



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS RUSSAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**DYCKSON MATHEUS SANTOS DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RCD EM UMA OBRA DE ALTO  
PADRÃO: ANÁLISE IN LOCO E METODOLOGIA BIM**

**Russas**

**2023**

DYCKSON MATHEUS SANTOS DE OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RCD EM UMA OBRA DE ALTO  
PADRÃO: ANÁLISE IN LOCO E METODOLOGIA BIM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia civil do Campus de Russas da universidade federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Orientadora: Profa. Dra. Laís Cristina Barbosa Costa

RUSSAS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S234a Santos, Dyckson matheus.  
Análise comparativa da geração de RCD em uma obra de alto padrão: análise in loco e metodologia BIM / Dyckson matheus Santos. – 2023.  
44 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Curso de Engenharia Civil, Russas, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Lais Cristina Barbosa Costa.
1. Resíduos de construção e demolição . 2. Gestão de obra . 3. Análise comparativa . I. Título.  
CDD 620
-

DYCKSON MATHEUS SANTOS DE OLIVEIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DA GERAÇÃO DE RCD EM UMA OBRA DE ALTO  
PADRÃO: ANÁLISE IN LOCO E METODOLOGIA BIM

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia civil do campus de russas da universidade federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em engenharia civil.

Aprovada em: 30/11/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Profa. Dra. Laís Cristina Barbosa Costa (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Dra. Daniela Lima Machado da Silva (Avaliadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Profa. Ms.. Andriele Nascimento de Souza (Avaliadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Edilene e Fabiano

A minha filha Ana Livia.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por me permitir concluir esse ciclo.

A minha família, em especial meus pais, Fabiano e Edilene, que sempre me incentivaram e me encaminharam no caminho até aqui.

Aos colegas de faculdade que dividiram comigo os momentos bons e difíceis, em especial Marcelo Freires, Hyago Marques, Arthur Oliveira, Juarez Cordeiro, Henrique, Marcelo Douglas e Felipe.

“Há homens incapazes para as ciências, mas  
não incapazes de virtude.”

Confúcio

## RESUMO

À medida que a urbanização avança, municípios do interior do Brasil, anteriormente de pequena expressão na construção civil, assumem um papel mais significativo nesse setor crucial. No entanto, muitos desses municípios carecem de uma destinação adequada para esses resíduos, agravando os desafios relacionados à gestão ambiental, e evidenciando a necessidade de um aprofundamento nos estudos da gestão desses resíduos. Este trabalho foca na gestão de resíduos sólidos na construção civil, a partir do estudo de caso de uma obra de alto padrão em Trairi (CE). Utilizando a metodologia BIM (*Building Information Modeling*), busca-se não apenas quantificar e qualificar os resíduos, mas também comparar esses resultados com as práticas convencionais. A metodologia adotada envolveu a coleta manual de dados na obra, incluindo tipos e volumes de resíduos gerados. Além disso, foi desenvolvido um modelo BIM no Revit para simular e prever a geração de resíduos. A análise comparativa entre os dados reais e os previstos pelo modelo BIM destaca a eficácia dessa ferramenta na gestão de resíduos na construção civil. Os resultados para materiais como porcelanato, reboco e forro de gesso indicam a necessidade de um planejamento cuidadoso, considerando a qualificação da mão de obra e o planejamento de execução. A pesquisa ressalta a correlação positiva entre as estimativas do modelo BIM e os dados reais coletados, validando a precisão do modelo na previsão e gestão de resíduos.

**Palavras-chave:** resíduos de construção e demolição; gestão de obra; análise comparativa

## ABSTRACT

As urbanization progresses, municipalities in the interior of Brazil, once of minor significance in the construction industry, are taking on a more significant role in this crucial sector. However, many of these municipalities lack proper waste disposal, exacerbating environmental management challenges and highlighting the need for in-depth studies on waste management. This work focuses on solid waste management in construction, using a case study of a high-end project in Trairi (CE). Employing Building Information Modeling (BIM) methodology, the aim is not only to quantify and qualify the waste but also to compare these results with conventional practices. The adopted methodology involved manual data collection on-site, including types and volumes of generated waste. Additionally, a BIM model was developed in Revit to simulate and predict waste generation. Comparative analysis between real data and those predicted by the BIM model underscores the effectiveness of this tool in construction waste management. Results for materials like porcelain, plaster, and gypsum ceiling indicate the need for careful planning, considering workforce qualification and execution planning. The research emphasizes the positive correlation between BIM model estimates and actual collected data, validating the model's accuracy in waste prediction and management.

**Keywords:** Construction and demolition waste; construction site management; comparative analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma com sequências metodológicas .....	28
Figura 2- (a) Registro do canteiro de obras (b) Localização do condomínio indicado pelo marcador .....	29
Figura 3- (a) Modelagem feita no Revit (b) Casa já concluída.....	31

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Resíduos gerados ao longo do tempo.....	34
Gráfico 2 – resíduos acumulados por atividade.....	34

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - tabela com taxas de perdas usuais .....	32
Tabela 2 – Quatitativo de RCD por categoria e data.....	33
Tabela 3 – Comparativo entre diferentes áreas de aplicação e tamanhos de porcelanato.....	36
Tabela 4 – Comparativo do RCD gerado pelo reboco em diferentes áreas.....	38
Tabela 5 – Comparativo forro de gesso .....	39

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
RCD	Resíduos de Construção e Demolição
PGRCC	Plano De Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 OBJETIVOS</b> .....	15
1.1.1 GERAL .....	15
1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
2.1 DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	16
<b>2.1.1 Tipos de Desperdícios e suas Origens</b> .....	17
<b>2.1.2 Estratégias de Redução de Desperdício</b> .....	18
2.2 GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	18
<b>2.2.1 Legislação Brasileira e Técnicas de Gerenciamento de RCD</b> .....	20
<b>2.2.2 Gerenciamento de RCD no Estado do Ceará</b> .....	22
2.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NA GESTÃO DE RESÍDUOS .....	22
<b>2.3.1 Integração entre BIM e Gestão de Resíduos</b> .....	23
2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
<b>2.4.1 Tipologia dos Resíduos</b> .....	25
<b>2.4.2 Técnicas de Caracterização</b> .....	26
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	27
3.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS.....	28
<b>3.1.1 Parâmetros de Avaliação</b> .....	30
3.2 UTILIZAÇÃO DO REVIT PARA GESTÃO DE RESÍDUOS .....	30
3.3 ANÁLISE COMPARATIVA COM METODOLOGIA BIM.....	32
<b>4. RESULTADOS</b> .....	33
4.1 RESÍDUOS GERADOS EM OBRA.....	33
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA.....	35
<b>4.2.1 Comparativo revestimento</b> .....	35
<b>4.2.2 Comparativo reboco</b> .....	38
<b>4.2.3 Comparativo forro</b> .....	39
<b>5. CONCLUSÃO</b> .....	40
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção, ao longo de toda a sua cadeia produtiva, provoca significativas transformações no ambiente, resultando em um impacto ambiental proporcional à sua magnitude. A construção civil é um dos setores econômicos de maior impacto no meio ambiente. Entre os impactos causados por essa atividade, pode-se citar o elevado volume de resíduos gerados, que, na maioria dos municípios brasileiros, são depositados irregularmente, intensificando os problemas de saneamento nas áreas urbanas.

