais de forma sustentável. Na cidade de Belém, no estado do Pará, é observado a existência de vários locais de despejo irregular de resíduo sólido urbano que impactam a qualidade de vida da

população. Entre os tipos de resíduos encontrados um dos mais presentes é o resíduo proveniente da construção (Pereira *et al.*, 2022).

No ano de 2021, foram gerados 48 milhões de toneladas de Resíduos da Construção Civil no Brasil (ABRELPE, 2022). Isso resulta do desenvolvimento econômico que a indústria da construção civil vem experimentando nos últimos anos no país. No entanto, a quantificação dos resíduos de construção é desafiadora devido à especificidade de cada projeto, pois a geração de resíduos na construção é mais do que o resultado de produtos isolados (Kern *et al.*, 2015). Assim, a quantificação das taxas de geração de resíduos no setor da construção é uma ferramenta de gestão inestimável no apoio a ações de mitigação.

Cheng e Ma (2013) também reafirmam essa problemática identificando a falta de ferramentas eficientes para estimar resíduos de construção e demolição. Segundo os autores, as ferramentas existentes não são suficientemente práticas para os contratantes, devido à necessidade de medir ou recuperar manualmente informações como o volume de material a partir de documentos disponíveis. Os autores destacam que a modelagem de informações de construção (BIM) oferece uma oportunidade para superar essa limitação.

Kern *et al.* (2015), destacam a importância crucial da quantificação das taxas de geração de resíduos da construção civil para controle e redução desses índices. Diante deste cenário, surge a necessidade de controle da geração de resíduos, realizada através de estimativas prévias usando a tecnologia BIM (Building Information Modeling).

O BIM ajuda os proprietários a visualizarem a organização espacial do edifício e entender a sequência das atividades de construção e a duração do projeto (Eastman *et al.*, 2008). Segundo Penttilä (2006) a modelagem de informação da construção é uma metodologia que visa gerenciar digitalmente o projeto essencial do edifício e os dados associados ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Essa abordagem não se limita apenas à fase de projeto, mas abrange desde a concepção inicial até a construção, operação e eventual desativação do edifício.

A conexão estratégica entre eficiência operacional e sustentabilidade na construção civil é crucial para o avanço de práticas mais responsáveis e economicamente viáveis. A incorporação de práticas sustentáveis não apenas fomenta a responsabilidade ambiental, mas também se traduz em benefícios econômicos e operacionais a longo prazo (Roque e Pierre, 2019).

A utilização de tecnologias na gestão de resíduos de construção oferece uma variedade de benefícios. Em primeiro lugar, possibilita a implementação eficiente e eficaz de estratégias de aprimoramento no contexto da Indústria 4.0, resultando em uma melhor previsibilidade de prazos e custos em projetos de construção (Prieto e Alarcón, 2023). Ao incorporar tecnologias, as empresas conseguem simplificar os processos de gestão de projetos, assegurando uma coordenação fluida desde a fase de pré-construção até as atividades do *back office*, o que proporciona transparência a todas as partes interessadas (Schamne *et al.*, 2022). De maneira abrangente, a adoção de tecnologias para a quantificação e subsequente gestão de resíduos de construção eleva a sustentabilidade, aprimora a eficiência dos projetos e reduz os impactos ambientais.

A integração de um modelo de quantificação de resíduos de construção em plataformas BIM possibilita a previsão dos tipos e quantidades de resíduos associados a cada elemento construtivo (Quiñones *et al.*, 2022; Hasan *et al.*, 2022). Os processos de detecção de conflitos baseados em BIM têm a capacidade de estimar uma quantidade considerável de resíduos gerados em um modelo de construção, resultando na redução global de resíduos (Quiñones *et al.*, 2021).

Nesse contexto, o presente trabalho aborda a utilização da metodologia 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 contribuir para o avanço do conhecimento e da prática no âmbito da arquitetura e engenharia, evidenciando como a integração de tecnologias pode resultar em projetos mais eficientes e sustentáveis. Simultaneamente, aborda as crescentes preocupações relacionadas à gestão de resíduos na indústria da construção. 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. A automatização do processo representa avanços em eficiência e precisão e a capacidade de adaptabilidade do algoritmo confere versatilidade à metodologia, tornando-a multifuncional na aplicação em diversos cenários na construção civil.

1.1 JUSTIFICATIVA

Conforme destacado por Pinto e González (2005), a construção civil é reconhecida como uma das atividades mais relevantes para o desenvolvimento econômico e social. No entanto, essa contribuição apresenta desafios, destacando-se os impactos negativos no meio social e ambiente, como evidenciado por Batista (2022), que destaca a geração desordenada de resíduos e o desperdício de insumos nas grandes obras, causando impactos imediatos em nosso ambiente.

Nesse cenário, a sustentabilidade na construção civil vai além da redução do desperdício de materiais, envolvendo a implementação de medidas que buscam não apenas diminuir custos e insumos, mas também promover o reaproveitamento e a utilização inteligente de recursos naturais em projetos de engenharia. É crucial reconhecer que a integração da sustentabilidade na construção civil deve iniciar desde a concepção do projeto, conforme ressaltado por Roque e Pierre (2019). Estudos recentes corroboram essa perspectiva, indicando que a indústria da construção enxerga a sustentabilidade como um elemento central para o crescimento, tanto em nível local quanto global (Junior, 2021).

Na atual condução da construção civil, a geração expressiva de resíduos destaca-se como uma questão relevante. O gerenciamento desses resíduos na construção civil tem como objetivo assegurar uma gestão adequada durante as atividades cotidianas de execução de obras e serviços de engenharia. Com base principalmente em estratégias que buscam prevenir a geração, minimizar, reutilizar, reciclar e dispor adequadamente dos resíduos sólidos, o foco está na redução da produção de resíduos desde a origem (Nagalli, 2014).

O desafio significativo apresentado pela considerável produção de resíduos na construção civil demanda uma compreensão aprofundada dessas questões para a implementação bem-sucedida de estratégias efetivas de redução de resíduos (Valença, 2008). Destaca-se, portanto, a importância crucial de incorporar a redução de resíduos desde o estágio inicial de planejamento do projeto até as fases de construção e demolição (Reck, 2018).

Nesse contexto, a quantificação precisa dos resíduos da construção civil torna-se essencial. Este estudo se justifica pela urgência em desenvolver uma abordagem precisa e inovadora para a quantificação de resíduos da construção civil. A integração de índices de resíduos derivados da literatura com ferramentas como o

Revit e o Dynamo representa uma oportunidade para superar as limitações dos métodos tradicionais. Ao oferecer uma solução tecnológica, este estudo propõe mudanças na maneira como a indústria da construção civil lida com seus resíduos, promovendo práticas mais sustentáveis.

Além disso, a justificativa deste estudo também reside na sua capacidade de impactar positivamente tanto o setor industrial quanto o meio ambiente. Ao possibilitar estimativas precisas de resíduos, as empresas de construção podem otimizar o uso de materiais, reduzir desperdícios e, conseqüentemente, diminuir seus custos operacionais. Ao promover uma gestão mais eficaz dos resíduos, contribui-se para a conservação dos recursos naturais e a redução do impacto ambiental, alinhando-se com os objetivos globais de sustentabilidade.

Assim, este estudo não apenas preenche uma lacuna na pesquisa científica, mas também apresenta soluções concretas para um problema real e urgente. Além de promover a eficiência econômica, este trabalho desempenha um papel crucial na preservação do nosso ambiente para as gerações futuras.

1.2 OBJETIVOS

Por meio da consecução desses objetivos, este estudo visa não apenas proporcionar uma contribuição significativa para o campo acadêmico, mas também oferecer soluções e ferramentas práticas para profissionais da indústria, estimulando a adoção de práticas mais sustentáveis e conscientes dos resíduos na construção civil.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste estudo é desenvolver uma metodologia avançada e precisa para quantificar os resíduos da construção civil por meio da integração de índices derivados da literatura, modelagem tridimensional no software Revit e automação por meio uso do Dynamo e scripts em Python. O propósito central é criar um método inovador e confiável que permita estimar de forma precisa a quantidade de resíduos gerados durante o processo de construção de edifícios.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar Revisão Bibliográfica: Conduzir uma revisão bibliográfica para a melhor compreensão da problemática da gestão de resíduos na construção civil. Esta revisão será crucial para compilar uma base sólida de conhecimento teórico sobre os índices existentes e suas variáveis associadas;
- b) Modelagem Detalhada do Edifício no Revit: Utilizar o software Revit para criar um modelo tridimensional altamente detalhado do edifício em estudo. Capturar informações minuciosas sobre os materiais utilizados, bem como as especificações dos componentes construtivos.
- c) Desenvolver código de Programação no Dynamo com Scripts em Python: Criar código de programação no Dynamo com scripts em Python para automatizar a quantificação de resíduos existente no modelo do Revit. Este código será responsável por analisar o modelo tridimensional, calcular a quantidade de resíduos gerados com base nos índices identificados e produzir resultados precisos;
- d) Documentar e Disseminar Resultados: Documentar de maneira clara e detalhada os procedimentos, resultados e conclusões do estudo. Disseminar os resultados por meio de artigos científicos, apresentações em conferências e outros meios de comunicação acadêmica, promovendo o compartilhamento do conhecimento obtido com a comunidade científica e a indústria da construção civil.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

No contexto da problemática da gestão inadequada de resíduos de construção e demolição, que persiste tanto em países desenvolvidos quanto em nações em desenvolvimento (Al-Otaibi *et al.*, 2022), esta pesquisa surge com a proposta de um algoritmo destinado à quantificação precisa desses resíduos. A lacuna identificada na gestão desses materiais impulsiona a criação desta ferramenta, visando contribuir de maneira significativa para a melhoria do cenário da construção civil.

O algoritmo desenvolvido se destaca como uma solução, oferecendo uma abordagem mais eficaz na mensuração dos resíduos da construção civil. Sua

contribuição reside não apenas na quantificação, mas também na simplificação da gestão desses materiais. Ao proporcionar uma maneira mais eficiente de lidar com os desafios relacionados à mensuração do RCD, essa inovação desempenha um papel na promoção de práticas mais sustentáveis na indústria da construção.

No escopo desta pesquisa, os resíduos examinados pertencem às Classes A, C e D, conforme estipulado pela normativa 307 do CONAMA. Estas classes representam conjuntamente 72% do total de resíduos gerados em 2019, segundo dados da SINIR. Essa proporção, correspondente a 84.013.311,34 toneladas de resíduos produzidos em território nacional, destaca a importância estratégica da gestão dessas classes na composição global dos resíduos.

O desenvolvimento deste algoritmo surge como uma resposta direta à lacuna existente na literatura que pontua a falta de exploração de padrões digitais e de informação para automatizar o processo de quantificação de resíduos de construção (Sivashanmugam *et al.*, 2023). O algoritmo desenvolvido quantifica de forma separada os resíduos gerados por elementos construtivos como: tijolos, concreto, azulejo cerâmico, gesso etc. Proporcionando uma medição precisa e incorporando a capacidade de distinguir os diferentes componentes dos resíduos, permitindo uma gestão mais refinada e adaptável.

Ao simplificar a tarefa de quantificação, a ferramenta destaca-se como uma peça importante na promoção de práticas mais sustentáveis na indústria da construção. Essa eficiência na gestão dos resíduos não apenas contribui para a preservação ambiental, mas também impacta positivamente a eficiência operacional das empresas do setor.

A escolha das Classes A, C e D para análise neste estudo não é arbitrária, mas baseada em sua representatividade no cenário nacional, tendo em vista a grande presença dessas classes nos resíduos provenientes da construção. No estado de Pernambuco, por exemplo, tais classes compuseram 88% do volume total de resíduos gerados, correspondendo a 797.850,30 toneladas (SINIR, 2019).

Dessa forma, o desenvolvimento e a aplicação efetiva deste algoritmo não apenas abrem caminho para uma gestão mais eficaz de resíduos na construção civil, mas também lançam bases sólidas para a integração de tecnologias inovadoras no enfrentamento de desafios ambientais complexos.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em 5 capítulos da seguinte forma:

- **Capítulo 1:** apresenta a introdução com as motivações e justificativas para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos do estudo;
- **Capítulo 2:** apresenta o referencial teórico usado para a base conceitual do estudo;
- **Capítulo 3:** apresenta a metodologia desenvolvida na dissertação;
- **Capítulo 4:** apresenta os resultados encontrados juntamente com uma discussão sobre o trabalho desenvolvido;
- **Capítulo 5:** apresenta a conclusão e o direcionamento para trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo expõe os principais conceitos, definições e legislações pertinentes aos resíduos, além de abordar as definições e normativas referentes ao BIM. Adicionalmente, são discutidos os softwares e a linguagem de programação empregados no desenvolvimento desta pesquisa, visando fortalecer a base teórica desta dissertação.

2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANO

A Associação Brasileira de Normas Técnicas em sua NBR 10.004 (ABNT, 2004), define os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como:

Resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, em como determinados líquidos cujas partículas tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos d'água, ou exijam para isso solução técnica e econômica inviável em face à melhor tecnologia disponível.

Esta resolução classifica os RSU quanto a sua periculosidade, classificando-o em:

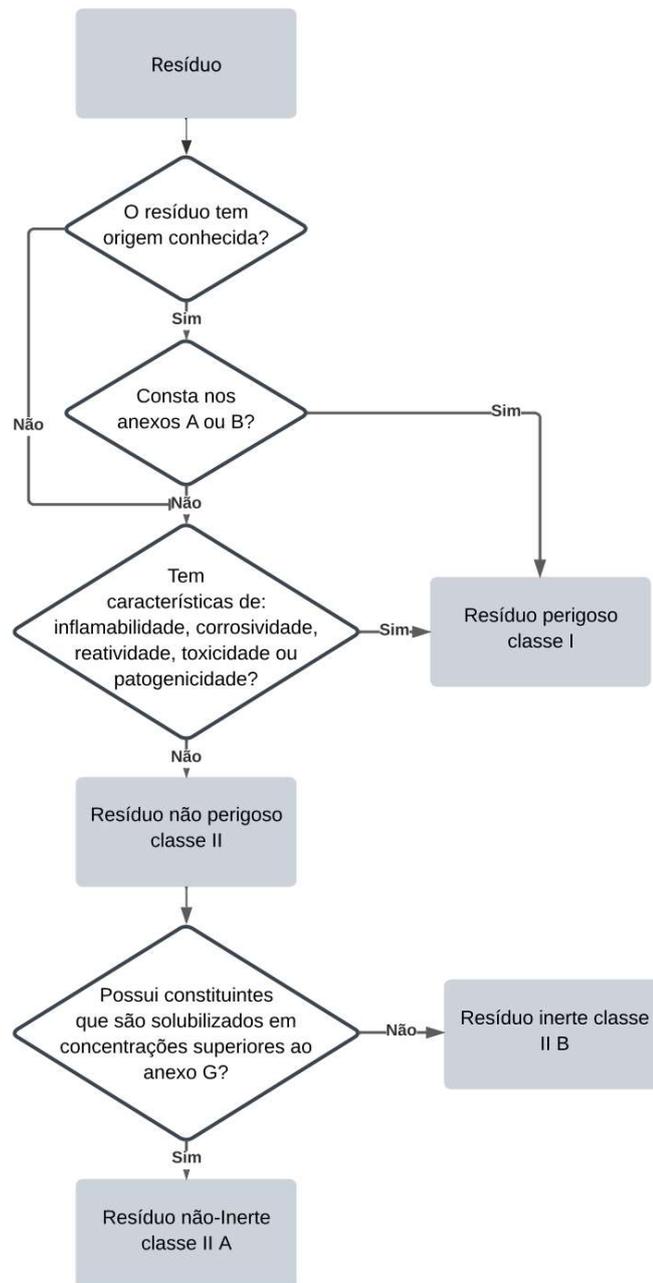
- **Resíduo classe I** – Perigosos: resíduo que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar risco à saúde pública, ou riscos ao meio ambiente.
- **Resíduo classe II** – Não Perigosos: dividindo-se em Resíduos Não Inertes (Classe II A) e Resíduos Inertes (Classe II B).

Em contrapartida a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), através da Lei nº 12.305 de 2010, classifica os resíduos sólidos quanto a periculosidade e quanto a sua origem. Segundo a referida lei a definição de RSU pode ser descrita da seguinte forma:

Material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

A ABNT NBR 10004:2004 estabelece diretrizes para a caracterização e classificação de resíduos, contribuindo para a gestão ambiental e a segurança no tratamento de resíduos. A norma proporciona um fluxograma, representado na Figura 1, que visa oferecer uma visão clara do processo de caracterização e classificação de resíduos.

Figura 1 - Caracterização e classificação de resíduos segundo NBR 10.004



Fonte: ABNT (2004)

O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, órgão vinculado ao Ministério do Meio Ambiente, define os resíduos sólidos urbanos como: “Resíduos provenientes de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana)” (SINIR, 2019).