Para mitigar esse problema, torna-se fundamental uma gestão eficiente dos resíduos gerados no setor da construção civil. Isso envolve práticas que visam à prevenção da geração de resíduos, à reutilização de materiais sempre que possível, à reciclagem de componentes e à disposição adequada dos resíduos remanescentes. Portanto, a questão dos resíduos sólidos na construção civil é um desafio central para a busca da sustentabilidade no setor, e sua abordagem eficaz é essencial para minimizar o impacto ambiental negativo.

Uma gestão mais eficaz de resíduos sólidos na indústria da construção se faz cada vez mais necessária à medida que produzimos mais resíduos e necessitamos buscar práticas mais sustentáveis e responsáveis. Nesse sentido, a indústria da construção possui significativa contribuição para a geração de resíduos, que incluem entulhos, sobras de materiais e embalagens.

Uma gestão mais adequada desses resíduos não apenas contribui para a preservação ambiental, onde os recursos naturais se mostram cada vez mais escassos, como também ajuda reduzindo custos e conseqüentemente com retorno econômico para as construtoras. Nesse sentido, o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) é uma ferramenta estratégica e obrigatória que visa à gestão eficiente de resíduos em projetos de construção, desde sua geração até a disposição final e busca cumprir com as regulamentações ambientais e tornar o processo construtivo mais sustentável.

Ao alinhar os dados coletados com as tecnologias de modelagem da informação da construção (BIM), há uma oportunidade de otimizar recursos e minimizar impactos ambientais, ao mesmo tempo em que pode gerar economia de custos. Conforme destacado por Yeheyis *et al.* (2013), "o gerenciamento eficaz dos resíduos da construção não é apenas uma responsabilidade social e ambiental, mas também uma oportunidade de redução de custos e melhoria da eficiência operacional."

Neste estudo, quantificou-se e qualificou-se os resíduos gerados nas etapas de acabamento de uma obra de alto padrão situada no município de Trairi(CE), fornecendo uma visão detalhada dos tipos e volumes de resíduos produzidos. Além disso, foi identificado oportunidades de melhoria na gestão de resíduos sólidos, propondo medidas mitigadoras que possam otimizar o processo e reduzir o impacto ambiental. Por meio da análise comparativa com os resultados obtidos pela metodologia BIM, almejamos avaliar como essa abordagem pode influenciar positivamente a gestão de resíduos na construção civil.

Também foi observado a conformidade com as práticas de gestão de resíduos adotadas na obra e as diretrizes estabelecidas pelo Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC). Permitindo uma análise crítica das práticas atuais em relação às políticas e regulamentações vigentes.

No geral, este estudo buscou fornecer uma visão das questões relacionadas à gestão de resíduos sólidos na construção civil, destacando a importância da adoção de práticas responsáveis. Com base nos resultados, foi possível obter conclusões que possam servir como base para melhorias na gestão de RCD, ao mesmo tempo em que destacamos o potencial da metodologia BIM como uma ferramenta de gestão desse processo.

Neste contexto foi feita uma análise abrangente da geração e gestão de resíduos dessas etapas, assim como uma comparação com os resultados obtidos por meio do uso de software de metodologia BIM (Building InformationModeling).

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Realizar um estudo de caso específico relacionado à gestão de resíduos sólidos durante a fase de acabamento, fazendo uma análise comparativa com os resultados obtidos utilizando a metodologia BIM (Building InformationModeling). O estudo foi conduzido em uma obra de alto padrão no município de Trairi (CE).

### **1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICOS**

- Quantificar e descrever os resíduos gerados pelo processo de implantação de uma obra residencial na etapa de acabamento;
- Analisar a gestão dos resíduos sólidos da obra estudada por parte do gerador;
- Propor um melhor aperfeiçoamento na gestão dos resíduos sólidos da obra estudada;
- Propor medidas mitigadoras de gestão de resíduos sólidos para obra;

- Utilizar a metodologia BIM (Building Information Modeling), para prever os resultados da geração de RCD, e compará-los com os resultados obtidos In Loco

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O impacto ambiental da indústria da construção é inegável e significativo, levantando preocupações sobre a sustentabilidade e a preservação dos recursos naturais (MÁLIA, 2010). A necessidade de prevenção e redução da geração de resíduos na construção é reforçada em diversas literaturas, incluindo os trabalhos de AZEVEDO, KIPERSTOK e MORAES (2006). Esses autores argumentam que para atingir níveis sustentáveis, não apenas ambientais, mas também econômicos, é indispensável que o setor de construção tenha como foco estratégias de prevenção e minimização de resíduos. A relação direta entre desenvolvimento socioeconômico e a produção de resíduos, destacada por TESSARO *et al.* (2012), serve como um alerta sobre os desafios de gerenciamento de resíduos que surgirão com o crescimento urbano e desenvolvimento econômico.

Mariano (2008) contribui para esse quadro identificando as principais fontes de resíduos da construção civil, que vão desde construções, reformas, demolições até obras viárias e escavações. Conhecer essas fontes é crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de minimização e disposição de resíduos. Faniran e Caban (1998 apud Liu *et al.*, 2011) abordam outra dimensão desse problema, sugerindo que uma série de fatores, incluindo mudanças inesperadas em projetos ou erros de projeto e detalhamento, podem ser causas subjacentes à geração de resíduos excessivos.

### 2.1 DESPERDÍCIOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O desperdício na construção civil é uma questão que impacta negativamente a sustentabilidade do setor, com implicações econômicas, ambientais e sociais. Segundo Poon, Yu, e Ng (2001), o desperdício de materiais não só eleva os custos de construção, mas também contribui para o esgotamento de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos, exigindo atenção para práticas de gestão mais eficientes.

A origem do desperdício pode ser variada, incluindo ineficiências no processo de construção, erros de projeto, má gestão de materiais e falhas na execução. Formoso, Soibelman, e De Cesare (2002) apontam que a falta de planejamento e coordenação entre as equipes de

trabalho é uma das principais causas de desperdício, resultando em retrabalho e perda de materiais. A minimização do desperdício passa pela adoção de metodologias de construção enxuta e práticas de gestão de resíduos eficazes. Além disso, a reciclagem e o reaproveitamento de materiais são estratégias fundamentais para reduzir o volume de desperdícios.

Em resumo, o combate ao desperdício na construção civil requer uma mudança de paradigma, com a adoção de novas tecnologias, práticas sustentáveis e uma gestão eficiente de recursos. A conscientização e a educação de todos os agentes do setor são essenciais para alcançar uma construção mais sustentável e responsável, alinhada com os objetivos de desenvolvimento sustentável global.

O desperdício na construção civil não só tem um impacto ambiental como também tem graves implicações econômicas. A gestão eficaz do desperdício não só reduz os custos, mas também pode ser um diferencial competitivo para as empresas de construção. A eficiência no uso de recursos pode levar a propostas de preços mais competitivas e melhorar a margem de lucro. Em um contexto mais amplo, a redução do desperdício também pode ter benefícios sociais, incluindo a diminuição da necessidade de locais de descarte, que frequentemente afetam comunidades menos privilegiadas (Lu e Yuan, 2011).

### **2.1.1 Tipos de Desperdícios e suas Origens**

Materiais como concreto, madeira, metais e plásticos, quando mal aproveitados durante a etapa de construção, resultam em sobras que contribuem para o aumento do volume de resíduos sólidos, exigindo ações de manejo e disposição que oneram tanto construtoras quanto o meio ambiente (Formoso *et al.*, 2002).

A raiz desse desperdício muitas vezes reside na deficiência de processos de planejamento e coordenação. A ausência de uma gestão eficaz pode levar a sobrecompras, armazenamento inadequado e perda de materiais, além de retrabalho devido a erros de execução ou mudanças de projeto não antecipadas. Estes problemas são realçados por práticas de trabalho obsoletas e pela resistência à adoção de novas tecnologias e métodos mais eficientes (Bertelsen e Koskela, 2002).

No Brasil, especificamente, o desperdício é amplificado pela informalidade e pela falta de qualificação dos trabalhadores, que muitas vezes não recebem treinamento adequado para aplicar práticas construtivas mais eficientes e sustentáveis. A escassez de investimentos em tecnologia e inovação no setor também contribui para a perpetuação de métodos ineficazes, resultando em desperdício

Para enfrentar esses desafios, é imperativo que o setor de construção civil adote uma cultura de melhoria contínua, investindo em capacitação profissional e em tecnologias como o BIM, que podem auxiliar na previsão e redução de desperdícios. Além disso, uma maior integração e comunicação entre os diversos agentes envolvidos nos projetos, desde o planejamento até a execução, são fundamentais para otimizar o uso de materiais e recursos humanos, alinhando as práticas construtivas com os princípios de sustentabilidade e eficiência.

### **2.1.2 Estratégias de Redução de Desperdício**

Para mitigar o desperdício na construção civil, é necessário implementar estratégias que abordem tanto a gestão de materiais quanto a eficiência dos processos. Uma abordagem eficaz é a adoção de práticas de construção enxuta, que visam a maximização do valor entregue ao cliente enquanto minimizam o desperdício. Isso inclui planejamento detalhado, melhoria contínua e eliminação de atividades que não agregam valor ao projeto (Koskela, 1992).

A utilização de tecnologias como o BIM, também desempenha um papel crucial na redução de desperdícios. O BIM permite a criação de modelos digitais detalhados que facilitam a previsão e o planejamento preciso do uso de materiais, além de possibilitar simulações de construção e a detecção antecipada de conflitos que poderiam resultar em retrabalho (Sacks et al., 2010).

Outra estratégia importante é a gestão eficiente da cadeia de suprimentos, que envolve a coordenação e a comunicação entre fornecedores e a obra, garantindo que os materiais certos sejam entregues no momento certo e na quantidade necessária. Isso reduz o excesso de estoque e o risco de danos ou perda de materiais (Vrijhoefe&Koskela, 2000).

Por fim, a educação e o treinamento dos trabalhadores são essenciais para a implementação bem-sucedida de práticas de redução de desperdício. Trabalhadores bem informados e qualificados são mais propensos a adotar novas tecnologias e métodos de trabalho que contribuem para a eficiência e a sustentabilidade do setor (Tezel, Koskela, & Tzortzopoulos, 2009).

Essas estratégias, quando implementadas de forma integrada, podem levar a uma redução significativa do desperdício na construção civil, resultando em projetos mais econômicos e ambientalmente sustentáveis.

## **2.2 GESTÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL**

A gestão de RCDA é uma área de pesquisa e prática que vem recebendo atenção crescente, tanto em âmbitos acadêmicos quanto industriais (Kofoworola&Gheewala, 2009). No contexto

brasileiro, essa preocupação é agravada por ineficiências no planejamento e execução das obras, que muitas vezes levam ao desperdício de materiais (Formoso et al., 2002). Portanto, a gestão adequada de resíduos não é apenas uma questão de responsabilidade ambiental, mas também uma estratégia econômica fundamental para a indústria da construção (Yeheyis et al., 2013).

A complexidade do setor da construção civil no Brasil adiciona camadas de desafio à gestão de resíduos. Este é um setor que varia desde pequenas obras residenciais até grandes projetos de infraestrutura pública, sendo ainda complicado por questões como informalidade e falta de investimento em tecnologia e inovação (Souza et al., 2013). Este cenário multifacetado exige uma abordagem igualmente diversificada para o gerenciamento de resíduos, que deve considerar os contextos específicos dentro dos quais os resíduos são gerados e geridos.

Um aspecto vital para o controle efetivo da geração de resíduos na construção civil é a criação e implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção (PGRC). Esse plano serve como um guia abrangente para identificar, quantificar e gerir os resíduos de uma obra, assegurando que sejam coletados, armazenados e descartados de forma responsável (Melo et al., 2011).

A etapa de acabamento na construção civil é particularmente crítica quando se fala em desperdício e sustentabilidade. Frequentemente, essa fase é marcada pelo uso excessivo de materiais e recursos, muitos dos quais acabam se tornando resíduos devido a erros de aplicação, retrabalho ou simples descuido. A adoção de práticas sustentáveis nesta etapa não só minimiza o desperdício, mas também pode levar a economias significativas em termos de custos (Barros et al., 2014).

A gestão eficaz de resíduos não é apenas uma questão ambiental, mas também financeira. A falha em gerenciar resíduos de forma eficiente pode resultar em custos adicionais consideráveis, que incluem não só o custo de descarte dos resíduos, mas também o valor dos materiais desperdiçados. Dessa forma, um PGRC bem estruturado pode funcionar como uma ferramenta de economia, ajudando as construtoras a otimizar o uso de materiais e, conseqüentemente, reduzir custos (Smith et al., 2019).