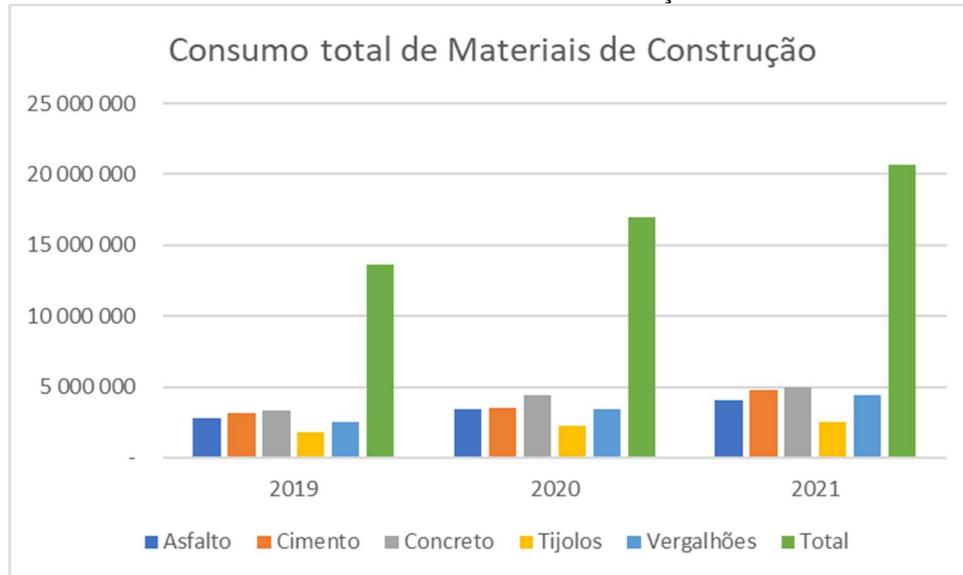
A Lei Estadual 12.008, de 1º de junho de 2001, que estabelece a Política de Resíduos Sólidos do Estado de Pernambuco, não fornece uma definição clara do termo "resíduos sólidos" e não inclui classificação ou tipologia de resíduos (PERNAMBUCO, 2001). Em contrapartida, o Decreto Estadual 23.941, datado de 11 de janeiro de 2002, o qual regulamenta essa política, oferece no artigo 2º a seguinte definição para "resíduos sólidos":

Art. 2º Resíduos sólidos são os restos das atividades humanas considerados indesejáveis, descartáveis e sem mais utilidade por seus geradores, definidos como sólidos, semi-sólidos, particulados, lodos e os líquidos não passíveis de tratamento convencional, provenientes de:

- I - atividades domiciliares, comerciais e de prestação de serviços, industriais, agrícolas, de serviços de saúde, de vias e logradouros públicos e de extração de minerais desenvolvida no espaço urbano e rural;
- II - sistemas de tratamento de águas e efluentes líquidos, cuja operação gere resíduos semilíquidos ou pastosos, enquadráveis como resíduos sólidos, a critério da Companhia Pernambucana do Meio Ambiente - CPRH (atual Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - nota da autora) (PERNAMBUCO, 2002).

Segundo dados publicados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), através da Pesquisa Anual da Indústria da Construção (PAIC), o consumo total de materiais de construção aumentou ao longo dos anos, indicando uma possível expansão ou atividade robusta no setor da construção. Cimento e concreto são os materiais mais consumidos, seguidos por tijolos e vergalhões. O asfalto também apresenta um aumento significativo. O Gráfico 1 apresenta o consumo total e dos principais tipos de materiais de construção no Brasil.

Gráfico 1 - Consumo total dos materiais de construção no Brasil em reais



Fonte: IBGE (2019; 2020; 2021)

Com base nos dados apresentados, nota-se que o setor de construção no Brasil parece estar experimentando um crescimento, refletido no aumento do consumo de diferentes materiais ao longo dos anos. O ano de 2021, em particular, destaca-se como um período de expansão significativa, sugerindo influências externas que impulsionaram a demanda por materiais de construção. O crescimento na construção está intrinsecamente ligado à produção de resíduos da construção civil, destacando a necessidade de estratégias eficazes para lidar com essa consequência inevitável.

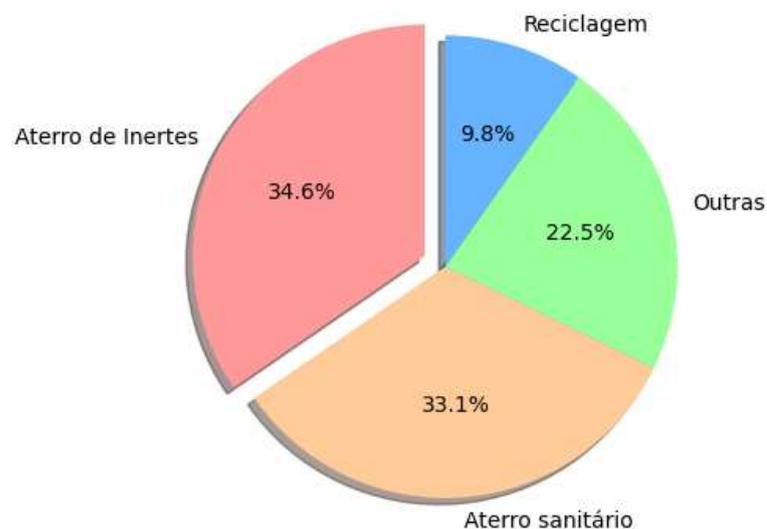
Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais em 2022, o Brasil registrou uma produção total de aproximadamente 81,8 milhões de toneladas de resíduos, equivalente a uma média de 224 mil toneladas por dia, resultando em uma média diária de 1,043 kg de resíduos por habitante. A região Sudeste liderou na geração de resíduos, contribuindo com cerca de 50% do total nacional, alcançando uma média de 450 kg por habitante ao ano (ABRELPE, 2022).

Por outro lado, a região Centro-Oeste representou pouco mais de 7% da produção total, com aproximadamente 6 milhões de toneladas ao ano, a menor entre as regiões. As variações na geração diária por habitante são evidentes, com a região Sudeste registrando a maior média do país, 1,234 kg/hab/dia, enquanto a região Sul apresentou a menor média, com 0,776 kg/hab/dia (ABRELPE, 2022).

Uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos originados é atribuída à construção civil, com menos de 10% desse montante sendo direcionado para processos de reciclagem. O gráfico 2 ilustra a destinação dos resíduos provenientes da construção civil, conforme dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2019).

O gráfico mostra que a maior parte desses resíduos é destinado a aterros inertes (34,6%), seguido de aterros sanitários (33,1%) e outras localidades de destinação (22,5%). Esses números ressaltam a necessidade de estratégias mais eficazes na gestão de resíduos da construção civil, especialmente considerando a expressiva quantidade que ainda não é direcionada para processos de reciclagem. A baixa taxa de reciclagem destaca a necessidade de implementar medidas que incentivem a redução, reutilização e reciclagem de resíduos na indústria da construção.

Gráfico 2 – Destinação dos resíduos da construção civil



Fonte: Adaptado SINIS, (2019)

2.2 RESÍDUO DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

A construção civil, atualmente, é considerada uma importante atividade para o desenvolvimento econômico de um país, tendo impacto também no desenvolvimento social, visto que a atividade proporciona uma considerável geração de empregos e

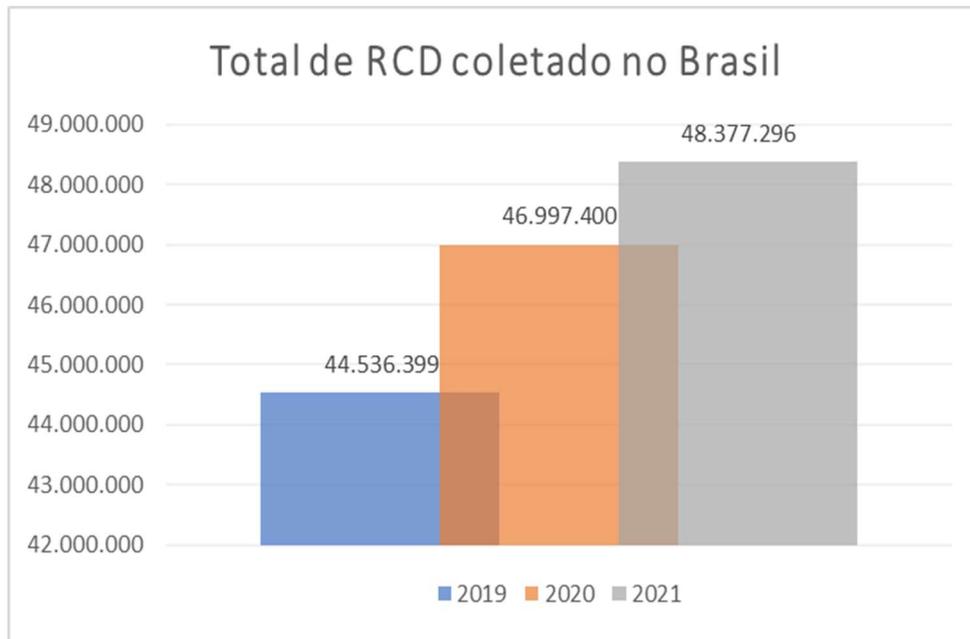
renda para a sociedade. No primeiro trimestre no Brasil, a construção civil representou 7,3% do total de empregos formais (Silva *et al.*, 2023).

Entretanto, possui forte impacto ambiental causado pelos seus atuais moldes de processo de produção, no qual se utiliza de matéria-prima não-renováveis de origem natural e com isso se torna uma grande geradora de resíduos. No Brasil, onde boa parte dos processos construtivos é manual, e sua execução se dá preferencialmente no canteiro de obras, os Resíduos de Construção e Demolição (RCD) são potencialmente degradadores do meio ambiente e causam problemas de caráter logístico e prejuízos financeiro (Nagalli, 2014).

No ano de 2021, os municípios brasileiros coletaram mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição, registrando um aumento de 2,9% em comparação com o período anterior. A quantidade média coletada por habitante foi de aproximadamente 227 kg por ano, sendo que uma parte significativa desses resíduos corresponde a detritos de construção e demolição descartados em vias e espaços públicos. A região Sudeste responde por pouco mais da metade (52%) do total de RCD coletados no Brasil. No entanto, a região que se destaca em termos de coleta per capita é a Centro-Oeste, com quase 323 kg por habitante/ano (ABRELPE, 2022).

O Gráfico 3 apresenta o quantitativo de RCD coletado no Brasil durante os anos de 2019 a 2021 em toneladas por ano. Através da análise do gráfico é possível averiguar que há uma tendência clara de aumento no quantitativo de resíduos da construção e demolição coletado no Brasil ao longo do período analisado. Esse crescimento constante pode indicar uma série de fatores, tais como o aumento da atividade construtiva, a expansão urbana ou até mesmo mudanças nas políticas de gestão de resíduos.

Gráfico 3 – Total de RCD coletado no Brasil em t/ano



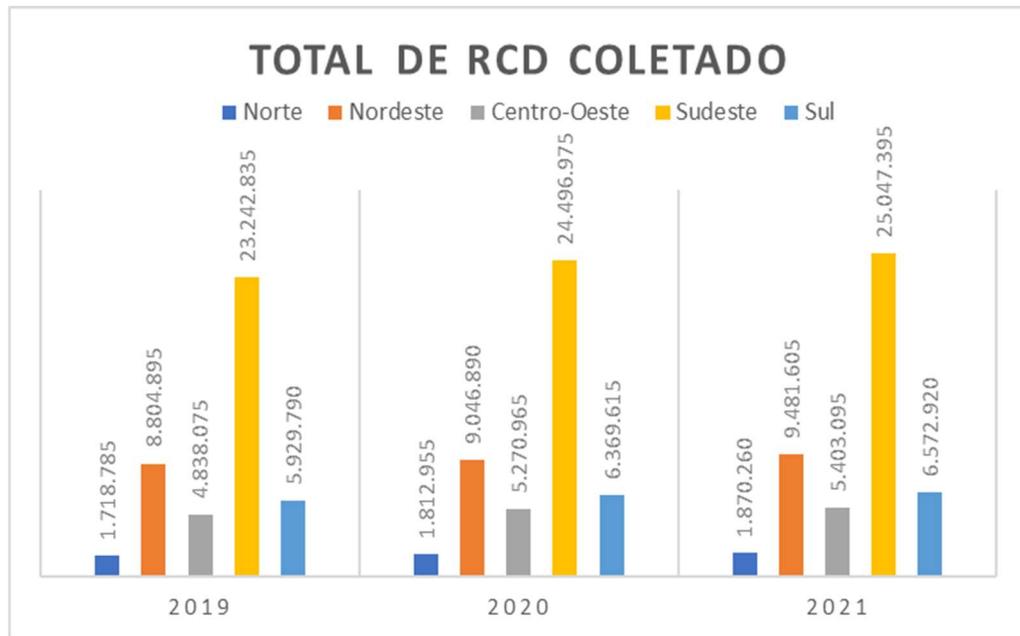
Fonte: Adaptado ABRELPE (2019, 2020, 2021)

É crucial destacar que esse incremento nos volumes de RCD pode acarretar desafios significativos para a gestão ambiental e a sustentabilidade do setor da construção. Nesse contexto, torna-se essencial implementar medidas eficazes de reciclagem e reutilização de resíduos, bem como promover práticas construtivas mais sustentáveis. A compreensão dessas tendências é fundamental para o desenvolvimento de estratégias e políticas que visem mitigar os impactos ambientais associados à geração crescente de resíduos no setor da construção.

O Gráfico 4 apresenta o total de RCD coletado nas regiões do Brasil. É evidente o aumento da geração de resíduos por anos em todas as regiões. A constatação de um aumento consistente na geração de resíduos ao longo dos anos em todas as regiões ressalta a necessidade de uma abordagem abrangente e coordenada em nível nacional para lidar com esse desafio crescente.

A observação de que as regiões Sudeste, Nordeste e Sul são as mais proeminentes em termos de geração de RCD sublinha a importância de estratégias específicas adaptadas a cada área geográfica. A região Sudeste, em particular, é a que apresenta o maior quantitativo de coleta de RCD. Isso pode ser atribuído a uma maior atividade econômica e urbanização nessa parte do país.

Gráfico 4 – Total de RCD coletado por região do Brasil em t/ano



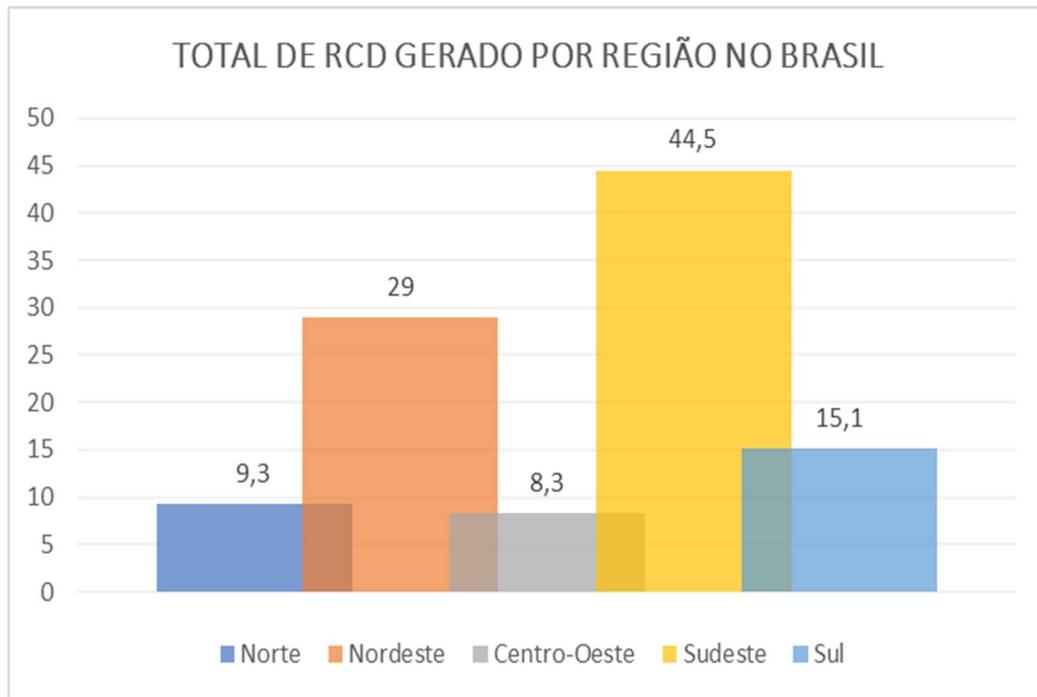
Fonte: Adaptado ABRELPE (2019, 2020, 2021)

Para enfrentar esse panorama, é crucial promover políticas regionais que abordem as causas subjacentes do aumento nos resíduos, bem como incentivem práticas sustentáveis na construção civil. Além disso, a implementação de programas de reciclagem e a conscientização pública podem desempenhar um papel fundamental na busca por soluções sustentáveis e na redução do impacto ambiental associado à geração de RCD.

É importante ressaltar que nem todo RCD gerado é coletado, conseqüentemente o quantitativo de resíduo de construção e demolição apresenta-se muito maior. A ABRECON (2020) estimou o quantitativo de resíduo gerado mostrando que o Sudeste é a região brasileira que mais gera RCD com quantitativo de 44,5 milhões de toneladas por ano, seguido do Nordeste, Sul, Norte e Centro-Oeste. São Paulo é o estado com maior geração de RCD, com 23,1 milhões de toneladas por ano, seguido de Minas Gerais, Rio de Janeiro e Bahia.

O Gráfico 5, obtido através de quantitativos fornecidos pela ABRECON (2020), apresenta os valores estimados na geração de RCD por região do Brasil em 2020. O total geral de RCD estimado totaliza 106,2 milhões de toneladas no país.

Gráfico 5 – Total de RCD coletado por região do Brasil em Mt/ano



Fonte: Adaptado ABRECON, (2020)

Após a análise dos gráficos, é possível concluir que, em 2020, menos da metade do resíduo gerado foi efetivamente coletado no país. Essa constatação evidencia uma problemática significativa na eficiência da coleta e gestão dos resíduos produzidos. A discrepância entre a quantidade gerada e a quantidade coletada sugere a necessidade de avaliação e aprimoramento nas estratégias de coleta, além da implementação de medidas mais eficazes para lidar com o aumento da geração de resíduos.

2.3 CONCEITO E CLASSIFICAÇÃO DO RCD

O resíduo da construção e demolição (RCD) apresenta características bastante distintas. Sua produção ocorre em um setor que emprega uma ampla variedade de técnicas e metodologias de produção, e cujo controle de qualidade do processo produtivo é relativamente recente (Oliveira, 2008).