A tecnologia também desempenha um papel significativo na gestão de resíduos, como apontado por Wang et al. (2010). O uso de softwares de modelagem da informação da construção (BIM) pode melhorar a precisão do projeto e a coordenação entre as disciplinas, potencialmente reduzindo erros que resultam em desperdício. Além disso, a implementação de sistemas de gestão ambiental (SGA), conforme discutido por Shen et al. (2004), pode ajudar as empresas a identificar, controlar e melhorar continuamente seu desempenho ambiental, incluindo a gestão de resíduos.

A integração de práticas de construção enxuta com a gestão ambiental também é uma área de interesse, como sugerido por Formoso et al. (2002). A aplicação de princípios enxutos pode reduzir o desperdício de materiais e melhorar a eficiência dos processos, contribuindo para a sustentabilidade da construção. No entanto, como Koskela et al. (2002) argumentam, a implementação bem-sucedida dessas práticas requer uma mudança cultural e organizacional significativa dentro das empresas de construção.

Finalmente, a legislação e as políticas públicas têm um papel fundamental na moldagem das práticas de gestão de resíduos no setor. Como Poon et al. (2001) observam, regulamentos e incentivos governamentais podem promover a adoção de práticas sustentáveis. A eficácia dessas políticas, no entanto, depende de sua adequação ao contexto local e da capacidade do setor de responder a esses estímulos regulatórios.

### **2.2.1 Legislação Brasileira e Técnicas de Gerenciamento de RCD**

A legislação brasileira, por meio da Resolução CONAMA 307 e da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece diretrizes para a gestão de resíduos de construção e demolição (RCD). Essas normativas visam ordenar a disposição e o tratamento de resíduos, promovendo a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental (CONAMA, 2002; Brasil, 2010). A efetiva aplicação dessas normas, contudo, enfrenta desafios como os custos de implementação e a insuficiência na fiscalização (Pinto, 1999).

A descentralização da gestão de RCD é um dos pilares da Resolução CONAMA 307, atribuindo responsabilidades tanto para os municípios quanto para as empresas privadas. Os municípios são incentivados a criar sistemas de coleta seletiva e instalações de reciclagem para RCD, enquanto as empresas são obrigadas a desenvolver e seguir um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), reforçando a gestão responsável de resíduos (CONAMA, 2002; Santos et al., 2015).

A PNRS reforça a sustentabilidade ao introduzir a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, com ênfase na redução, reutilização, reciclagem e tratamento adequado dos resíduos. Essa política incentiva a economia circular, onde materiais são reintegrados ao ciclo produtivo, gerando benefícios econômicos e ambientais (Brasil, 2010; Machado et al., 2016).

Um aspecto vital para o controle efetivo da geração de resíduos na construção civil é a criação e implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção (PGRC). Esse plano serve como um guia abrangente para identificar, quantificar e gerir os resíduos de uma obra, assegurando que sejam coletados, armazenados e descartados de forma responsável

(Melo et al., 2011). Dessa forma, um PGRC bem estruturado pode funcionar como uma ferramenta de economia, ajudando as construtoras a otimizar o uso de materiais e, conseqüentemente, reduzir custos (Smith et al., 2019).

Essas regulamentações são complementadas por técnicas de gerenciamento de RCD que incluem a segregação de materiais no local de geração, o uso de tecnologias para a reciclagem de resíduos e a adoção de práticas de construção que minimizem a geração de resíduos. A integração dessas técnicas com as diretrizes legais é fundamental para o avanço da gestão de resíduos no Brasil, promovendo a sustentabilidade e a eficiência no setor da construção civil.

A implementação de técnicas de gerenciamento de RCD no Brasil ainda é um processo em desenvolvimento. A segregação de resíduos na origem, uma prática recomendada pela legislação, é essencial para a reciclagem eficiente e a redução de custos com transporte e disposição final. No entanto, a adoção dessa prática enfrenta obstáculos como a falta de espaço nos canteiros de obras e a resistência cultural à mudança nos processos construtivos (Silva et al., 2009).

A reciclagem de RCD é uma área que tem recebido atenção crescente, dada a sua capacidade de transformar resíduos em recursos. A utilização de resíduos reciclados como matéria-prima para novos produtos de construção não só diminui a demanda por recursos naturais, mas também pode reduzir significativamente o volume de resíduos destinados a aterros (Ferreira et al., 2013). Sendo possível inclusive, o uso de RCD em concretos estruturais, seguindo a ABNT NBR 15116:2021.

A legislação brasileira também promove a adoção de práticas de construção sustentáveis, como o design modular e o uso de materiais ecoeficientes. Estas práticas não só contribuem para a redução da geração de RCD, mas também melhoram a eficiência energética dos edifícios e reduzem o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida da construção (Costa et al., 2012). A integração dessas práticas no início do processo de design é fundamental para maximizar seus benefícios.

Um aspecto vital para o controle efetivo da geração de resíduos na construção civil é a criação e implementação de um Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção (PGRC). Esse plano serve como um guia abrangente para identificar, quantificar e gerir os resíduos de uma obra, assegurando que sejam coletados, armazenados e descartados de forma responsável (Melo et al., 2011).

Por fim, a conscientização e a educação de todos os envolvidos no setor da construção civil são fundamentais para a implementação efetiva das técnicas de gerenciamento de RCD.

Programas de treinamento e campanhas de conscientização podem aumentar o conhecimento sobre a importância da gestão de resíduos e promover a adoção de práticas sustentáveis (Gonçalves et al., 2014). A colaboração entre governos, instituições educacionais e empresas privadas é crucial para fomentar uma cultura de sustentabilidade no setor.

### **2.2.2 Gerenciamento de RCD no Estado do Ceará**

No Ceará, pode-se considerar a deficiência de diretrizes específicas em cada município, por exemplo, o município de Trairi não possui um PGRCC. Apenas cidades maiores, como Fortaleza e Maracanaú, possuem um projeto próprio que permite maior eficácia da gestão de RCD. Existem programas de gestão de resíduos sólidos para todo o Ceará, porém se mostra necessário cada vez mais programas que foquem apenas na geração de resíduos de construção civil.

O desenvolvimento de parcerias estratégicas entre o governo, a indústria da construção civil, instituições acadêmicas e a sociedade civil é essencial para superar os obstáculos atuais. A colaboração pode levar à inovação em técnicas de gerenciamento de RCD e à implementação de sistemas de gestão de resíduos mais eficazes. A integração de práticas sustentáveis no setor da construção civil, alinhadas às diretrizes nacionais e estaduais, pode contribuir significativamente para a mitigação dos impactos ambientais e para o desenvolvimento sustentável do Ceará.

Em suma, o gerenciamento de RCD no Ceará requer uma abordagem multifacetada que considere as peculiaridades regionais, promova a participação comunitária, fortaleça as políticas públicas e incentive a educação e a capacitação. Através dessas ações, é possível avançar em direção a um modelo de gestão de resíduos que seja ambientalmente responsável, economicamente viável e socialmente justo.