Os RCDs são materiais gerados durante o processo de construção, reforma e demolição, resultantes da não conformidade com especificações, utilização inadequada de recursos e danos à infraestrutura. 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 (Skoyles e Skoyles, 1987; Yuan e Shen, 2011).

Segundo a ABRELPE (2019) os resíduos de construção e demolição, são comumente conhecidos como entulho e são constituídos por sobras de materiais provenientes dessas atividades. A quantificação precisa do RCD produzido é desafiadora, pois pode abranger uma variedade de componentes, como betão, tijolos, terra, pedras, gesso, madeira, telhas, tubulações, peças elétricas e quantidades consideráveis de algumas misturas incluindo metais, plásticos, revestimento de telhado, papel e placa de gesso. Frequentemente, esses resíduos têm potencial para serem reciclados (Gavilan e Bernold, 1994; Esin e Cosgun, 2007; ABRELPE, 2019).

Para o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, os resíduos da construção civil podem ser definido como: “Resíduos gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis.” (SINIR, 2019).

Segundo a Resolução nº 307/2002 do CONAMA em seu Artigo 2, os Resíduos da Construção Civil (RCC) são definidos como:

(...) provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras e compensados, forros, argamassa, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações, fiação elétrica etc., comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha (CONAMA, 2002).

A Resolução CONAMA nº 307/2002 categoriza os Resíduos de Construção Civil (RCC) de acordo com suas classes, determinando tratamentos específicos para cada uma delas. Alterações subsequentes, como a Resolução nº 348, de 16 de agosto de 2004, e a Resolução nº 431, de 24 de maio de 2011, revisaram a classificação estabelecida pela Resolução nº 307. Essas modificações incluíram o amianto como material perigoso (classe D) e reclassificaram o gesso de classe C para classe B, respectivamente. A resolução do CONAMA classifica os RCC em quatro categorias, conforme apresentado a seguir:

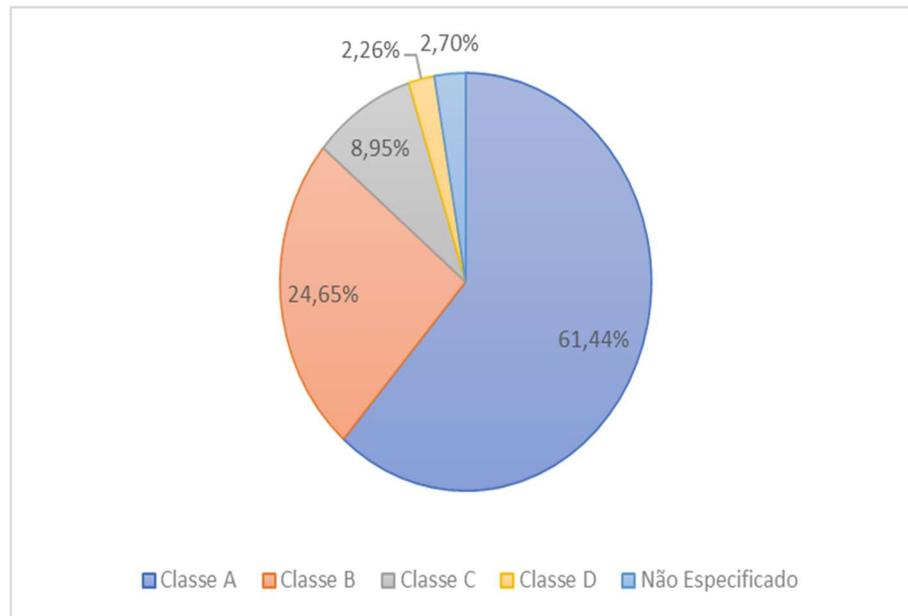
- **Classe A** - Resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como agregados, com sua origem:
 - i. Construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de obras de infraestrutura;
 - ii. Construção, demolição, reforma e reparos de edificações, tais como componentes cerâmicos, argamassa e concreto;
 - iii. Processo de Fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto, produzidos nos canteiros de obra.
- **Classe B** - Resíduos recicláveis para outras destinações, como metais, vidros e plásticos;
- **Classe C** - Resíduos em que não foram desenvolvidos tecnologias ou aplicações econômicas viáveis que permitam a sua reciclagem;
- **Classe D** - Resíduos perigosos oriundos de processos de construção, que foram contaminados ou que prejudiciais à saúde, como solventes, óleos, materiais que contenham amianto.

A categorização dos resíduos da construção civil enfatiza a necessidade de um tratamento específico para cada classe de resíduos, abrangendo procedimentos como segregação na fonte, acondicionamento, coleta, transporte e disposição final apropriada.

A Lei Municipal 17.072 do Recife, datada de 03 de janeiro de 2005, estabelece as diretrizes e critérios para o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil na cidade do Recife. De acordo com essa legislação, os Resíduos da Construção Civil (RCC) são definidos como aqueles “provenientes das atividades de construções, reformas, reparos, demolições, escavações, terraplenagem e atividades correlatas”.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos, em 2019 foram gerados mais de 110 milhões de toneladas de RCC, sendo a Classe A sua maior parte, 61%. Porém pouco mais de 8 milhões tem a destinação adequada. O mesmo relatório ainda aponta que apenas 10% foram destinados a reciclagem (SINIR, 2019). O Gráfico 6 apresenta a massa de resíduos de construção civil gerada por classe no ano de 2019.

Gráfico 6 – Massa de resíduos de construção civil gerada por classe



Fonte: Adaptado SINIR (2019)

O gráfico evidencia que, em 2019, os resíduos mais comuns foram da classe A, representando 61,44% do total. Essa categoria inclui elementos como tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, argamassa, concreto, entre outros. Em seguida, a classe B contribuiu com 24,65%, abrangendo materiais como plásticos, papel/papelão, metais, vidros e madeiras. A classe C, composta principalmente por produtos de gesso, representou 8,95% do total de resíduos gerados. E por fim, a classe D com 2,26% de resíduos gerados, dos quais constam resíduos oriundos do processo de construção, tais como: tintas, solventes, óleos, entre outros.

2.4 REUSO DE MATERIAIS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A reutilização de materiais na construção civil é crucial para atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável e reduzir o impacto ambiental da indústria da construção (Bohne e Lohne, 2023). Alguns elementos empregados na construção civil são menos prevalentes nos resíduos gerados nesse setor devido à sua capacidade de serem reaproveitados. Dentre esses materiais, destacam-se: madeira, água e aço.

Estudos têm explorado a reutilização desses materiais. Psilovikos (2023) menciona que as estruturas de madeira podem contribuir para a redução de

resíduos e reutilização por meio do conceito cascata, promovendo a utilização repetida de materiais. O autor pontua que técnicas bem-sucedidas de gestão de resíduos, como o Design para Desmontagem e Reutilização (DfDR), estão alinhadas com os princípios da economia circular e podem ser implementadas em edifícios de madeira.

A crescente valorização da reutilização do aço na construção civil destaca-se pelo seu potencial em economia de carbono incorporada. Nesse contexto, a indústria empenha-se em explorar maneiras de desenvolver e compartilhar boas práticas nesse domínio (Howarth, 2023). A reutilização de componentes de aço de edifícios antigos em novos projetos de construção é uma oportunidade significativa, mas a indústria precisa de estruturas e métodos apropriados para recuperar e reutilizar facilmente esses componentes (Gorgolewski *et al.*, 2008).

No entanto, apesar do interesse, diversas barreiras à reutilização do aço se apresentam, abrangendo questões como custo, demanda e tempo. Superar essas barreiras exige uma abordagem coordenada em toda a cadeia de construção, englobando melhorias nos procedimentos de desconstrução, a implementação de uma plataforma que alinhe oferta e procura, a padronização de elementos de aço reutilizáveis e o estabelecimento de políticas governamentais (Anastasiades *et al.*, 2022).

O reúso de água na construção civil é uma solução viável para conservar os recursos hídricos e melhorar as práticas de gestão da água nos canteiros de obras. O uso de águas residuais tratadas, como águas recuperadas, pode ser benéfico para vários fins, incluindo irrigação, processos industriais e reposição de águas subterrâneas (Pandey e Jagannath, 2022).

Estudos demonstram que a utilização combinada de água potável e águas residuais tratadas na produção de concreto resulta em economias significativas de água, sem comprometer a qualidade do material (Duarte *et al.*, 2019). Adicionalmente, a implementação de técnicas de captação de águas pluviais e reutilização de águas servidas no projeto de edificações pode ampliar ainda mais os benefícios para a conservação e sustentabilidade hídrica, conforme apontado por Rahman *et al.* (2019). No geral, o reúso da água reflete não apenas eficiência, mas também um compromisso ativo com práticas construtivas mais sustentáveis.

Por outro lado, alguns elementos construtivos geram resíduos para os quais ainda não existem tecnologias economicamente viáveis que permitam sua

reciclagem ou recuperação, como é o caso dos produtos derivados de gesso, classificados como Classe C segundo a resolução nº 307 do CONAMA. O foco deste estudo centrou-se na quantificação dos resíduos provenientes de elementos construtivos que são pouco reaproveitados ou ainda não contam com ampla reutilização, incluindo resíduos de concreto, gesso, tijolo, azulejo, entre outros.

2.5 QUANTIFICAÇÃO DE RCD

Lage *et al.* (2010) através da aplicação de modelo de cálculo desenvolvido pelos autores conseguiram quantificar a geração de resíduos na Galícia. Os autores chegaram à conclusão de que projetos de construção novos têm previsão de gerar 80 kg de resíduos por metro quadrado e as atividades de demolição têm estimativa de gerar 1.350 kg de resíduos por metro quadrado demolido.

Spišáková *et al.* (2022) apresentam uma metodologia para calcular a taxa de geração de resíduos de construção e demolição com base em coeficiente de resíduo gerado e área de construção. Os autores pontuam que a metodologia proposta para quantificação de resíduos em projetos de construção, utilizada na fase de projeto de construção, preenche uma lacuna na literatura em relação à quantificação de resíduos de construção e demolição.

Segundo Oliveira (2008), os RCDs por possuem características distintas, variando em função do local da sua geração, da tecnologia aplicada na construção, no estágio e na idade da obra que o originou, faz com que os resíduos gerados no Brasil possuam variações que interferem diretamente no quantitativo gerado.

Além disso, não há uma uniformidade no país referente a metodologia utilizada para a quantificação de resíduos, fazendo com que cada região possua uma metodologia específica de quantificação, promovendo assim uma variação alta nos percentuais de resíduos gerados em cada estado brasileiro.

Costa *et al.* (2012) apresentam dados referentes a estudos estimativos efetuados por diversos autores sobre a produção de RCC em diferentes localidades. A tabela a seguir apresenta a taxa de geração de resíduo da construção civil citadas pelo autor.

Tabela 1 – Taxa de geração de resíduos em kg/m²

Taxa de Geração (kg/m ²)	Fonte
150,00	Pinto (1999)
100 - 300	Monteiro <i>et al.</i> (2001)
69,28 - 86,41	Carneiro (2005)
49,58	Andrade <i>et al.</i> (2001)
104,49 - 115,82	Careli (2008)
107,60 - 307,60	Solís-Guzman <i>et al.</i> (2009)
89,68	Souza (2005)
137,02	Marques Neto e Schalch (2010)
93,89	Costa <i>et al.</i> (2012)

Fonte: Adaptado de Costa *et al.* (2012)

Na cidade de Recife, o órgão público responsável pela orientação, fiscalização de empresas, a EMLURB (Empresa de Manutenção de Limpeza Urbana) utiliza os seguintes parâmetros para quantificação de resíduos para índice de Construção (Equação 1), Demolição (Equação 2) e Escavação (Equação 3):

$$\text{Construção} = \frac{\text{Área a ser construída} \times 75 \text{ Kg/m}^2}{\text{N}^\circ \text{ de dias efetivamente utilizados para a construção}} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\text{Demolição} = \frac{\text{Área a ser demolida} \times 800 \text{ Kg/m}^2}{\text{N}^\circ \text{ de dias efetivamente utilizados para demolir}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\text{Escavação} = \frac{\text{Área a ser escavada} \times 1.400 \text{ Kg/m}^3 \times \text{Altura da escavação}}{\text{N}^\circ \text{ de dias efetivamente utilizados para escavar}} \quad (\text{Equação 3})$$

Ao analisar as taxas, é evidente que há divergências entre elas. Em uma revisão de 57 artigos e uma comparação de métodos de quantificação, Wu *et al.* (2014) concluíram que nenhuma metodologia independente de quantificação é capaz de abranger todos os cenários possíveis; a escolha da metodologia adequada deve ser feita conforme os objetivos reais de quantificação e as condições realistas.

2.5 LEGISLAÇÃO

No âmbito governamental, visando mitigar os impactos ambientais, foi estabelecido um regulamento específico antes mesmo da implementação de uma política pública abrangente para a gestão de resíduos no país: a Resolução

CONAMA n.º 307 (BRASIL, 2002). Esse documento definiu diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos Resíduos da Construção Civil (BRASIL, 2002a).

Posteriormente, essa política foi formalizada e sancionada por meio da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Essa legislação explicitamente estipula que os geradores são responsáveis pelos seus resíduos, incluindo aqueles provenientes das atividades relacionadas à construção (BRASIL, 2010).

Desde a promulgação da Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos da Construção Civil, os municípios brasileiros foram incentivados a implementar Planos de Gerenciamento de Resíduos (PGR) visando mitigar os impactos ambientais causados pelos resíduos. No entanto, apesar das diretrizes da Resolução nº 307/2002 do CONAMA e da Lei nº 12.305/2010, a execução dos planos de gerenciamento encontra resistências.

Entre as dificuldades destacadas por Marques Neto (2009), estão a escassez de recursos financeiros e a ausência de profissionais qualificados capazes de fiscalizar e identificar as fontes geradoras.

A Resolução Nº 307/2003 do Conselho Nacional do Meio Ambiente impõe a obrigação aos geradores de realizar a segregação dos resíduos, promover sua reutilização e reciclagem, além de assegurar sua destinação final adequada. Em Recife/PE, posteriormente a essa medida, foi aprovada a Legislação Municipal (Lei Nº 17.072/2005, de 03 de janeiro de 2005), que estabelece diretrizes e critérios para o programa de gerenciamento de resíduos da construção civil no município.

No ano de 2004, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou normas específicas sobre Resíduos de Construção Civil (RCC), elaboradas por Comitês Técnicos. O Quadro 1 apresenta as NBR que tratam desse tema.

Quadro 1 – Normas Técnicas sobre RCC

Norma	Título	Objetivo
NBR 15112	Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação	Implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos
NBR 15113	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes de projeto, implantação e operação	Implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes.
NBR 15114	Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes de projeto, implantação e operação	Implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A
NBR 15115	Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil – Execução de camada de pavimento – Procedimentos.	Execução de camada de reforço do subleito, sub-base e base de pavimentos, bem como camada de revestimento primário, com agregado reciclado de resíduo sólido da construção civil, denominado agregado reciclado, em obras de pavimentação.
NBR 15116	Agregado reciclado de resíduos sólidos da construção civil – Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural – Requisitos.	Emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil.

Fonte: ABNT (2004)

2.6 GESTÃO DOS RESÍDUOS

A Resolução CONAMA nº 307/02 (CONAMA, 2002) define gestão de resíduos como:

sistema de gestão que visa reduzir, reutilizar ou reciclar resíduos, incluindo planejamento, responsabilidades, práticas, procedimentos e recursos para desenvolver e implementar as ações necessárias ao cumprimento das etapas previstas em programas e planos.

A Lei 12.305 de 2 de agosto de 2010 pontua aspectos importantes sobre a gestão de resíduos, de acordo com a lei:

Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Segundo Silva *et al.* (2015), a gestão de resíduos sólidos está inserida nas atividades de saneamento básico, pois existe uma correlação entre este, a saúde e o meio ambiente. Portanto, as ações de gerenciamento de resíduos da construção

civil devem ser interligadas para contribuir com a melhoria da qualidade ambiental proporcionada à população.

É importante ressaltar que o volume, a composição e a qualidade dos resíduos de construção e demolição variam de acordo com as regiões e os países (Dahlbo *et al.*, 2015). Conforme observado por Scheer *et al.* (2007), a geração de resíduos na construção está ligada a métodos de construção inapropriados, à falta de capacitação adequada dos trabalhadores e à insuficiente atenção dedicada à supervisão e gestão do projeto.

A quantificação da geração de resíduos é crucial para controlar o desperdício e estabelecer uma base para a redução. Contudo, essa tarefa apresenta desafios devido às diversas características de materiais, sistemas construtivos empregados em distintos projetos de construção (Formoso *et al.*, 2002).

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 (Yuan *et al.*, 2011). Nesse contexto, a utilização da metodologia BIM (Building Information Modeling) 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 (Gupta; Jha; Vyas, 2022).

2.7 BUILDING INFORMATION MODELING

O sistema BIM existe desde fins da década de 80, quando Jerry Laiserin – um arquiteto da Universidade de Princeton (EUA), especialista em Tecnologia da Informação (TI) –, deu origem à IAI (International Alliance for Interoperability, atual BuildingSMART), em razão de suas pesquisas na área de TI e interoperabilidade.

Em 1987, foi lançado na Hungria o software Archicad, da Graphisoft. O primeiro software com ferramentas de BIM. A partir de então, aconteceram muitas iniciativas individuais de arquitetos americanos, europeus e asiáticos. Em 1992, Frank Gehry, montou uma equipe especializada em suporte tecnológico para suprir

as necessidades de suas equipes de projeto. Em 2002, esta equipe tornou-se uma empresa independente chamada Gehry Technologies e presta serviços de modelagens em BIM tanto para atender ao próprio escritório de Frank Gehry como para atender ao mercado.

Building Information Modeling (BIM) representa o conceito de integração e modelagem das informações de um projeto num modelo virtual tridimensional do edifício. Um dos vetores de desenvolvimento nas ferramentas BIM é a introdução da dimensão tempo nos seus modelos (Magalhães; Mello; Bandeira, 2015).

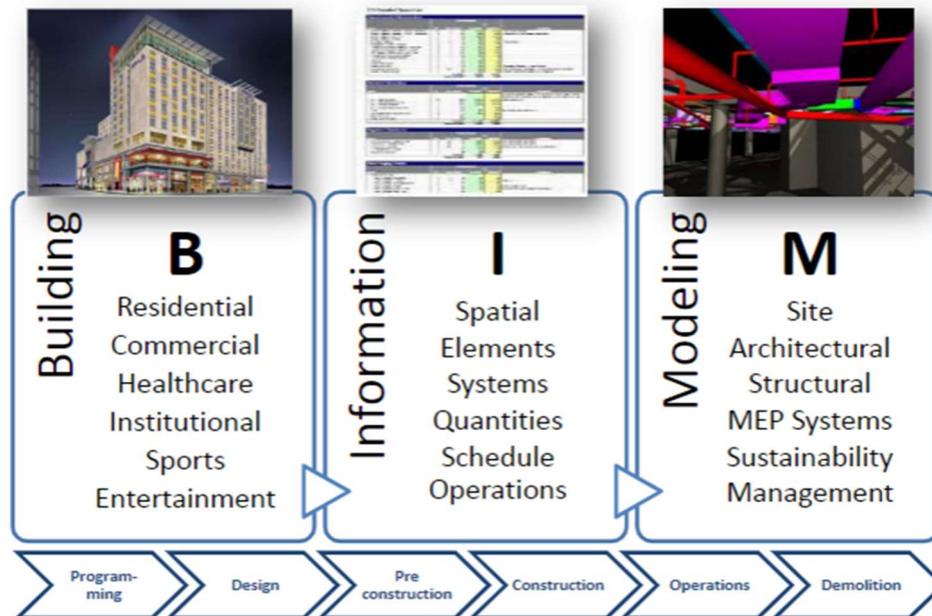
Segundo Eastman *et al.* (2014), o BIM é a construção de um modelo virtual preciso de uma edificação, contendo dados relevantes e necessários para dar suporte à construção e incorporando funções necessárias para o ciclo de vida de uma edificação. Um modelo BIM pode ser usado para diversos propósitos, tais como: visualização e renderização 3D; desenhos para fabricação; análise dos requisitos legais do projeto; estimativa de custos; sequenciamento da construção; detecção de interferência; análises de simulações e conflito; e gestão e operação das edificações (Azhar *et al.*, 2008).

Conforme Catelani (2016), BIM é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que, combinados, são capazes de gerenciar, coordenar e planejar o processo de projeto de uma edificação ou instalação, além de ser capaz de realizar ensaios prévios de desempenho, gerenciar e armazenar informações e dados, durante todo o ciclo de vida da obra, desde a concepção e a conceituação da ideia, desenvolvimento do projeto, a construção, e após a obra pronta, na sua fase de utilização

O BIM sistematiza assim, um conjunto de políticas, processos e tecnologias interrelacionados, e proporciona uma metodologia para gerir o projeto do edifício e os seus dados, num formato digital, ao longo da vida do edifício.(Lino, Azenha e Lourenço, 2012). O modelo eletrônico torna-se então um banco de dados que permite a simulação real de um protótipo da construção verdadeira (Netto, 2016).

Para Azhar *et al.* (2012) ao contrário do processo tradicional de projeto, o processo BIM demanda a participação de várias áreas e profissionais desde as fases iniciais do projeto. Os autores descrevem um modelo de informações de construção como uma simulação de projeto que inclui os modelos tridimensionais dos componentes do projeto, conectados a todas as informações essenciais relacionadas a construção, informação e modelo, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 - Síntese do conceito BIM



Fonte: Azhar *et al.* (2012)

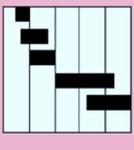
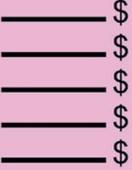
O modelo BIM criado resulta num recurso de conhecimento confiável compartilhado que apoia a tomada de decisões desde os primeiros estágios conceituais do projeto até ao final o seu período de vida útil (Tarrafa, 2012). Quanto ao controle de obra, Tserng, Ho e Jan (2014) afirmam que o BIM pode favorecer na atualização periódica do cronograma de obra, que é essencial para a eficiência do monitoramento e controle das etapas de construção.

No Brasil, o decreto nº 10.306 de 2020, definiu o BIM como sendo um conjunto de tecnologias e processos integrados que possibilita a criação, utilização e atualização de modelos digitais de uma construção de forma colaborativa. Esses modelos têm como objetivo atender a todas as necessidades dos participantes envolvidos no empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção permite a criação, a utilização e a atualização de modelos digitais de uma construção, de modo colaborativo, que sirva a todos os participantes do empreendimento, em qualquer etapa do ciclo de vida da construção (BRASIL, 2020).

De acordo com revisão de literatura conduzida por Charef, Alaka e Emmitt (2018), há consenso e divergências entre profissionais da construção civil e acadêmicos ao definirem as dimensões do BIM. Os resultados revelaram um claro alinhamento quanto à interpretação das 4ª e 5ª dimensões do BIM. Tanto acadêmicos quanto profissionais concordaram que, no contexto do BIM, a 4D está

associada ao tempo (planejamento ou programação), enquanto a 5D está relacionada aos custos. Em relação às demais dimensões, os profissionais que efetivamente utilizam essas extensões frequentemente fazem referência à Sustentabilidade para a 6D (86%) e a atividades de Manutenção para a 7D (85%).

Figura 3 - BIM do 3D ao 7D

3D (Modelo 3D)	4D (Planejamento)	5D (Custo)	6D (Sustentabilidade)	7D (Manutenção)
				

Fonte: adaptado Charef, Alaka e Emmitt (2018)

O uso de tecnologias BIM pode trazer inúmeros ganhos, tanto para o processo de trabalho como para o produto em si (Eastman *et al.*, 2014). A Modelagem de Informação da Construção representa uma abordagem inovadora para a gestão integral de informações, incorporando políticas, processos e tecnologia para desenvolver metodologias no gerenciamento da produção e da informação ao longo do ciclo de vida da edificação (Penttilä, 2006).

O Building Information Modeling, ao digitalizar as informações físicas e funcionais dos projetos de construção, é essencialmente um banco de dados compartilhado capaz de facilitar todo o processo de gestão do ciclo de vida da construção (Wang, Pan e Luo, 2019). O BIM tornou possível o gerenciamento digital abrangente de todas as etapas das edificações, incluindo as fases de projeto, construção, operação, gerenciamento e manutenção de projetos de construção (Doubouya *et al.*, 2017).

Podemos, então, concluir que o BIM não se trata de um software específico; é um conceito mais amplo que engloba tecnologias em desenvolvimento, como softwares, plug-ins e hardwares. Também não se trata apenas de um modelo em 3D, esse modelo deve ser formado por objetos, e esses objetos devem possuir informações, ou seja, devem suportar alterações, e tais ajustes devem ser incorporados automaticamente nas vistas 2D (Eastman *et al.*, 2008).

A Modelagem da Informação para Construção (BIM) desempenha um papel fundamental ao permitir a integração do usuário no planejamento do projeto, oferecendo uma ferramenta eficaz para o controle de diversos fatores de sustentabilidade. Isso inclui a gestão da eficiência energética, o uso racional da água e da luz, além da análise das emissões de carbono associadas às obras, entre outros aspectos (Muller *et al.*, 2019).

Nesse contexto, destaca-se o conceito de Green BIM, que ganha relevância na construção de cidades com baixo teor de carbono como resposta à degradação ambiental (Kim, 2018). Green BIM, conforme definido por Krygiel and Nies (2008), representa a integração de um projeto sustentável baseado em BIM e práticas de construção verde. Essa abordagem visa alcançar objetivos sustentáveis ao longo do ciclo de vida de um projeto. Assim, a adoção do BIM, aliada ao enfoque verde, contribui para uma abordagem holística na construção, promovendo a sustentabilidade em diversas dimensões.

Estudos, como o realizado por Cândido *et al.* (2022), destacam como a tecnologia BIM facilita a implementação de práticas sustentáveis na construção civil. Esses casos ilustram como o uso do BIM não apenas aprimora a eficiência operacional, mas também viabiliza a incorporação de estratégias sustentáveis desde as fases iniciais do projeto até a execução e manutenção. A integração de análises de desempenho ambiental e a adoção de decisões informadas são apontadas como aspectos-chave nesses estudos.

O BIM atua na prevenção de erros, duplicações e antecipação a mudanças imprevisíveis no modelo, melhorando a qualidade e precisão do projeto e construção. Essa abordagem envolve refinamentos na simulação, análise, coordenação e comunicação colaborativa, facilitando a avaliação de informações ao longo do ciclo de vida (Liu *et al.*, 2015).

Além disso, a validação do projeto baseada em BIM, incluindo a identificação de conflitos e a revisão do projeto, tem o potencial de reduzir de maneira significativa a taxa de equívocos de projeto e retrabalho, resultando em uma estimativa de 15% de diminuição na geração de resíduos de construção no local (Won; Cheng; Lee, 2016).

A utilização do BIM na construção civil para beinfetoria de aspectos ambientais tem aumentado. Diversos autores utilizaram a metodologia BIM na implementação, operação, planejamento e construção de edifícios verdes. No tópico

seguinte constam pesquisas que utilizaram a metodologia BIM para melhoria de questões ambientais.

2.7.1 Utilização do BIM para análise de aspectos ambientais

No estudo conduzido por Singh and Sadhu (2019), análises energéticas foram realizadas para avaliar a sustentabilidade. Utilizando um modelo virtual em BIM e lógica fuzzy, a avaliação de energia multicomponente foi aplicada a uma casa durante a fase de projeto conceitual, visando otimizar o consumo de energia. Os resultados apontaram que a utilização do BIM na avaliação do desempenho energético é crucial para diversas partes interessadas, pois auxilia na estimativa do uso de energia durante a fase de projeto, permitindo a otimização dos parâmetros de projeto.

Em um estudo de caso, Mazzoli *et al.* (2021) empregaram a metodologia BIM como uma ferramenta para gerenciar o processo de reforma de um patrimônio existente. Essa abordagem permitiu revisões regulares com diversos profissionais envolvidos no processo de projeto e construção. Os autores destacaram que a abordagem sustentável proposta resultou em melhorias no processo construtivo, reduzindo desperdício e tempo de construção.

Guo *et al.* (2021) realizaram uma pesquisa científica analisando o desempenho de construções verdes, explorando a importância da avaliação e otimização de edifícios verdes. Por meio de simulações de consumo de energia e iluminação natural em uma escola na China, os pesquisadores demonstraram a eficácia da abordagem de avaliação com o auxílio do BIM. Essa metodologia pode incorporar sistemas de classificação para a avaliação de edifícios verdes, fornecendo medidas para aprimorar o desempenho do edifício, contribuindo assim para o desenvolvimento de práticas mais eficazes na construção sustentável.

Quanto à emissão de carbono incorporado na construção civil, Bouhmod *et al.* (2022) destacam que materiais como concreto, tijolos, aço, telhas cerâmicas e tintas respondem por 90% das emissões. Abouhamad e Abu-Hamd (2021), utilizando o BIM, desenvolveram um framework para avaliar os impactos ambientais incorporados nos sistemas de construção de edifícios ao longo de seu ciclo de vida, quantificando a porcentagem de carbono incorporado em diversos materiais.

Por fim, a gestão eficaz de resíduos desempenha um papel crucial no desempenho ambiental de projetos de construção (Mesaros; Spisakova; Mandicak, 2018). A abordagem adequada aos resíduos de construção e demolição deve ser incorporada desde as fases iniciais do projeto. O uso do BIM surge como um sistema para alcançar esse objetivo, como será explorado na próxima seção, que aborda estudos que aplicaram o BIM na gestão de resíduos da construção civil.

2.7.2 Utilização do BIM na gestão de Resíduos da Construção Civil

Algumas pesquisas estudaram a utilização do BIM para a gestão dos resíduos da construção civil. Cheng e Ma (2013) desenvolveram um sistema de estimativa de resíduos aproveitando a tecnologia BIM, utilizando a API (*Application Programming Interface*) na plataforma Autodesk Revit. O sistema permite uma estimativa automatizada, rápida e precisa dos resíduos, não apenas antes da demolição ou reforma, mas também para calcular taxas de disposição de resíduos e requisitos de caminhões de coleta. O artigo apresenta as funções e recursos do sistema, com um exemplo ilustrativo demonstrando o potencial do uso do sistema baseado em BIM para o gerenciamento de resíduos.

Pellegrini *et al.* (2020) 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.

Hu *et al.* (2022) utilizou a tecnologia Image-to-BIM para estabelecer um fluxo de trabalho autônomo para demolição e gestão de resíduos, a metodologia foi aplicada em um edifício de alvenaria em Chongqing, na China. Os resultados da pesquisa incluem: desenvolvimento de um sistema de coleta de dados que utiliza veículo aéreo não tripulado (UAV) e câmera portátil para obtenção automática de imagens do edifício; utilização de método de extração de dados baseado em nuvem de pontos para construir modelo BIM; implementação de estratégias de demolição com base no BIM; uso do BIM para criar inventário de edifícios, auxiliando na avaliação e na quantificação dos resíduos. O estudo apresentou-se eficaz, mas

destacou limitações na aquisição de imagens internas, identificação precisa de materiais etc.

Honic *et al.* (2023) utilizou BIM e Geographic Information System (GIS) para avaliar as intensidades de materiais em edifícios existentes. O método proposto pelos autores pode ser usado para planejar cenários de fim de vida útil de edifícios. O framework proposto pode auxiliar cidades na avaliação de fluxos de materiais, planejamento sustentável de fim de vida e estratégias de economia circular, aumentando taxas de reutilização e reciclagem.

Nie *et al.* (2023) realizou estudo que explora a transição dos Emirados Árabes Unidos para a Economia Circular por meio de práticas de gestão de resíduos de construção e demolição. Para isso foi realizado estudo de caso, examinando três projetos influentes em Dubai que adotaram estratégias para gestão de resíduos. O estudo identificou a aplicação de práticas como BIM como contribuidor para a redução de resíduos, melhorando a eficiência da construção e reduzindo o desperdício de materiais.

Mesaros, Spisakova e Mandick (2018) em estudo realizado destaca o uso do BIM na gestão sustentável de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) durante a fase de projeto. Os autores pontuam que o BIM, possibilita determinar a quantidade de resíduos na fase de projeto, permitindo ajustes nas abordagens de gestão com base em informações precisas. Isso resulta em melhor desempenho ambiental na sustentabilidade do projeto de construções.

Jalaei *et al.* (2019) propõe uma metodologia para quantificar o desperdício total produzido ao longo do ciclo de vida de um edifício, examinando as principais causas do desperdício e propondo soluções para reduzi-lo. Além disso, é desenvolvido um aplicativo dentro da plataforma BIM para calcular o desperdício produzido em cada etapa do ciclo de vida do edifício, a fim de ser utilizado pela ferramenta de ACV. O artigo apresenta um estudo de caso de um projeto de construção real para ilustrar a aplicação da metodologia proposta. Os autores concluem que o uso do BIM tem papel crucial na gestão e otimização de resíduos de construção.

Quiñones *et al.* (2022) desenvolveram o WE-BIM Add-in, uma aplicação de software integrada ao BIM, para quantificar resíduos de construção durante a fase de projeto. Essa ferramenta visa conscientizar os projetistas sobre os resíduos esperados, promover alternativas de prevenção e auxiliar na implementação de medidas de minimização ao longo do ciclo de vida do edifício, ressaltando sua

importância como uma ferramenta eficaz para a tomada de decisões conscientes em relação à gestão de resíduos.

Heigermoser *et al.* (2019) integraram o *Last Planner System* com a metodologia BIM no gerenciamento de construção para melhorar a produtividade e reduzir o desperdício na indústria da construção. A combinação de práticas de Construção Enxuta com o BIM foi destacada como capaz de criar um ambiente colaborativo que minimiza desperdícios tangíveis e intangíveis em um projeto de construção, promovendo um uso informado do BIM e uma geração de valor mais eficiente. Guerra *et al.* (2019) desenvolveram algoritmos baseados em BIM para estimar resíduos de concreto e drywall na construção civil, concluindo que a utilização do BIM para a estimativa de resíduos permite uma gestão mais eficiente, viabilizando a adoção de práticas sustentáveis. Akinade e Oyedele (2019) contribuíram para as práticas de gestão de resíduos de construção, desenvolvendo uma ferramenta computacional baseada em BIM para análise e relatório de resíduos na cadeia de suprimentos da construção, utilizando um sistema de inferência neuro-fuzzy adaptativo integrado à plataforma Autodesk Revit BIM.

Percebe-se, através das pesquisas mencionadas, o grande potencial que o BIM possui para contribuir na eficiência e qualidade do projeto, desempenhando um papel crucial na gestão sustentável de resíduos. As pesquisas revisadas evidenciam avanços significativos, desde estimativas automatizadas até estratégias avançadas de demolição, destacando a contribuição do BIM para a redução de resíduos e práticas mais sustentáveis na indústria da construção.

2.9 FERRAMENTAS E LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO UTILIZADAS

O BIM é reconhecido como uma ferramenta eficaz para embasar decisões informadas desde as fases iniciais do projeto. Ressalta-se que o BIM representa apenas uma dentre várias ferramentas capazes de empregar a metodologia proposta para a quantificação de Resíduo de Construção e Demolição (RCD), evidenciando seu papel fundamental na digitalização da construção e no aumento da produtividade em termos de gestão de resíduos (Spišáková *et al.*, 2022).