### **2.3 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA BIM NA GESTÃO DE RESÍDUOS**

A metodologia Building Information Modeling (BIM) tem se consolidado como uma ferramenta revolucionária na gestão de resíduos na construção civil, oferecendo uma abordagem integrada para o design, a construção e a operação de edifícios. Segundo Eastman et al. (2011), o BIM facilita a colaboração e a comunicação entre todas as partes interessadas de um projeto, desde o planejamento até a execução, permitindo uma gestão mais eficiente dos materiais e, conseqüentemente, a redução de resíduos.

A integração do BIM com outras tecnologias inovadoras, como a Internet das Coisas (IoT) e a Inteligência Artificial (IA), tem o potencial de transformar a gestão de resíduos em

um sistema altamente eficiente e sustentável. Wang et al. (2020) destacam que a combinação dessas tecnologias pode fornecer dados valiosos em tempo real, permitindo ajustes proativos no uso de materiais e métodos construtivos, minimizando o desperdício e promovendo a sustentabilidade.

A capacidade do BIM de simular diferentes cenários construtivos e prever seus impactos ambientais é uma de suas contribuições mais significativas para a gestão de resíduos. Matarneh et al. (2018) ressaltam que essas simulações permitem que os profissionais façam escolhas informadas e sustentáveis desde as fases preliminares de design, resultando em economia de recursos e redução na geração de resíduos.

Além disso, o BIM apoia a implementação de práticas de construção enxuta, facilitando a identificação de sobreposições e ineficiências no processo construtivo, o que pode ser decisivo para a minimização de resíduos. Sacks et al. (2010) argumentam que a visualização e análise de dados proporcionadas pelo BIM são essenciais para a otimização dos fluxos de trabalho e a redução do desperdício de materiais.

A adoção do BIM na gestão de resíduos também está alinhada com as diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) do Brasil, que enfatiza a importância da prevenção e da redução na geração de resíduos como parte de uma abordagem de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (Brasil, 2010). Ao possibilitar uma análise detalhada do ciclo de vida dos materiais de construção, o BIM oferece uma plataforma para a tomada de decisões alinhadas com os princípios de sustentabilidade e eficiência.

Em resumo, a aplicação da metodologia BIM na gestão de resíduos representa uma evolução significativa nas práticas construtivas, alinhando-se com as necessidades de um setor cada vez mais voltado para a sustentabilidade e eficiência. A integração do BIM com outras tecnologias e práticas inovadoras é um caminho promissor para alcançar uma gestão de resíduos mais eficaz e responsável ambientalmente.

### **2.3.1 Integração entre BIM e Gestão de Resíduos**

A integração de BIM com sistemas de Gerenciamento de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) é especialmente relevante em projetos de grande escala que envolvem múltiplos stakeholders (Ma et al., 2018). Em tais cenários, a abordagem unificada fornecida pelo BIM pode simplificar a coordenação e melhorar o fluxo de informações, o que é crucial para o gerenciamento eficaz dos resíduos.

Em relação ao treinamento e à adoção de novas tecnologias, é importante notar que enquanto o BIM oferece um leque de ferramentas sofisticadas, o sucesso de sua implementação depende fortemente da capacidade da equipe em utilizar essas ferramentas eficientemente (Barlish& Sullivan, 2012). Portanto, programas de treinamento e workshops específicos podem ser essenciais para superar as barreiras culturais e técnicas mencionadas.

No contexto das ferramentas específicas de BIM, o software Revit, desenvolvido pela Autodesk, emerge como uma plataforma extremamente popular e versátil para a gestão de resíduos em projetos de construção (Autodesk, 2021). Além de permitir o design tridimensional de alta qualidade, o Revit também oferece funcionalidades robustas para a simulação e o planejamento de recursos, incluindo a estimativa precisa de materiais e a subsequente geração de resíduos.

A integração de tais funcionalidades na plataforma torna o Revit uma ferramenta poderosa não apenas para o design e planejamento de construção, mas também para a implementação de estratégias eficazes de minimização de resíduos. Nesse contexto, vale destacar a possibilidade de utilizarmos plug-ins, que são extensões na ferramenta Revit que auxiliam e otimizam o uso da ferramenta, neste caso específico o uso do plug-in Dynamo, que permite, com o uso de algoritmos, modelar e gerenciar imagens 3D e dados de interesse.

Por fim, embora o BIM ofereça diversas vantagens em termos de gerenciamento de resíduos, ainda existe um longo caminho a ser percorrido no que diz respeito à sua adoção generalizada no Brasil e, particularmente, no estado do Ceará. Fatores como custo de implementação, falta de profissionais treinados e uma legislação ainda em desenvolvimento são obstáculos que precisam ser superados para que o BIM seja amplamente utilizado na gestão de resíduos (Sampaio et al., 2017).

#### 2.4 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A caracterização dos resíduos na construção civil é um passo essencial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão e minimização de desperdícios. A legislação desempenha um papel crucial na gestão de resíduos. No Brasil, a Resolução CONAMA 307 estabelece diretrizes para a gestão de resíduos da construção civil, promovendo a reciclagem e a reutilização e minimizando o descarte em aterros. A conformidade com essas regulamentações não só é uma responsabilidade legal, mas também uma prática que reforça o compromisso com a sustentabilidade.

Os resíduos gerados podem ser classificados em diversas categorias, como resíduos de novas construções, reformas, demolições e processos de manutenção. Segundo Pinto (1999), a

composição desses resíduos varia amplamente e pode incluir concreto, tijolos, madeira, metal, plástico, gesso, entre outros materiais.

A identificação e separação dos resíduos no local de construção são fundamentais para possibilitar a reciclagem e o reaproveitamento de materiais. Fisher (1998) ressalta que a segregação eficiente dos resíduos contribui para a redução dos impactos ambientais e pode gerar economia de custos com a venda de materiais recicláveis ou sua reutilização em novos projetos. Os resíduos gerados podem ser separados em diversas categorias, como resíduos de novas construções, reformas, demolições e processos de manutenção. Segundo Pinto (1999), a composição desses resíduos varia amplamente e pode incluir concreto, tijolos, madeira, metal, plástico, gesso, entre outros materiais.

A gestão dos resíduos começa com a quantificação e a classificação precisa dos materiais descartados. Lu e Yuan (2010) enfatizam a importância de sistemas de monitoramento para rastrear a geração de resíduos e identificar oportunidades para a redução, reutilização e reciclagem. Esses sistemas podem ser apoiados por tecnologias como o BIM, que permitem a modelagem detalhada dos materiais utilizados e a previsão de resíduos. Portanto, a caracterização adequada dos resíduos é um componente chave para o manejo responsável dos recursos e a sustentabilidade na construção civil. Através da implementação de práticas de gestão de resíduos baseadas em dados precisos e regulamentações efetivas, é possível avançar em direção a um setor construtivo mais sustentável e menos impactante ao meio ambiente.