A aplicação bem-sucedida da metodologia BIM demanda a utilização de ferramentas que estejam em sintonia com seus princípios fundamentais. No escopo

deste estudo, foram escolhidas o Revit e Dynamo com intuito de otimização do processo, visando alcançar resultados mais eficientes na gestão de resíduos e na aplicação efetiva da metodologia proposta.

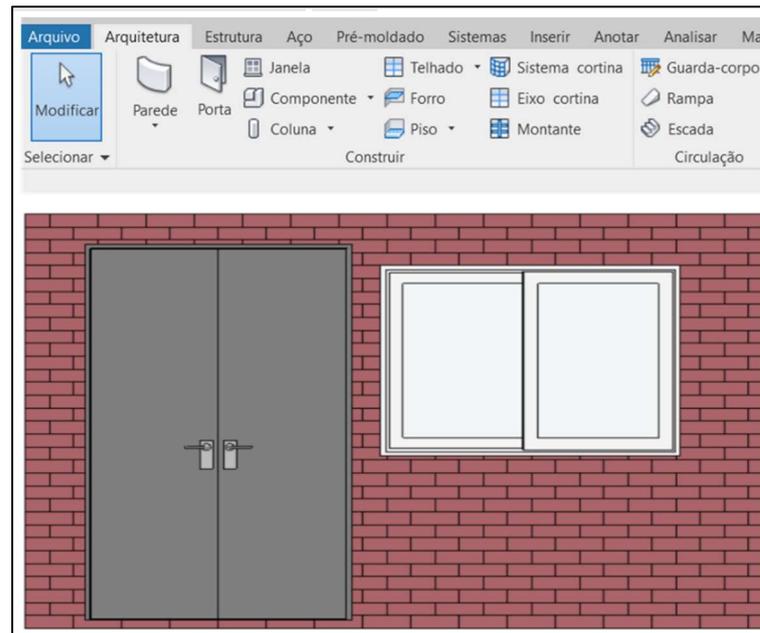
2.9.1 Software Revit

Conforme destacado por Netto (2016), o termo "Revit" deriva das palavras em inglês "Revise Instantly", que se traduz para "Revisar Instantaneamente". Em outras palavras, ao realizar desenhos no Revit, as modificações efetuadas em um objeto refletem-se instantaneamente em todos os objetos semelhantes, de maneira simultânea, e em todas as vistas do desenho em que ele está presente, proporcionando uma resposta imediata.

O Autodesk Revit, trata-se de uma plataforma BIM e destaca-se como uma ferramenta integral na modelagem de edifícios (Abhinaya *et al.*, 2017). Desenvolvido especificamente para BIM, o Revit capacita profissionais da construção a concretizarem suas ideias, oferecendo visualizações precisas nos estágios iniciais do projeto. Com produtos especializados, como Revit Architecture, Revit Structure e Revit MEP, essa plataforma abrangente integra-se perfeitamente a uma variedade de softwares Autodesk, consolidando sua posição como uma ferramenta poderosa e amplamente utilizada (Mazzoli *et al.*, 2021).

O sistema Revit da AutoDesk apresenta famílias de objetos de construção, tais como pisos, paredes e coberturas. Por exemplo, para a categoria de paredes, existem tipos específicos, como parede interior e parede exterior, entre outros. Os elementos escolhidos na barra de desenho são representados em um formato tridimensional, embora a visualização em 2D esteja disponível a qualquer momento. Além disso, há a flexibilidade de manipular o objeto no espaço de desenho, o que possibilita a observação detalhada do modelo construído (Crespo e Reschel, 2007). A Figura 4 mostra parte da barra de ferramentas do software Revit onde apresenta as opções de seleção de algumas famílias como parede, porta, janela, coluna etc., seguido da visualização desses elementos.

Figura 4 – famílias do software Revit



Fonte: A Autora (2024)

O Revit, ao introduzir a modelagem tridimensional com ênfase nas informações cruciais para a construção, revolucionou a indústria de arquitetura e engenharia. No ambiente do Revit, os elementos projetados operam de maneira paramétrica, o que implica que cada objeto de uma categoria pode variar conforme seus parâmetros e condições associadas a outros elementos. Um exemplo prático dessa abordagem é a conexão entre uma parede e um telhado: qualquer ajuste na altura do telhado é automaticamente refletido na adaptação da parede a essa modificação (Netto, 2016).

Em último conceito, o Revit é uma ferramenta computacional destinada à concepção de projetos arquitetônicos e complementares, além de funcionar como um sistema de documentação do projeto que oferece suporte a todas as fases do processo (Justi, 2010).

Neste trabalho, será empregado o software Revit para a modelagem de um edifício específico, que desempenhará um papel fundamental no estudo da quantificação de resíduos gerados na etapa de construção e demolição. A utilização do Revit não apenas facilitará a representação precisa da estrutura arquitetônica, mas também permitirá uma abordagem sistemática na avaliação e quantificação dos resíduos resultantes das diferentes fases do ciclo de vida da construção. Dessa forma, o software se torna uma ferramenta essencial para a análise sustentável,

possibilitando uma compreensão aprofundada do impacto ambiental associado à geração de resíduos na construção civil.

2.9.2 Interface de Programação Visual Dynamo

O Dynamo, uma ferramenta de programação visual versátil, capacita os usuários a criarem scripts visuais de comportamento, estabelecer lógicas personalizadas e programar por meio de várias linguagens de programação textual. Integrado ao Revit desde 2016, o Dynamo revolucionou a interação de profissionais de arquitetura e engenharia com modelos de construção. Oferecendo uma interface de programação visual, onde os usuários criam scripts conectando nós de maneira gráfica e intuitiva, o Dynamo simplifica a automação de tarefas complexas no ambiente do Revit, proporcionando uma abordagem eficaz e facilitando a troca de dados com outras ferramentas de projeto (Li *et al.*, 2019).

Utilizado nas fases iniciais de um projeto, o Dynamo integra de forma contínua seus resultados aos estágios mais detalhados da elaboração do projeto, oferecendo flexibilidade e personalização. Além disso, sendo um aplicativo de código aberto, permite aos usuários estenderem-no de acordo com suas necessidades, suportando designers na condução de projetos conceituais paramétricos e na automação de tarefas (Li *et al.*, 2019).

Sgambelluri, (2015) explica que o Dynamo é uma linguagem de programação visual do tipo open source, de utilização de forma dinâmica, permitindo aos usuários a possibilidade de verificação do comportamento do script. O software que oferece suporte para sua programação permite a interação direta com o banco de dados do Revit acessando os elementos do projeto e sua interface de comunicação com o usuário.

Integrado ao Revit desde 2016, o Dynamo revolucionou a interação de profissionais de arquitetura e engenharia com modelos de construção. Oferecendo uma interface de programação visual, onde os usuários criam scripts conectando nodes de maneira gráfica e intuitiva, o Dynamo simplifica a automação de tarefas complexas no ambiente do Revit, proporcionando uma abordagem eficaz e facilitando a troca de dados com outras ferramentas de design (Li *et al.*, 2019).

Segundo Celani e Vaz (2011) a modelagem paramétrica através de uma linguagem visual não é exatamente uma VPL mas tem características similares,

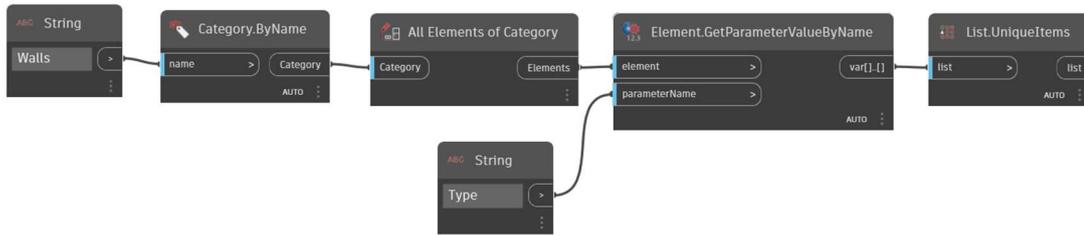
como a de interface de programas que usa o conceito de caixas e fios (box-and-wire). Como explica a sua desenvolvedora, o Dynamo é um programa que permite a manipulação de dados, a modelagem paramétrica, a comunicação entre aplicativos, a automatização de processos, explorações alternativas de formas e opções de projeto (Dynamo, [s.d.]).

O Dynamo viabiliza a criação de scripts personalizados que automatizam tarefas repetitivas e agilizam a geração de geometria complexa. Além disso, facilita visualizações interativas para uma compreensão mais aprofundada dos dados e projetos BIM. A integração entre o Revit e o Dynamo apresenta vantagens significativas na otimização de processos na construção BIM. Sua flexibilidade permite a personalização de acordo com as necessidades específicas do projeto, contribuindo para uma gestão mais eficaz e a redução de erros ao longo das diversas fases do processo construtivo (Pinto, 2017).

O Dynamo é uma ferramenta acessível, pois pode ser utilizada tanto para programadores experientes, quanto para aqueles que estão começando na área da programação. Para iniciantes, o Dynamo oferece uma maneira facilitada de entender os princípios básicos da programação sem a necessidade de escrever códigos complexos. Em vez disso, os usuários podem criar scripts visualmente, arrastando e conectando nós para definir a lógica das operações.

A Figura 5 apresenta um trecho do código realizado no Dynamo para o desenvolvimento desta pesquisa. A imagem mostra uma série de nós interconectados em uma sequência lógica. Esses nós representam o programa desenvolvido no Dynamo para a seleção das paredes do projeto e posterior quantificação dos resíduos gerados por esse elemento construtivo. Cada nó tem um ícone específico indicando sua função, como nós de seleção, filtros e transformações geométricas.

Figura 5 - Nós para seleção dos tipos de paredes



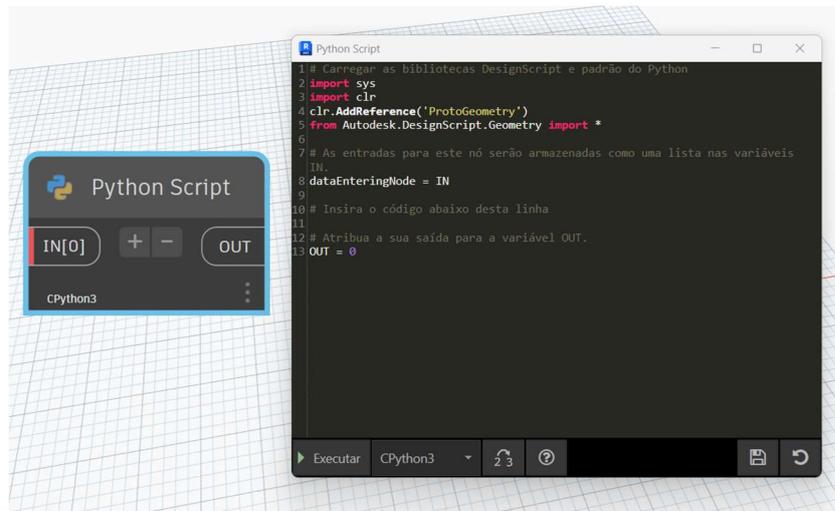
Fonte: A Autora (2024)

Todo o processo de extração e hospedagem dos dados é automatizado pelo script no Dynamo, que exporta os resultados para uma planilha do Excel, consolidando todas as informações em um único documento e facilitando a análise dos resultados, que podem posteriormente passar por processos adicionais de refinamento e interpretação.

Para usuários mais avançados, o Dynamo permite a integração de lógica personalizada e scripts utilizando linguagens de programação textual. Isso significa que é possível incorporar a linguagem Python na criação de scripts mais avançados e personalizados no Dynamo. Na presente pesquisa, scripts em Python foram empregados para a seleção das camadas de revestimentos das paredes e do piso, destacando a adaptabilidade do Dynamo para atender a requisitos específicos de análise e manipulação de dados.

A Figura 6 apresenta o nó chamado Python Script onde é introduzido o código de programação para execução no Dynamo. Esse recurso proporciona uma flexibilidade significativa aos usuários que buscam uma abordagem mais personalizada e avançada na criação e manipulação de dados.

Figura 6 - Nó Python Script



Fonte: A Autora (2024)

As possibilidades oferecidas pelo Dynamo são vastas. Os profissionais podem automatizar tarefas repetitivas, como a criação de padrões complexos, a geração de geometrias paramétricas avançadas e até mesmo a análise de dados em grande escala dentro dos modelos do Revit. Além disso, ele facilita a criação de ferramentas interativas que permitem aos usuários explorarem diferentes cenários de design em tempo real.

No contexto do setor de arquitetura e engenharia, o Dynamo tornou-se uma ferramenta essencial para otimizar fluxos de trabalho, economizar tempo e melhorar a precisão dos projetos. Sua combinação de acessibilidade e funcionalidade robusta o transformou em uma ferramenta inestimável para profissionais que buscam aumentar sua eficiência no uso do Revit e criar modelos mais sofisticados e personalizados.

2.9.2.2 Uso da interface de programação Dynamo na construção civil

Em estudo sobre o aprimoramento da eficiência do processo BIM na aplicação dos princípios lean, os autores Anupama *et al.* (2023) utilizaram os softwares Autodesk Revit, Navisworks Manage e a interface de programação Dynamo. Essa abordagem permitiu extrair o cronograma de materiais, resultando em ganhos significativos na eficiência do ciclo do processo, obtendo economia de tempo em nível organizacional.

Em pesquisa, Wawryniuk (2020) desenvolveu um protótipo de ferramenta para o design de casas unifamiliares, empregando a pré-fabricação de elementos de madeira. Essa ferramenta utiliza tecnologia BIM, fazendo uso do software Revit e scripts personalizados do Dynamo, convertendo modelos BIM tradicionais em alternativas pré-fabricadas. Os resultados do estudo indicam uma redução de pelo menos 50% no desperdício de construção, em comparação com métodos manuais não otimizados de panelização.

Basta *et al.* (2020) também recorrem ao Autodesk Revit e ao Dynamo para automatizar cálculos de desconstrução de estruturas em aço. Utilizando estudo de caso real, demonstraram a eficiência do framework proposto, revelando que a utilização do Dynamo proporciona uma avaliação precisa da desconstrutibilidade da estrutura de aço.

Lima *et al.* (2023) seguiram a metodologia BIM para analisar a desconstrução de edifícios, buscando aprimorar a economia circular. Eles propuseram o uso de ferramentas BIM para auxiliar no design e na gestão da desmontagem de edifícios, utilizando o Dynamo para inserir informações no Revit, criando dados de desmontagem e exportando-os para facilitar o rastreamento de componentes. A conclusão foi que a integração do BIM e do design para desmontagem é crucial para melhorar a economia circular dos edifícios.

Thabet *et al.* (2020) exploraram a tecnologia BIM para vincular dados de ciclo de vida do edifício a um sistema de gerenciamento de instalações. Desenvolveram um fluxo de trabalho com o Dynamo para extrair automaticamente dados de gerenciamento de ativos do modelo, eliminando a entrada manual de dados e garantindo a inclusão de todas as informações críticas no sistema de gerenciamento de instalações.

Por fim, Yang *et al.* (2022) utilizaram o BIM no planejamento automatizado do layout de construção de edifícios pré-fabricados. O Dynamo foi crucial para transformar o modelo 3D do local de construção em coordenadas bidimensionais, possibilitando a otimização do layout. Além disso, o Dynamo foi empregado para automatizar a modelagem paramétrica e a atualização do layout, eliminando a necessidade de utilizar outros softwares.

2.9.3 Linguagem de Programação Python

Desde o seu surgimento em 1991, Python se tornou uma das linguagens de programação mais populares. Linguagens como essas com frequência são chamadas de linguagens de scripting, pois podem ser usadas para escrever rapidamente pequenos programas ou scripts para automatizar outras tarefas (Mckinney, 2018).

A linguagem possui ampla versatilidade, podendo atuar bem na área comercial, ou em áreas mais específicas como por exemplo: no desenvolvimento científico, geoprocessamento e em aplicações mobile, tanto isoladamente ou integrada a outras ferramentas (Silva e Silva, 2019).

O Python é classificado como uma linguagem de software livre, visto que ele pode ser usado, copiado, estudado, modificado e redistribuído sem restrição de uso. Por se tratar de uma linguagem de multiplataforma, o Python pode ser executado em qualquer sistema operacional que possua instalado um IDLE (Integrated Development and Learning Environment).

O IDLE é uma interface gráfica para o interpretador Python, permitindo a edição e execução dos programas criados e possui fins educacionais, uma vez que apenas se está interpretando cada linha de código escrita e entregando o resultado dessa linha em sua interface gráfica. Mesmo simples, a linguagem Python pode ser utilizada para projetos audaciosos tais como a administração de grandes sistemas entre outros grandes projetos (Menezes, 2010).

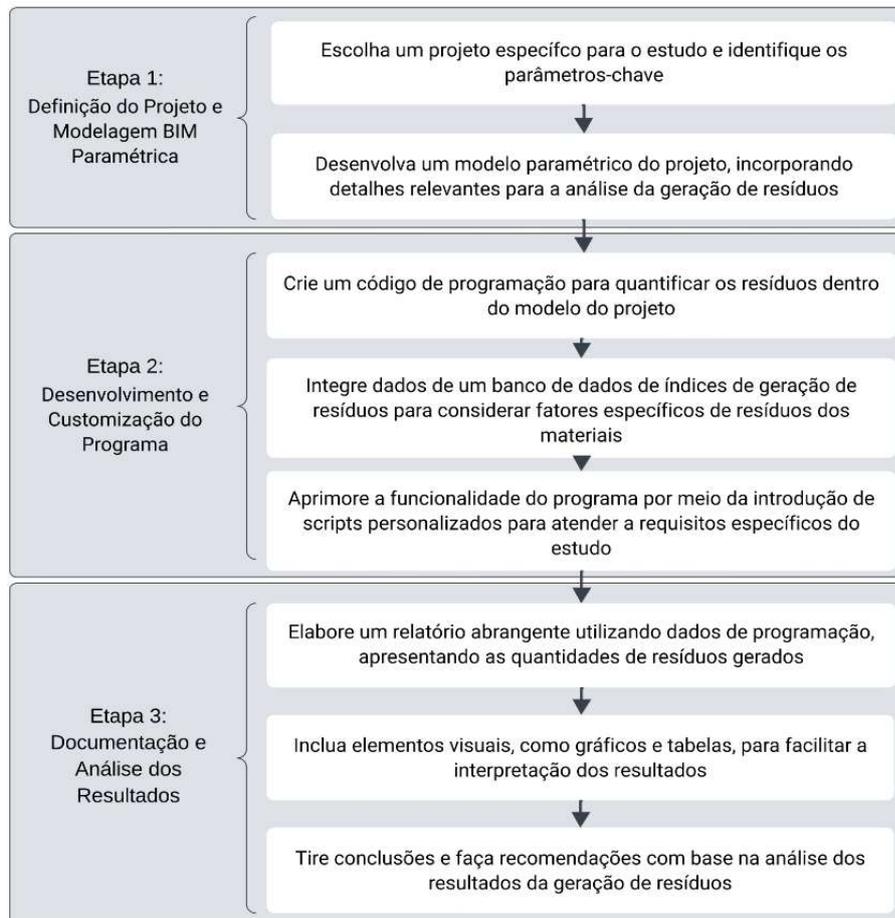
Em resumo, Python não é apenas uma linguagem de programação; é uma ferramenta versátil que impulsiona a inovação em diversas indústrias. Sua facilidade de aprendizado, combinada com poder e flexibilidade, faz dela a escolha preferida para desenvolvedores, cientistas de dados, engenheiros e profissionais de TI em todo o mundo, contribuindo significativamente para o avanço da tecnologia e da computação.

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada para atingir os objetivos propostos. Esta seção descreve a abordagem empregada no estudo para quantificar os resíduos de construção e demolição por meio de uma metodologia que integra Building Information Modeling (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.

A 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 7 - Framework para quantificação de resíduos na construção civil



Fonte: A Autora (2024)

3.1 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 um edifício habitacional de 8 andares, incluindo pavimentos tipo. 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 Figura 7 ilustra o edifício modelado no Revit.

Figura 7 – Edifício modelado no software Revit para estudo de caso



Fonte: A Autora (2024)

A estrutura do edifício foi projetada em concreto, incluindo pilares, vigas e lajes, proporcionando a solidez necessária à construção. As paredes foram modeladas usando uma técnica conhecida como método "cebola", onde várias camadas são representadas, incluindo o acabamento interno, seja ele pintura ou cerâmica, e o acabamento externo, com opções de revestimento em gesso e pintura. Esse método detalhado de modelagem permite uma visualização

tridimensional precisa das diferentes camadas de construção, proporcionando uma representação fiel da estrutura real do edifício. A Figura 8 ilustra as paredes, piso e forro que foram desenvolvidas em várias etapas de acabamento.

Figura 8 – Representação das paredes, janela, porta e piso no Revit



Fonte: A Autora (2024)

Além disso, o piso foi revestido com cerâmica, conferindo um aspecto estético e prático ao ambiente. Cada detalhe, desde as texturas dos materiais até a disposição espacial das unidades familiares e dos apartamentos por pavimento, foi considerado e modelado no Revit. A modelagem detalhada não apenas permite uma representação visual realista, mas também oferece uma compreensão aprofundada da estrutura do edifício. Isso não apenas facilita a análise e o planejamento, mas também serve como uma ferramenta valiosa para os profissionais envolvidos no processo de construção, proporcionando uma visualização clara e precisa do projeto arquitetônico. A Figura 9 apresenta o edifício modelado com perspectiva dos elementos internos do projeto.

Figura 9 - Projeto do edifício com perspectiva interna



Fonte: A Autora (2024)

3.2 ETAPA 2: DESENVOLVIMENTO E PERSONALIZAÇÃO DO PROGRAMA

Para o desenvolvimento do programa de quantificação de resíduos foi utilizada o Dynamo, que consiste numa ferramenta de programação visual. A etapa inicial no processo de desenvolvimento do código envolveu a extração de cada tipo de elemento construtivo do projeto a ser quantificado, utilizando nós de seleção específicos. A etapa inicial resulta em uma lista dos elementos construtivos presentes no projeto, tal qual: pilares, vigas, lajes de concreto, alvenaria, piso, revestimento cerâmico, pintura externa, pintura interna, revestimento em gesso, forro e portas de madeira.

Para a quantificação do resíduo gerado foi utilizado como referência os índices obtidos através da pesquisa de Solíz-Guzmán *et al.* (2009). O trabalho mencionado utilizou 100 projetos habitacionais típicos na Espanha categorizados como construção nova ou demolição definindo coeficientes para estimar os volumes de destroços – que se refere a perdas, sobras e quebras de materiais durante a conclusão da obra – e o volume de demolição, que ocorre nos processos de demolição.

As obras seleccionadas por Solíz-Guzmán *et al.* (2009) para quantificação de resíduos trata-se de projetos habitacionais que contêm de 1 a 10 pavimentos, laje de concreto, paredes de concreto armado ou tijolos, paredes externas revestidas de

gesso, azulejos cerâmicos na cozinha e no banheiro, pintura plástica no exterior e pintura fosca no interior. Para se assemelhar as habitações que serviram como referência o projeto modelado utilizou padrões construtivos semelhantes.

A escolha dos índices fornecidos por Solís-Guzmán *et al.* (2009) 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. Os índices selecionados para obtenção dos resíduos gerados foram dos elementos: pilares, laje de concreto, concreto armado, tijolo externo, tijolo interno, revestimento cerâmico, gesso, portas, pisos, teto, tinta externa e tinta para interiores. A Tabela 2 apresenta os índices percentuais de resíduo gerado fornecido por Solís-Guzmán *et al.* (2009) para cada peça estrutural em sua fase de construção e demolição.

Tabela 2 – Índices de resíduos por elemento construtivo

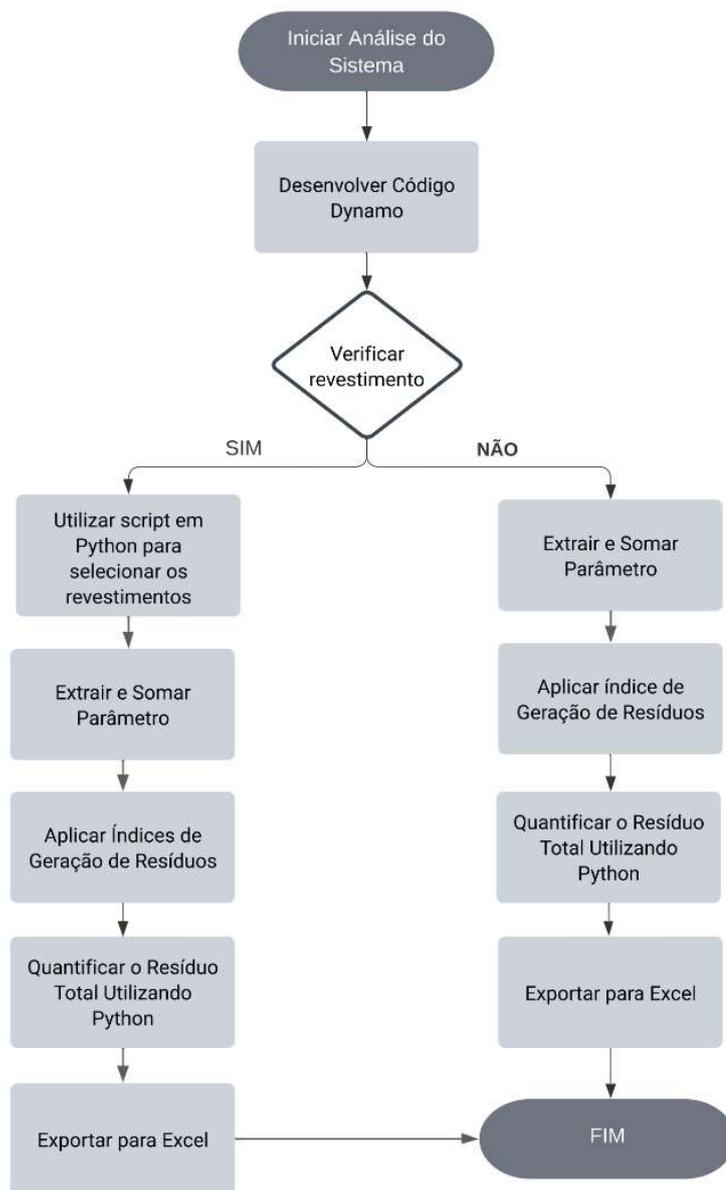
Elemento	Nova Construção (%)	Demolição (%)
Pilares	2,65	0,00
Lajes de concreto	6,05	34,24
Concreto armado	0,01	0,00
Tijolo exterior	5,78	11,69
Tijolo interior	2,13	4,31
Azulejo	2,55	1,53
Gesso	0,33	3,47
Pisos	0,25	0,62
Teto	0,37	0,48
Pintura externa	0,50	0,10
Pintura interna	1,26	0,26
Portas de madeira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

Fonte: Solís-Guzmán *et al.* (2009)

A Figura 10 representa o fluxograma de desenvolvimento do código realizado no Dynamo para quantificação dos resíduos. Para isso, primeiramente é analisado se o elemento construtivo selecionado para quantificação possui ou não camadas de revestimentos. Caso, haja camadas de revestimento, é utilizado um nó contendo script desenvolvido em linguagem de programação Python para selecionar e listar os revestimentos contidos no elemento construtivo. Posteriormente são extraídos e somados os quantitativos dos elementos e revestimentos; em seguida são aplicados os índices de resíduos determinados por Solís-Guzmán *et al.* (2009); quantificado o

total de resíduo gerado através de script desenvolvido em Python; e por fim todos os dados são exportados para um arquivo em Excel onde são posteriormente analisados.

Figura 10 – Fluxograma para quantificação dos resíduos



Fonte: A Autora (2024)

Para elementos construtivos que não possuem revestimentos a etapa de quantificação de resíduos consiste em: extrair do modelo os quantitativos dos elementos construtivos e somá-los; aplicação dos índices de resíduos de construção e demolição gerados; quantificação total do resíduo através de script desenvolvido

em Python; e exportação dos resultados para arquivo do Excel para documentação e análise subsequente.

O script em linguagem Python é utilizado para personalizar o código, realizando a separação e seleção das camadas presentes nos elementos construtivos que apresentam diferentes níveis de revestimento, ressaltando especificamente em paredes e pisos para este estudo. O script em Python desenvolvido desmembra as camadas de revestimento, seguido pela extração das unidades de medida associadas a esses elementos selecionados. Em etapa posterior o script em Python é utilizado para quantificação do resíduo total gerado por cada elemento construtivo nas etapas de construção e demolição.

O algoritmo 1 apresenta a programação utilizada para quantificação dos resíduos gerados por elementos construtivos que não possuem subcamadas, como pilares, portas e forro. Esses elementos constam no projeto com um único tipo, não contendo camadas de revestimentos.

Algoritmo 1. Quantificação de resíduos gerados por elementos construtivos que não possuem revestimentos.

Step 1: Select constructive elements

```
constructive_elements = get_all_constructive_elements()
```

Step 2: Insert unit of measurement values for each structural element

```
constructive_measurements = []
```

```
for constructive_element in constructive_elements:
```

```
    measurement = get_constructive_element_measurement(constructive_element)
```

```
    constructive_measurements.append((constructive_element, measurement))
```

```
End For
```

Step 3: Create a list with all selected constructive elements and their unit measurement values

```
total_measurement = 0
```

```
for _, measurement in constructive_measurements:
```

```
    total_measurement = total_measurement + measurement
```

```
End For
```

Step 4: Multiply the total obtained by the residue index variable defined as 'k'

```
residue_index = k
```

```
result_residue = total_measurement * residue_index
```

Step 5: Display the result

```
print(result_residue)
```

O algoritmo 2 foi desenvolvido para a quantificação de elementos que no projeto possuem subcamadas, como: paredes e pisos. Para selecionar cada tipo de camada (tijolos, pintura, revestimento cerâmico) foi utilizado um script em python que cooperou para a seleção do elemento e posterior cálculo do resíduo gerado.

Algoritmo 2. Quantificação de resíduos gerados por elementos construtivos que possuem revestimentos.

Step 1: Select constructive elements

```
constructive_elements = get_all_constructive_elements()
```

Step 2: Separate the selected constructive elements by types

Step 2.1: Import Dynamo module for access to Revit elements

Step 2.2: Import Dynamo module for element filtering

Step 2.3: Import Revit API module

Step 2.4: Get the active Revit document

Step 2.5: Get the list of floor/wall types from Dynamo

Step 2.6: Check if there are at least two floor types in the list

If true, then

Get the second floor/wall type from the list (index 1 corresponds to the second item)

Convert the Dynamo floor/wall type to a Revit floor/wall type

Filter all floors/walls in the document

Filter floors/walls of the selected second floor type

Check if floors/walls of the selected type were found

If true, then

Output the floors of the selected type

End If

End If

Else

Output "No floors/walls of the second selected type found."

End Else

End If

Else

Output "There are not at least two floor/wall types in the list."

End Else

Step 3: Insert unit of measurement values for each type of constructive element

```
constructive_measurements = []
```

```
for constructive_element in constructive_elements:
```

```
    measurement = get_constructive_element_measurement(constructive_element)
```

```
    constructive_measurements.append((constructive_element, measurement))
```

```
End For
```

Step 4: Create a list with all selected constructive elements by type and their unit measurement values

```
total_measurement = 0
```

```
for _, measurement in constructive_measurements:
```

```
    total_measurement = total_measurement + measurement
```

```
End For
```

Step 5: Multiply each selected type of constructive element by its respective residue index

```
residue_index = k
```

```
result_residue = total_measurement * residue_index
```

Step 6: Display the result

```
print(result_residue)
```

3.3 ETAPA 3: DOCUMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Através da programação criada foi possível quantificar os resíduos gerados por cada elemento construtivo contido no modelo. Esses resultados são gerados de forma automatizada e fornecidos numa planilha, conforme programado. Os dados podem ser analisados e a partir deles podem ser quantificados o total de resíduo gerado na fase de construção, ou demolição do edifício.

Aplicando os índices de Solís-Guzmán *et al.* (2009), os resíduos gerados são, em sua maioria, expressos na unidade de metros quadrados, com exceção dos

elementos vigas e pilares, que são apresentados em metros e quilogramas, respectivamente. Embora as unidades tenham sido determinadas, a escolha da conversão para a unidade mais apropriada fica a critério do tipo de estudo, no contexto acadêmico, ou dos orçamentistas, no ambiente empresarial, levando em consideração a finalidade específica.

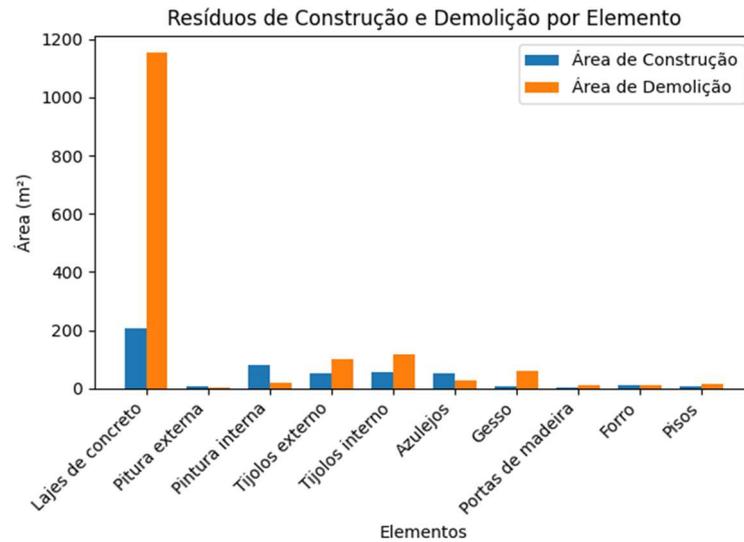
Ao analisar os índices propostos por Solís-Guzmán *et al.* (2009) e aplicá-los ao edifício modelado, destacam-se, na fase construtiva, os elementos que mais contribuíram para a geração de resíduos: laje de concreto, pintura interna e tijolo das paredes internas, com quantidades de 205,88 m², 81,16 m² e 57,98 m², respectivamente. Por outro lado, elementos como a porta de madeira, gesso das paredes externas e piso apresentaram uma menor produção de resíduos, contribuindo com 4,17 m², 5,66 m² e 7,81 m².

Já na fase de demolição, os elementos que se destacam em termos de geração de resíduos são a laje de concreto, tijolo interno e tijolo externo, com quantidades de 1154,27 m², 118,72 m² e 102,25 m², respectivamente. Em contrapartida, pintura interna, porta e forro surgem como os elementos que menos geram resíduos durante a demolição, com contribuições de 1,71 m², 9,74 m² e 13,01 m².

Quanto aos elementos estruturais viga e pilares, mensurados em kg e m, a perda construtiva foi de 19,32 kg e 35,01 m, respectivamente. Esses resultados oferecem uma visão abrangente da distribuição dos resíduos ao longo das diferentes etapas do projeto, auxiliando na tomada de decisões voltadas para a sustentabilidade e gestão eficiente dos materiais de construção.