#### **2.4.1 Tipologia dos Resíduos**

A tipologia dos resíduos na construção civil é uma ferramenta essencial para a gestão ambientalmente responsável e eficiente dos materiais descartados. A CONAMA 307 estabelece critérios, diretrizes e procedimentos para a gestão de RCD, além de dividir esses resíduos em quatro classes distintas, levando em consideração sua possibilidade de reutilização.

A Classe A abrange resíduos reutilizáveis ou recicláveis, como componentes cerâmicos e materiais provenientes de obras de infraestrutura. Na Classe B, encontram-se resíduos recicláveis, como plásticos, papel, metais e madeira, destinados a processos de reutilização. A Classe C engloba resíduos sem tecnologias economicamente viáveis para reciclagem, exigindo uma abordagem cuidadosa. A Classe D compreende resíduos perigosos, como tintas, solventes e materiais contaminados, oriundos de construção e demolição industrial, exigindo tratamento especial. A correta identificação e segregação destas categorias são cruciais para uma gestão ambientalmente responsável dos resíduos da construção civil, promovendo a sustentabilidade do setor.

Os resíduos de construção e demolição (RCD) são comumente divididos em categorias como inertes, não-inertes, perigosos e não perigosos, como estabelece a NBR 10004, cada um com métodos específicos de tratamento e disposição (Poon et al., 2001). Os resíduos inertes, por exemplo, são aqueles que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas significativas, enquanto os não-inertes podem decompor-se ou reagir de maneiras que possam causar impacto ao meio ambiente.

Os resíduos perigosos, por sua vez, são aqueles que, devido a suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, podem apresentar riscos à saúde pública e ao meio ambiente, exigindo cuidados especiais em seu manejo (Kulatunga et al., 2006). Já os resíduos não perigosos, embora menos prejudiciais, ainda requerem atenção para que sejam reciclados ou reutilizados de forma eficaz, evitando o desperdício de recursos.

A origem dos resíduos é um aspecto determinante para a sua classificação e gestão. Os resíduos podem ser gerados em diferentes etapas do processo construtivo, desde a fase de projeto até a execução e manutenção das edificações (Kofoworola&Gheewala, 2009). A compreensão da origem dos resíduos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de minimização e reciclagem, pois permite a identificação de oportunidades de melhoria nos processos e práticas construtivas (Formoso et al., 2002).

A gestão eficaz dos RCD passa pela implementação de um sistema de segregação no canteiro de obras, que permite a separação dos resíduos conforme sua tipologia. Isso facilita a reciclagem e a reutilização de materiais e contribui para a redução dos custos de disposição. Além disso, a adoção de práticas de construção sustentável e o uso de materiais com menor potencial de geração de resíduos podem diminuir significativamente a quantidade de RCD produzidos.

#### **2.4.2 Técnicas de Caracterização**

A caracterização dos resíduos de construção e demolição (RCD) envolve o uso de técnicas específicas que permitem a identificação das propriedades físicas e químicas dos materiais descartados. A análise granulométrica, por exemplo, é uma técnica comum que determina a distribuição do tamanho das partículas dos resíduos, fornecendo informações valiosas para o processo de reciclagem e reutilização (Esin&Cosgun, 2007). A norma NBR 9935 (ABNT, 2011) acerca de Terminologia de Agregados categoriza os agregados reciclados em duas classes: aqueles originados predominantemente de concreto (ARC) e os de origem mista (ARM). A distinção essencial é que os agregados ARC devem ter, no mínimo, 90% de sua

massa composta por resíduos de concreto, ao passo que os agregados ARM apresentam menos de 90% de sua massa proveniente de resíduos de cimento Portland e rochas.

ANBR 15116 (ABNT, 2021), permite o uso de agregados reciclados em concretos estruturais, diferentemente da versão anterior que os limitava a concretos não estruturais. Essa normativa estabelece todos os requisitos que devem ser atendidos para uso. A caracterização também inclui a avaliação da toxicidade dos resíduos, seguindo critérios da NBR 10004 (ABNT, 2004a) que categoriza os resíduos com base em seus potenciais riscos ambientais, a classificação inclui a Classe I para resíduos perigosos, Classe II A para resíduos não perigosos e não inertes, e Classe II B para resíduos não perigosos e inertes. Essa norma fornece critérios essenciais para a gestão apropriada de resíduos, contribuindo para a preservação ambiental e a segurança.

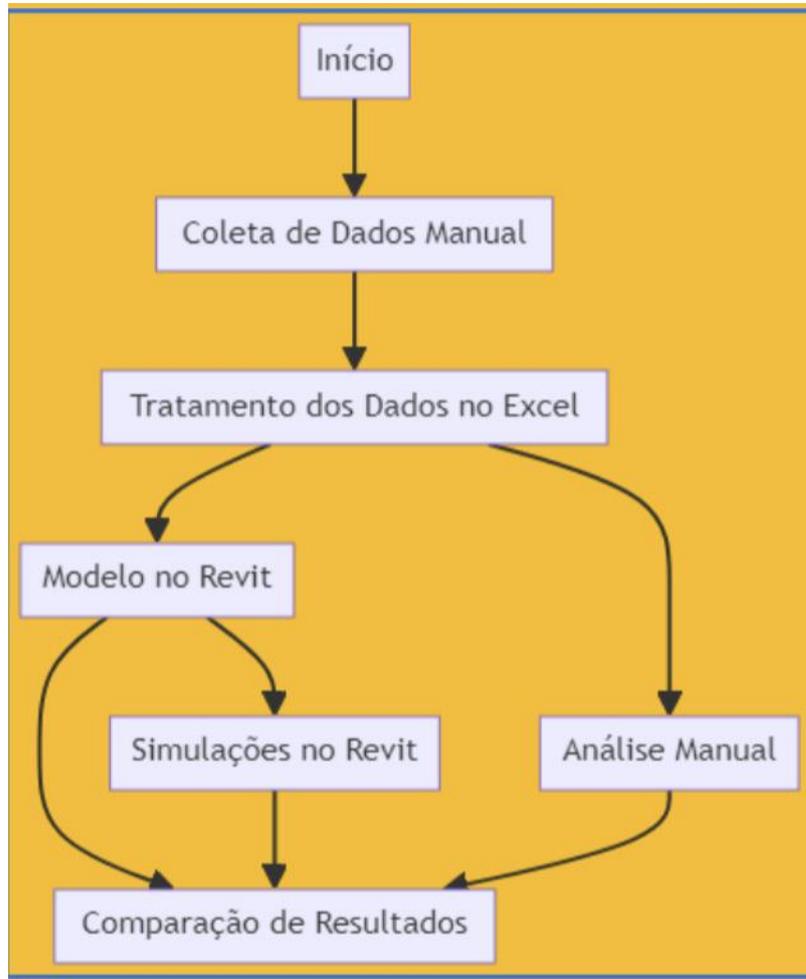
### **3. METODOLOGIA**

Com o objetivo de fazer uma análise da geração de resíduos da obra em questão, e comparar os dados encontrados com o que foi obtido com o uso da ferramenta Revit, a metodologia se iniciou com a Coleta de Dados Manual no local da obra. Os dados foram coletados ao longo de 60 dias, de 3 de agosto a 29 setembro. A obra foi acompanhada durante a etapa de acabamento e os principais materiais monitorados foram reboco, forro e revestimentos. A coleta de dados focou em quantificar e analisar os resíduos gerados. Os dados obtidos foram tratados no excel para se obter planilhas e gráficos que permitissem a análise comparativa.