A Figura 11 fornece uma síntese visual dos resíduos gerados por cada elemento construtivo, expressos em metros quadrados, durante suas fases de construção e demolição. Ao analisar o gráfico, é perceptível a notável disparidade entre o elemento "laje de concreto" e os demais componentes do projeto. Vale destacar que o item "pintura externa" não possui um valor correspondente na base de dados selecionada. Essa representação gráfica fornece uma compreensão das contribuições relativas de cada elemento para o total de resíduos gerados, proporcionando uma melhor compreensão para a gestão eficaz desses materiais ao longo do ciclo de vida do projeto.

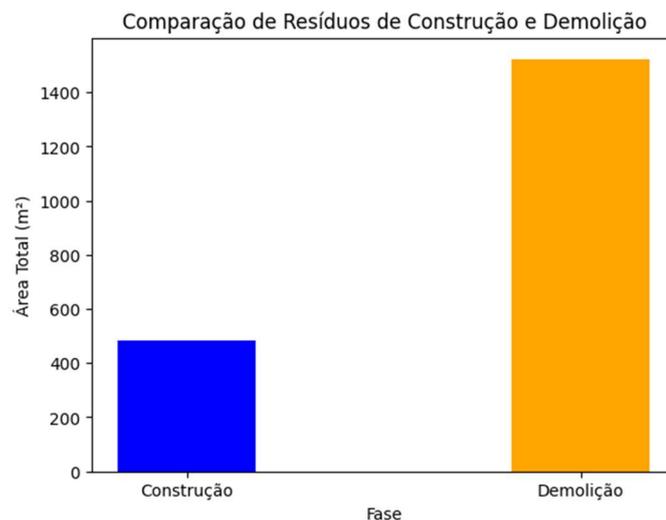
Figura 11 – Resíduos de construção e demolição gerados por elemento construtivo



Fonte: A Autora (2024)

Ao empregar o código elaborado no Dynamo, incorporando os índices de Solís-Guzmán *et al.* (2009), 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 Figura 12 apresenta uma representação 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.

Figura 12 – Resíduos de construção e demolição gerados



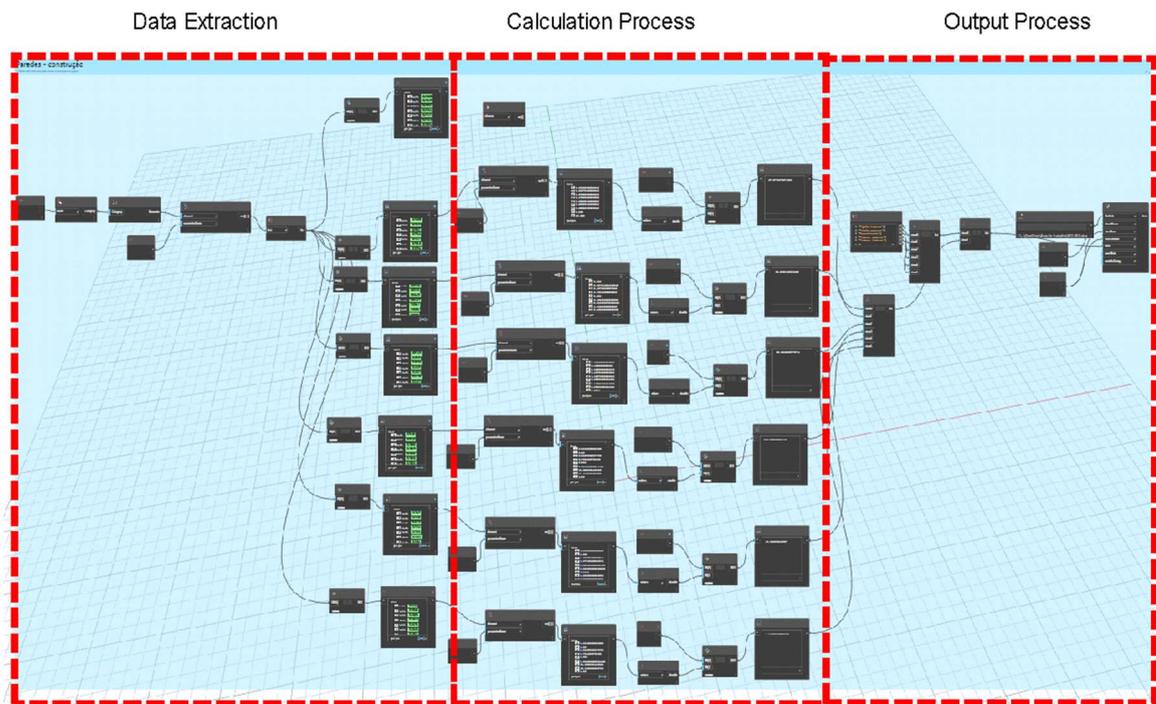
Fonte: A Autora (2024)

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.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa resultou no desenvolvimento de um código de programação destinado a quantificar resíduos provenientes da construção civil. O código foi elaborado utilizando a plataforma Dynamo, incorporando uma série de nós interconectados em uma lógica sequencial. A Figura 13 apresenta a programação desenvolvida para quantificação dos resíduos gerados pelo elemento parede e suas camadas de revestimentos. Através da figura é possível avaliar a sequência para obter esta quantificação: extração dos dados, processo de cálculo dos resíduos e output do processo.

Figura 13 – Programação Visual com a utilização de Nós

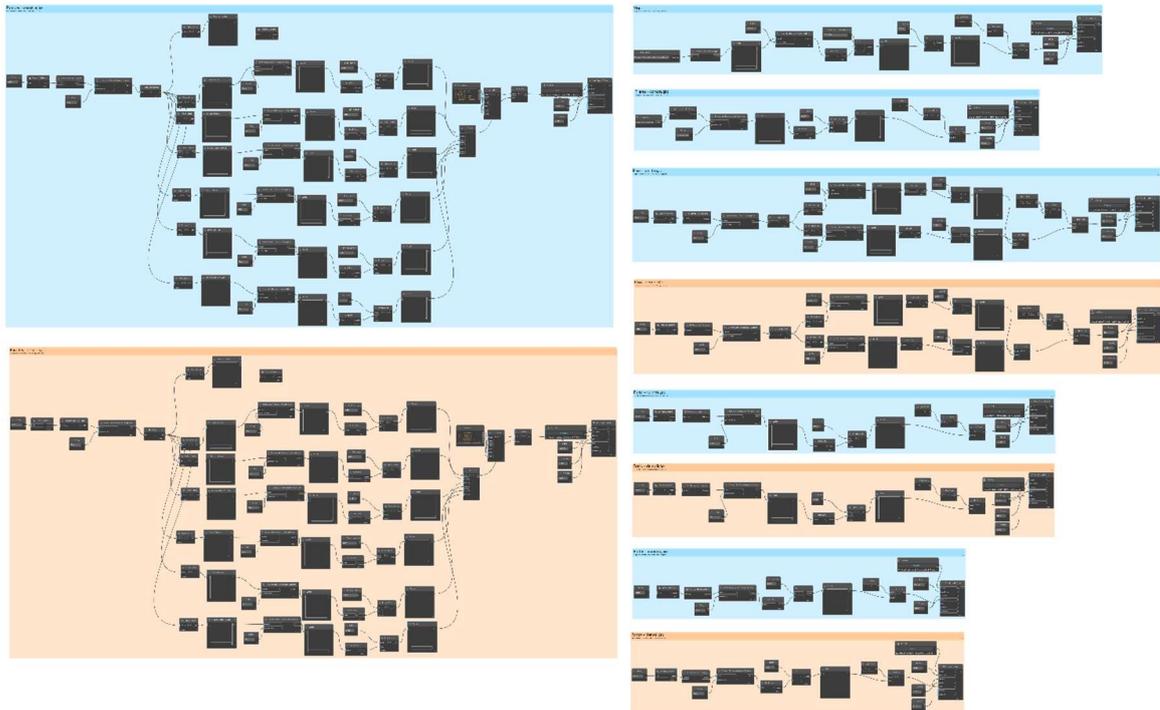


Fonte: A Autora (2024)

A análise de quantificação de resíduos abrangeu as fases de construção e demolição, sendo aplicada a mesma estrutura de programação, porém com índices diferenciados para cada etapa. A Figura 14 ilustra a programação final com as subdivisões dos grupos estabelecidos. Os códigos agrupados em azul consistem na programação para quantificação dos resíduos de construção, e os códigos agrupados em laranja estão relacionados à programação para quantificação dos

resíduos de demolição. Cada grupo está associado a um elemento construtivo (parede, piso, pilar, viga, porta etc.). Esse sistema proporciona uma organização estruturada e visualmente clara para a análise e quantificação de resíduos em diferentes fases do processo construtivo.

Figura 14 – Programação final dividida em grupos de construção e demolição



Fonte: A Autora (2024)

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. (2023)* 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.* (2017) 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 (Oduyemi *et al.*, 2017; Akdag e Maqsood, 2019; Almutiri, 2020).

Raouf and Al-Ghamdi (2018) também pontuam as limitações do BIM na indústria de construção sustentável. Os autores citam como principais obstáculos e deficiências enfrentados os altos custos iniciais, complexidades no design, requisitos de documentação, requisitos superiores de aprimoramento de desempenho etc. Outra dificuldade enfrentada é a limitada disponibilidade de bases de dados para avaliação do sistema e a dependência de dados externos. Morais *et al.* (2023) 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.

Quanto ao algoritmo de programação desenvolvido, é relevante destacar que os dados sobre a quantidade de resíduos gerados estão expressos nas unidades

utilizadas pelos autores Solís-Guzmán *et al.* (2009) para a geração de resíduos, sendo o metro quadrado a unidade predominante para a maioria dos elementos construtivos. Caso haja a necessidade de quantificar os resíduos em outras unidades, como quilogramas, é necessário realizar a conversão, utilizando a densidade do material presente no elemento construtivo como parâmetro.

Em resumo, o código desenvolvido não apenas enriquece o meio acadêmico com uma abordagem científica quantitativa, mas também oferece benefícios práticos e estratégicos para empresas em busca de destaque em um mercado voltado para a sustentabilidade. No contexto empresarial, a implementação desse código representa uma vantagem competitiva significativa para empresas de construção e consultorias ambientais.

Bangwal and Tiwari (2018) dissertam que incorporar práticas de design sustentável em edifícios pode ter um impacto positivo na imagem da organização e na conscientização ambiental dos funcionários. O estudo realizado pelos autores destaca a importância de considerar as preocupações ambientais durante a fase de projeto de um edifício e sugere que as organizações devam ser cautelosas para capitalizar os rendimentos de uma melhor imagem da organização e conscientização ambiental dos funcionários.

O BIM em qualquer projeto de construção deve ser implementado de forma holística desde a concepção até todo o ciclo de vida (Shukra e Zhou, 2020). Todavia, Mellado *et al.* (2019) pontuam que embora os benefícios do uso do BIM sejam conhecidos na indústria, a ligação entre BIM e sustentabilidade para edifícios existentes é escassa e limitada na aplicação, afirmativa que evidencia a importância de estudos para quantificação de resíduos, sobretudo aos resíduos de demolição.

Conforme avaliado por Luz *et al.* (2023) em análise da revisão de literatura efetuado com artigos indexados nas bases de dados Web of Science e Scopus, observou-se que poucos artigos discorrem sobre resíduos da construção civil e BIM em comparação com outras temáticas como energia, implementação, planejamento etc. Shukra e Zhou (2020) afirmam que muitos pesquisadores consideram a análise baseada em BIM apenas como modelagem de energia, embora o BIM possa oferecer suporte a vários aspectos da construção sustentável durante o ciclo de vida da construção.

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. Embora a ferramenta de programação visual do Revit, seja frequentemente empregada em diferentes temáticas de sustentabilidade, até o momento não foi identificado na literatura um artigo que aborde especificamente o uso do Dynamo para a quantificação de resíduos de construção e demolição. A tabela 3 apresenta uma síntese das pesquisas que fazem uso do ambiente de programação Dynamo, incluindo o título da pesquisa e a finalidade do uso Dynamo.

Tabela 3 - Finalidades do uso do Dynamo

Referência na Literatura	Título da Pesquisa	Finalidade
Anupama et al. (2023)	Application of lean principles for efficiency enhancement of BIM process	Extração de cronograma de materiais
Basta et al. (2020)	A BIM-based framework for quantitative assessment of steel structure deconstructability	Automatização de cálculos
Wawryniuk (2020)	Prefabrication 4.0: BIM-aided design of sustainable DIY-oriented houses	Conversão de um modelo BIM em uma alternativa pré-fabricada
Lima et al. (2023)	Integration of BIM and design for deconstruction to improve circular economy of buildings	Coletar e armazenar dados no sistema
Thabet et al. (2020)	Linking life cycle BIM data to a facility management system using Revit Dynamo	Extração de dados do modelo
Yang et al. (2022)	A BIM-Based Approach to Automated Prefabricated Building Construction Site Layout Planning	Otimização do layout do canteiro

Fonte: A Autora (2024)

No que se refere a temática da quantificação de resíduos por meio de ferramentas BIM, é evidente a diversidade de abordagens utilizadas. A Tabela 4 resume as ferramentas empregadas para a quantificação de resíduos, juntamente com os tipos de resíduos estudados:

Tabela 4 - Ferramentas utilizadas e tipos de resíduos estudados

Referência na Literatura	Título	Ferramenta Utilizada	Tipo de Resíduos Estudados
Jalaei et al. (2019)	Life cycle environmental impact assessment to manage and optimize construction waste using Building Information Modeling (BIM)	Plug-in do Naviswork	RCD
Quiñones et al. (2022)	Quantification of Construction Waste in Early Design Stages Using Bim-Based Tool	Revit API	RC
Heigermoser et al. (2019)	BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management	LPS prototype tool	RC
Cheng and Ma (2013)	A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning	Revit API	RCD
Guerra et al. (2020)	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 (2019)	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: A Autora (2024)

A maioria dos artigos analisados discorrem sobre resíduos de construção. Sivashanmugam *et al.* (2023) 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.

Ao analisar as Tabelas 2 e 3, observa-se que, embora o Dynamo seja utilizado em diversas pesquisas, sua aplicação para a quantificação de resíduos é menos frequente em comparação ao uso da Revit API para essa finalidade. Apesar da limitada presença na literatura em relação à quantificação de resíduos, o Dynamo oferece vantagens notáveis, incluindo integração nativa com o Revit, a capacidade

de criar e editar scripts para diversas finalidades e a facilidade de compartilhamento de scripts entre usuários.

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 (Sivashanmugam *et al.*, 2023).

5 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 (Spišáková *et al.*, 2022). 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.

No que se refere ao algoritmo desenvolvido, é relevante destacar a necessidade de converter as unidades para obtenção dos resíduos de construção em diferentes métricas. Essa adaptação pode ser realizada através da customização do código, permitindo a mudança de unidade ou a conversão por meio de métodos alternativos.

Esta pesquisa preenche uma lacuna existente na literatura, visto que, há um déficit de discussões que dissertam sobre Green BIM e resíduos da construção (Luz *et al.*, 2023). Araújo *et al.* (2020), 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.

O código desenvolvido ultrapassa o domínio acadêmico ao fornecer uma ferramenta pragmática para empresas que buscam não apenas atender a requisitos regulatórios, mas também se destacar como líderes inovadores em responsabilidade ambiental. A eficácia demonstrada na gestão de resíduos não apenas promove a sustentabilidade, mas também impulsiona a eficiência operacional e a resiliência no cenário competitivo da indústria da construção. A capacidade de quantificar eficazmente os resíduos gerados em cada fase do projeto permite uma gestão mais eficiente e estratégica dos recursos, contribuindo para a redução de desperdícios e otimização de custos.

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. Isso tornaria o sistema mais proativo e adaptável às dinâmicas complexas de diferentes projetos de construção. 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 automação viabilizada pelo código desenvolvido no Dynamo, em conjunto com a integração da linguagem Python, simplifica a replicação e adaptação do

método em diversos estudos. Essa abordagem promove a padronização na avaliação de resíduos de construção, possibilitando comparações mais significativas entre distintos projetos e regiões. Essa uniformidade na metodologia contribui para a consistência e confiabilidade das análises, facilitando a tomada de decisões sustentáveis e a compreensão do impacto ambiental em diferentes contextos construtivos.

Com base nas informações apresentadas, torna-se evidente que a utilização de ferramentas BIM para a quantificação de resíduos de demolição e construção constitui uma área temática ainda em desenvolvimento na literatura. Este estudo se destaca em relação aos demais ao desenvolver um algoritmo de programação para realizar a quantificação detalhada dos resíduos, levando em consideração os elementos construtivos presentes no projeto. Ao contrário da abordagem adotada pela maioria da literatura, a análise realizada pelo algoritmo não se restringe a uma única fase do projeto, abrangendo tanto a fase de construção quanto a de demolição e considerando o ciclo de vida completo do empreendimento.

Por fim, 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.

REFERÊNCIAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:** Resíduos Sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.112:** Resíduos da construção civil e resíduos volumosos – Áreas de transbordo e triagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.113:** Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes – Aterros – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.114:** Resíduos sólidos da construção civil – Áreas de reciclagem – Diretrizes para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.116:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural - Requisitos. Rio de Janeiro, 2004.
- ABHINAYA, K. S.; KUMAR, VR Prasath; KRISHNARAJ, L. Assessment and remodelling of a conventional building into a green building using BIM. **International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)**, v. 7, n. 4, p. 1675-1681, 2017.
- ABOUHAMAD, Mona; ABU-HAMD, Metwally. Life cycle assessment framework for embodied environmental impacts of building construction systems. **Sustainability**, v. 13, n. 2, p. 461, 2021.
- ABRECON, 2020. Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição. **Pesquisa Setorial ABRECON 2020**. Disponível em: <https://abrecon.org.br/categoria-de-documentos/pesquisa>
- ABRELPE, 2021. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>
- ABRELPE, 2022. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais: **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022**. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>
- 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.