Os dados estudados nesse trabalho foram coletados de duas formas: Modelo no Revit e Análise Manual. No primeiro, um modelo 3D é gerado no Revit, modelando a edificação em questão para obtermos, através da sua interface interativa e parametrizada, dados acerca da geração de RCD estimado nessa obra, a partir das áreas fornecidas pela modelagem e previsões de perdas que encontramos na literatura. Na Análise Manual, métodos tradicionais foram aplicados para avaliação dos dados, tais como cálculo de volume de resíduos gerados e catalogação da área de onde esses resíduos são provenientes. O processo de medição e estimativa foi uma tarefa crítica para o sucesso desta pesquisa. Escolher os métodos adequados foi importante para garantir a confiabilidade dos dados coletados. Utilizamos tanto métodos de medição direta quanto indireta, com base nas normas técnicas e padrões da indústria, para assegurar a precisão.

Com ambos os quantitativos obtidos foi realizada a comparação de resultados, onde os dados da modelagem, feita em Revit, e da coleta manual de dados são avaliados e comparados. A

Figura 1 apresenta um fluxograma para ilustrar a sequência e interconexão das etapas metodológicas.



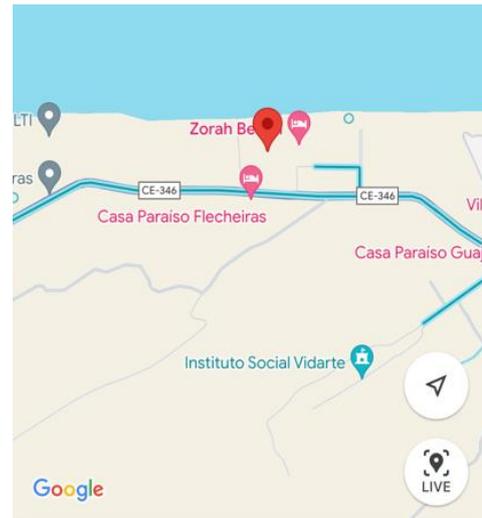
*Figura 1- Fluxograma com sequências metodológicas*

### 3.1 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

A primeira etapa da metodologia envolveu o acompanhamento de uma obra de construção de um condomínio na cidade de Trairi (CE), com foco principalmente na etapa de acabamento. A construção foi iniciada em dezembro de 2021, e trata-se da construção de um condomínio residencial de 15 casas germinadas, cada uma com área total construída de 152 metros quadrados. A Figura 2 apresenta uma foto da obra e a sua localização, destacando-se a proximidade com a costa marítima.



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Registro do canteiro de obras (b) Localização do condomínio indicado pelo marcador.

Com isso, definiu-se que nesta etapa, seriam coletados dados relacionados à geração de resíduos durante as fases de acabamento, onde foi acompanhado o assentamento de porcelanato no piso de toda a casa, e nas paredes dos banheiros, além da pintura de paredes, reboco e instalação do forro de gesso. Foram utilizadas planilhas para registrar as seguintes informações: tipo de resíduo, volume, e o local de sua disposição na obra.

Sabe-se que mesmo sendo a fase de acabamento é gerado resíduos de diferentes tipos e também relativos a etapas anteriores. Por isso o primeiro passo do processo de coleta foi produzir um inventário das várias categorias de resíduos encontradas na obra de Trairi durante a etapa de estudo, sendo um passo fundamental para entender os tipos de resíduos gerados e suas quantidades respectivas. Ele se baseou em dados coletados in loco e categorizou os resíduos em tipos como reboco, revestimento cerâmico/porcelanato, alvenaria, pintura, marmoraria e forro de gesso. Este inventário possibilitou entender os tipos de resíduos gerados e suas quantidades respectivas.

Uma vez que as categorias foram definidas, o próximo passo foi a quantificação do volume de resíduos para cada categoria. Isso foi feito por meio do acompanhamento sistemático da execução das etapas que geravam os resíduos listados. Com isso seria possível entender a representatividade dos resíduos diretamente relacionados a atividades de acabamento estudados (porcelanato, argamassa e forro de gesso).

O volume de resíduos, por categoria, foi possível de calcular graças a um acompanhamento diário durante um período de 60 dias, que foi do dia 03/08 à 27/09 de 2023. Esse acompanhamento era feito através da quantificação de carros de mão de resíduos gerados por categoria, para uma determinada área de execução de reboco, ou de revestimento, assim como também pra forro de gesso.

O RCD gerado durante a etapa de acabamento era depositado em um local específico destinado a essa finalidade, onde era empilhado e retirado através de caçambas. Então, adicionalmente a quantificação dos carrinhos de mão era possível realizar a cubagem para determinação do volume total de resíduos gerados na semana. Também foi possível, através de amostragens dessa retirada de entulho, a determinação de porcentagem de cada tipo de material na fase de acabamento, presente nesses resíduos.

Posteriormente, todos os dados coletados in loco foram transferidos e tratados em planilhas de Excel, com o objetivo de copilar as informações e mostrar um panorama geral desses dados, fornecendo um resultado total de quantidade e volume desses resíduos. Essa organização foi crucial para realizar uma análise detalhada, possibilitando o uso de recursos como gráficos e tabelas dinâmicas para entender o comportamento dos resíduos na obra. O foco foi na implementação efetiva de práticas sustentáveis de gestão de resíduos, buscando minimizar o impacto ambiental e maximizar a eficiência no uso de materiais.

### **3.1.1 Parâmetros de Avaliação**

Os dados coletados em obra foram organizados de acordo com os seguintes parâmetros de avaliação: tipo de material e o volume gerado, método de disposição, e a frequência de geração de resíduos. Estes parâmetros ajudam a entender não apenas a composição dos resíduos, mas também o impacto de cada tipo de material na geração total de resíduos. Além disso, possibilitam identificar falhas no processo atual de gestão de resíduos e sugerir melhorias.