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.

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.

ALVES, Ingrid RFS et al. Waste characterization in Brazil. In: **Waste Management and Resource Recycling in the Developing World**. Elsevier, 2023. p. 85-98.

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

AL-OTAIBI, Ali et al. Identifying the Barriers to Sustainable Management of Construction and Demolition Waste in Developed and Developing Countries. **Sustainability**, v. 14, n. 13, p. 7532, 2022.

ANASTASIADES, Kostas et al. Barriers for the circular reuse of steel in the Belgian construction sector: An industry-wide perspective. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Management, Procurement and Law**, v. 40, n. XXXX, p. 1-14, 2022.

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

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.

ARSENOS, Panayiotis; GIANNADAKIS, George. Construction Projects' Waste Prevention and Expected Minimization of Cost and Environmental Impacts through Adopting a Comprehensive System for Document Management. **Environmental Research, Engineering and Management**, v. 79, n. 2, p. 77-87, 2023.

AZHAR, Salman et al. Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. In: **Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries**. 2008. p. 435-46.

AZHAR, S. et al. Building information modeling (BIM): now and beyond. **Australasian Journal of Construction Economics and Building**, 2012, p. 15-28.

BANGWAL, Deepak; TIWARI, Prakash. Environmental design and awareness impact on organization image. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 26, n. 1, p. 29-45, 2019.

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.

BATISTA, Marcelo Lopes. Gestão de resíduos na construção civil: ênfase no desenvolvimento sustentável Waste management in civil construction: emphasis on sustainable development. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 23356-23373, 2022.

BEREZIUK, Oleg; FINYK, Iryna. Mathematical Modeling of the Forecasting of the Construction Waste Reusage Occurrence. **Scientific Works of Vinnytsia National Technical University**, n. 2, 2022.

BORGES, Lidia Licio; MARQUES, Patrícia Sousa; LIMA, Fabíolla Xavier Rocha Ferreira. Solid waste from construction and demolition: overview and a proposal for Goiânia–GO. 2023.

BOUHMOUD, Hanane; LOUDYI, Dalila; AZHAR, Salman. Evaluation of Building's Life Cycle Carbon Emissions Based on BIM and LCA: A Case Study of Affordable Housing in Morocco. **The Twelfth International Conference on Construction in the 21st Century**. 2022.

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 BIMBR, instituída pelo Decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Programa Nacional de Educação Ambiental. Sistema Brasileiro sobre Educação Ambiental e Práticas Sustentáveis. Brasília, 2002, disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/sdi/ea/index.cfm>

BRASIL. Resolução CONAMA nº 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2002.

CÂNDIDO, Luís Felipe et al. Transição para a Sustentabilidade no Setor da Construção: o papel do Building Information Modeling. **SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, XXIII**, 2022.

CATELANI, Wilton Silva (Brasil). Cbic - Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Coletânea Implementação do BIM Para Construtoras e Incorporadoras: Fundamentos BIM - Volume 1'**. Brasília: Gadioli Cipolla Branding e Comunicação, 2016. 117 p.

CELANI, M. G.; VAZ, C. E. Scripts em CAD e ambientes de programação visual para modelagem paramétrica: uma comparação do ponto de vista pedagógico. **Proarq**, v. 18, p. 177–194, 2011

CHAREF, Rabia; ALAKA, Hafiz; EMMITT, Stephen. Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views. **Journal of Building Engineering**, v. 19, p. 242-257, 2018.

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.

COSTA, Ricardo Vasconcelos Gomes da; ATHAYDE JÚNIOR, Gilson Barbosa; OLIVEIRA, Mariana Moreira de. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. **Ambiente Construído**, v. 14, p. 127-137, 2014.

CRESPO, Cláudia Campos; RUSCHEL, Regina Coeli. Ferramentas BIM: um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto. **Encontro de Tecnologia de Informação e comunicação na construção civil**, v. 3, 2007.

DAHLBO, Helena et al. Construction and demolition waste management—a holistic evaluation of environmental performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 333-341, 2015.

DETR (Department of the Environment, Transport and the Regions). Building a better quality of life — a strategy for more sustainable construction. London: DETR; 2000.

DOUMBOUYA, Lancine et al. Application of BIM technology in design and construction: A case study of pharmaceutical industrial base of amino acid building project. In: **16th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development**. 2017. p. 1495-1502.

DUARTE, Natalia Cangussu et al. Water reuse in the production of non-reinforced concrete elements: an alternative for decentralized wastewater management. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development**, v. 9, n. 3, p. 596-600, 2019.

DYNAMO. Download | Dynamo BIM. Disponível em: <<https://dynamobim.org/download/>>. Acesso em: 23 dez. 2023.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K. (2008) **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2nd Edition, Wiley, NJ.

EASTMAN, Chuck et al. **Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores**. Bookman Editora, 2014.

ESIN, Tulay; COSGUN, Nilay. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and environment**, v. 42, n. 4, p. 1667-1674, 2007.

FORMOSO, Carlos T. et al. Material waste in building industry: main causes and prevention. **Journal of construction engineering and management**, v. 128, n. 4, p. 316-325, 2002.

- 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.
- GOMES, Carla Pinheiro et al. Impacto Ambiental e Gerenciamento de Resíduos Sólidos Advindos da Construção Civil no Brasil: Uma Revisão de Literatura/Environmental Impact and Solid Waste Management Arising from Civil Construction in Brazil: A Literature Review. **ID on line. Revista de psicologia**, v. 15, n. 55, p. 729-742, 2021.
- GORGOLEWSKI, M. et al. Designing buildings using reclaimed steel components. **Journal of green building**, v. 3, n. 3, p. 97-107, 2008.
- 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.
- GUO, Kai et al. BIM-based green building evaluation and optimization: A case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 320, p. 128824, 2021.
- 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.
- HASAN, Rakibul. Quantification of Construction Waste through BIM. **Journal of Technology Management and Business**, v. 9, n. 1, p. 62-77, 2022.
- HEIGERMOSER, Daniel et al. BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. **Automation in Construction**, v. 104, p. 246-254, 2019.
- HOLZER, Dominik; MALKIN, Rob. Real-time design collaboration in 3D. **Architecture Australia**, v. 100, n. 3, p. 102-103, 2011.
- HONIC, Meliha et al. Framework for the assessment of the existing building stock through BIM and GIS. **Developments in the Built Environment**, v. 13, p. 100110, 2023.
- HOWARTH, Thomas. Steel recovery and reuse—a case study of City Place, London. **The Structural Engineer: journal of the Institution of Structural Engineer**, v. 101, n. 3, p. 24-28, 2023.
- HU, Xingyi et al. Smart building demolition and waste management frame with image-to-BIM. **Journal of Building Engineering**, v. 49, p. 104058, 2022.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção** - Consumo total e dos principais tipos de materiais de construção, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2019. Disponível em

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=resultados>

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção** - Consumo total e dos principais tipos de materiais de construção, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2020. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=resultados> >

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **PAIC - Pesquisa Anual da Indústria da Construção** - Consumo total e dos principais tipos de materiais de construção, segundo as divisões, os grupos e as classes de atividades - Brasil - 2021. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9018-pesquisa-anual-da-industria-da-construcao.html?=&t=resultados> >

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.

JUSTI, A. Revit Architecture 2010. Rio de Janeiro: **Ciência Moderna**, 2010.

JUNIOR, Wagner Oliveira Severiano. Construção verde: emprego de recursos renováveis na construção civil. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 7, p. 792-807, 2021.

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.

KIM, K. G. (2018). **Low-carbon smart cities**. Springer.

KRYGIEL, Eddy; NIES, Brad. **Green BIM: successful sustainable design with building information modeling**. John Wiley & Sons, 2008.

KUMMEN, T. M.; BOHNE, R. A.; LOHNE, J. Mapping of construction materials reuse practices within large Norwegian municipalities. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012036.

LAGE, Isabel Martínez et al. Estimation of the annual production and composition of C&D Debris in Galicia (Spain). **Waste management**, v. 30, n. 4, p. 636-645, 2010.

LI, Jingming et al. Integration of Building Information Modeling and Web Service Application Programming Interface for assessing building surroundings in early design stages. **Building and Environment**, v. 153, p. 91-100, 2019.

LI, Yushuang; LI, Jinhui. Method development and empirical research in examining the construction of China's "Zero-waste Cities". **Science of The Total Environment**, v. 906, p. 167345, 2024.

LIU, Jingkuang; CHEN, Yixuan; WANG, Xuetong. Factors driving waste sorting in construction projects in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 336, p. 130397, 2022.

LIU, Zhen et al. A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in construction**, v. 59, p. 1-23, 2015.

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.

LINO, José Carlos; AZENHA, Miguel; LOURENÇO, Paulo. Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas. **BE2012-Encontro Nacional Betão Estrutural**, p. 2-3, 2012.

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

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.

MAGALHÃES, Rachel Madeira; MELLO, Luiz Carlos Brasil de Brito; BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello. Planejamento e controle de obras civis: estudo de caso múltiplo em construtoras no Rio de Janeiro. **Gestão & Produção**, v. 25, p. 44-55, 2017.

MARQUES NETO, José da Costa. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

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.

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

MENEZES, N. N. C. **Introdução a Programação com Python: Algoritmos e Lógica de Programação para Iniciantes**. São Paulo. Novatec, 2010

MENEGAKI, Maria; DAMIGOS, Dimitris. A review on current situation and challenges of construction and demolition waste management. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 13, p. 8-15, 2018.

MESAROS, Peter; SPISAKOVA, Marcela; MANDICAK, Tomas. Sustainable design of construction through waste management using building information modelling. In: **Int. Multidisciplinary Scientific Geo Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM**. 2018. p. 537-44.

MELLADO, Felipe et al. Digitisation of existing buildings to support building assessment schemes: Viability of automated sustainability-led design scan-to-BIM process. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 16, n. 2, p. 84-99, 2020.

MULLER, Marina Figueiredo et al. A systematic literature review of interoperability in the green Building Information Modeling lifecycle. **Journal of cleaner production**, v. 223, p. 397-412, 2019.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 176p

NETTO, Cláudia Campos. Autodesk Revit Architecture 2016 – Conceitos e Aplicações. 1. ed.

NIE, Peng; DAHANAYAKE, Kalani C.; SUMANARATHNA, Nipuni. Exploring UAE's transition towards circular economy through construction and demolition waste management in the pre-construction stage—A case study approach. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2023.

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.

OLIVEIRA, D. M. **Desenvolvimento de Ferramenta Para Apoio à Gestão de Resíduos de Construção e Demolição Com Uso de Geoprocessamento: caso Bauru**, SP. 2008. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – UFSCar, São Carlos, 2008.

OLIVEIRA, Jaqueline Mata; JÚNIOR, Alberto Casado Lordsleem; DE GOIS SANTOS, Débora. Actions aimed at reducing, reusing and recycling waste in the construction of buildings. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 10, n. 78, 2022.

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.

PANDEY, Bharat Chandra; JAGNNATH, Dahiwale Bhausahed. Reuse of Treated Wastewater. **IJRASET**, v. 10, p. 1915-1918, 2022.

PENTTILÄ, Hannu. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 11, n. 29, p. 395-408, 2006.

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.

PEREIRA, Moacir José Moraes; MENDES, Amilcar Carvalho; PETRACCO, Marcelo. Identification and characterization of Municipal Solid Waste - MSW through geoprocessing and visual analysis of waste in Brazil. **Revista de Geografia, [S. l.]**, v.

39, n. 1, p. 274–290, 2022. DOI: 10.51359/2238-6211.2022.253128. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/253128>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PERNAMBUCO. **Lei Estadual nº 12.008/200**. Dispõe sobre Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. Recife, 2001

PERNAMBUCO. **Decreto Estadual nº 23.941/2002**. Regulamenta a Lei nº 12.008, de 1º de junho de 2001, que dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Recife, 2002.

PINTO, António Pedro de Sousa Vaz. *Controlo da Qualidade em Obra com base em Sistema BIM*. 2017.

PINTO, T. P., GONZALEZ, J. L. R., *Guia Profissional para uma Gestão Correta dos resíduos da Construção*. **CREA-SP Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia do Estado de São Paulo**, 2005.

PRIETO, A. J.; ALARCÓN, L. F. Using Fuzzy Inference Systems for Lean Management Strategies in Construction Project Delivery. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 149, n. 9, p. 04023083, 2023.

PSILOVIKOS, T. A. The use and re-use of timber structure elements, within a waste hierarchy concept, as a tool towards circular economy for buildings. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023. p. 012040.

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.

QUIÑONES, Rocío et al. A multiplatform BIM-integrated construction waste quantification model during design phase. The case of the structural system in a Spanish building. **Recycling**, v. 6, n. 3, p. 62, 2021.

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

RAOUF, Ayman MI; AL-GHAMDI, Sami G. Building information modelling and green buildings: Challenges and opportunities. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 15, n. 1, p. 1-28, 2019.

RECIFE (2005). “Lei Municipal Nº 17.072/2005”. Prefeitura da Cidade do Recife: 03 de janeiro de 2005.

RECK, Maiz Inara. **Gestão de Resíduos de Construção-Estudo de Caso dos Indicadores de Obras em Bragança (Portugal) e Curitiba (Brasil)**. 2018. Tese de Doutorado. Instituto Politécnico de Braganca (Portugal).

- RAHMAN, Muhammad Muhitur et al. Sustainable water use in construction. In: **Sustainable construction technologies**. Butterworth-Heinemann, 2019. p. 211-235.
- ROQUE, Rodrigo Alexander Lombardi; PIERRI, Alexandre Coan. Uso inteligente de recursos naturais e sustentabilidade na construção civil. **Research, society and development**, v. 8, n. 2, p. e3482703-e3482703, 2019.
- SINGH, Premjeet; SADHU, Ayan. Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling. **Sustainable Cities and Society**, v. 49, p. 101603, 2019.
- 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, 2022.
- SCHAMNE, Annelise Nairne; NAGALLI, André; SOEIRO, Alfredo Augusto Vieira. The use of BIM to automated construction and demolition waste management: A literature review from 2009 to 2020. **Revista Brasileira de Gestao Ambiental e Sustentabilidade**, v. 9, n. 21, p. 377-394, 2022.
- SGAMBELLURI, M.; JOHN, B. I. M. Practically Dynamo: Practical Uses for Dynamo within Revit. **Autodesk University**, 2014. Gavilan, R.M., Bernold, L.E., 1994. Source evaluation of solid waste in building construction. *J. Construct. Eng. Manag.* 120, 536e552.
- SHUKRA, Zahra Abdulhadi; ZHOU, Ying. Holistic green BIM: a scientometrics and mixed review. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 28, n. 9, p. 2273-2299, 2021.
- SILVA, Roberto Bernardo et al. Panorama do Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) – Estudo de Caso na Construção do Centro Administrativo do Distrito Federal (CADF). **Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade.**, IV, 2015.
- SILVA, Rogério Oliveira; SILVA, Igor Rodrigues Sousa. Linguagem de Programação Python. **TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO**, v. 10, n. 1, p. 55-71, 2019.
- SILVA, Sandro Pereira; LAMEIRAS, Maria Andreia Parente; CARVALHO, Sandro Sacchet de; RAMOS, Lauro Roberto Albrecht; FERNANDES, Leo Veríssimo. Conjuntura do mercado de trabalho no Brasil: análise dos dados até o primeiro trimestre de 2023. Brasília, DF: Ipea, set. 2023. 28 p.
- SIVASHANMUGAM, Subarna et al. Enhancing information standards for automated construction waste quantification and classification. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104898, 2023.
- SKOYLES, Edward R. **Waste prevention on site**. BT Batsford Limited, 1987.
- 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.

SOUZA GOMES, Rodrigo; LIMA, Emerson Pinheiro Valentim. EDIFÍCIOS SUSTENTÁVEIS E DETALHES DA AVALIAÇÃO BIM EM PROJETOS COMERCIAIS. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological**, v. 8, n. 2, p. 692-706, 2021.

SNIR, 2019. Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos: **Relatório Nacional de Gestão de Resíduos Sólidos 2019**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/relatorios/nacional/>

SNIS, 2019. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em: <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/residuosSolidos/index>

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.

SCHEER, Sergio et al. The scenario and trends in the Brazilian IT construction applications experience. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 12, n. 13, p. 193-206, 2007.

TAM, Vivian Wing-Yan; LU, Weisheng. Construction waste management profiles, practices, and performance: A cross-jurisdictional analysis in four countries. **Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 190, 2016.

TARRAFA, Diogo Gonçalo Pinto. Aplicabilidade prática do conceito BIM em projeto de estruturas. Dissertação de Mestrado, **Universidade de Coimbra**, Departamento de Engenharia Civil. 2012, 69p.

TSERNG, H.; HO, S.; JAN, S. Developing BIM-assisted as-built schedule management system for general contractors. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 20, n. 1, p. 47-58, 2014.

UNITED NATIONS. 2022. Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector. www.globalabc.org.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). Waste wise update: building for the future; 2002, Available from <http://www.epa.gov/wastewise/pubs/wwupda16.pdf>

VALENÇA, Mariluce Zepter. **Resíduos da construção civil: O papel das empresas de coleta e transporte de entulho de obras para uma gestão integrada e sustentável na cidade do Recife, a partir da resolução CONAMA 307/2002**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

WANG, H.; PAN, Y.; LUO, X. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: A review and bibliometric analysis. **Automation in Construction**, China, v. 103, p. 41-52, 2019.

WON, Jongsung; CHENG, Jack CP; LEE, Ghang. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste Management**, v. 49, p. 170-180, 2016.

WU, Zezhou et al. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste management**, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014.

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.

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

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.