Os parâmetros de avaliação serviram como critérios para avaliar a eficácia das estratégias de gestão de resíduos existentes, bem como para a comparação com os resultados obtidos pela metodologia BIM. Isso permitiu uma visão mais completa do cenário, propiciando um terreno sólido para proposições de melhorias no sistema de gestão de resíduos.

## **3.2 UTILIZAÇÃO DO REVIT PARA GESTÃO DE RESÍDUOS**

A introdução do software Revit no processo de gestão de resíduos marcou um ponto importante no projeto. O Revit, que utiliza a metodologia BIM (Building Information Modeling), permite uma abordagem mais integrada para o planejamento e a execução do projeto. Com isso, em primeiro lugar, o software foi utilizado para criar um modelo

3D detalhado da obra, incluindo todas as fases de acabamento. A produção do modelo BIM se deu através das plantas arquitetônicas 2D do projeto, assim como através de suas plantas de forro e revestimentos. Nessas plantas foram extraídas a uma série de dados como área de revestimento, tipo de revestimento, área de forro. Todos esses dados foram inseridos no software Revit em um modelo 3D parametrizado. A Figura 3 mostra o modelo ao lado de uma das casas finalizadas.



Figura 3 – (a) Modelagem feita no Revit (b) Casa já concluída.

Este modelo serviu como uma ferramenta valiosa para visualizar e entender os fluxos de materiais e resíduos. Utilizou-se o Revit para simular diferentes cenários de desperdício e calcular a eficácia de várias estratégias de mitigação, fornecendo assim uma maneira mais objetiva e quantitativa de avaliar as opções disponíveis. O modelo BIM foi utilizado para gerar uma estimativa dos materiais e recursos necessários para a construção. Os valores obtidos através do BIM foram calculados, considerando as taxas de perdas usuais reportadas na literatura (conforme detalhado na Tabela 1). Essas taxas de perda são fundamentais para garantir que as estimativas sejam realistas e alinhadas com as práticas padrão da indústria.

As estimativas da geração de RCD do modelo BIM foram baseadas em coeficientes presentes na literatura e expostos na Tabela 1, e equações padrão para cálculo de volume e área, que convertiam as medidas físicas em volumes ou outras métricas relevantes. Essas estimativas foram então corroboradas através da comparação com dados de medição direta, para assegurar sua confiabilidade. Uma das maiores vantagens de usar uma combinação de métodos de medição e estimativa foi a oportunidade de validar a precisão dos dados através de múltiplas fontes. Isso foi vital para o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de resíduos e para fornecer insights sobre onde melhorias podem ser feitas.

*Tabela 1- tabela com taxas de perdas usuais*

<b>Atividade</b>	<b>Taxa de Perda Estimada (%)</b>	<b>Referência da Taxa de Perda</b>
Revestimento	5	Agopyan, (1998); Moraes, L. R. S. (2006)
Forro de Gesso	10	Duarte, E. F. (2014); Soares Júnior, F. F. (2009)
Reboco	10	Tombini (2003); Ambrósio (2018)

Com o Revit, foi possível também ir além da simples quantificação e classificação de resíduos. O software oferece recursos para modelagem de informações que ajudam na tomada de decisões informadas sobre a reutilização, reciclagem e descarte de resíduos, elevando assim a gestão de resíduos a um novo patamar de eficiência e sustentabilidade.

### 3.3 ANÁLISE COMPARATIVA COM METODOLOGIA BIM

Com os dados coletados foi possível comparar os tipos e quantidades de resíduos projetados pelo modelo BIM com aqueles efetivamente gerados durante a construção. Esta comparação revela o grau de alinhamento entre a previsão do modelo e a realidade, destacando áreas onde o modelo foi particularmente preciso ou onde podem existir discrepâncias. Em seguida, analisamos as diferenças nos métodos de gestão e descarte de resíduos sugeridos pelo modelo em comparação com as práticas adotadas in loco. Isso inclui a avaliação de estratégias de redução e reutilização de materiais, oferecendo uma perspectiva abrangente sobre a eficiência e sustentabilidade das práticas de gestão de resíduos na obra.

A abordagem mista de medição direta e estimativa foi crucial para fornecer um quadro completo e preciso do cenário de resíduos na obra. Além disso, esta metodologia tornou possível uma comparação mais robusta com os dados gerados pelo modelo no Revit, o que é essencial para a parte de análise comparativa do estudo.

## 4. RESULTADOS

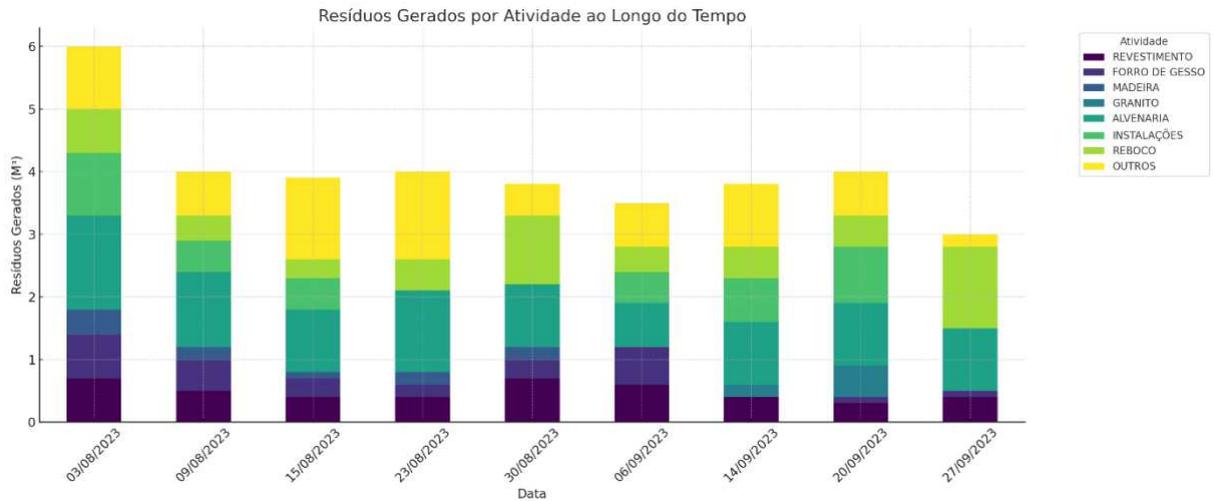
### 4.1 RESÍDUOS GERADOS EM OBRA

A Tabela 2 e a Figura 4 apresentam o registro de todos os resíduos gerados na obra durante o acompanhamento da mesma. Como a obra se encontrava na etapa de acabamento, foi possível observar que resíduos diretamente, como revestimento, reboco e forro de gesso, tiveram geração pronunciada.

Tabela.2 –Quantitativo de RCD por categoria e data

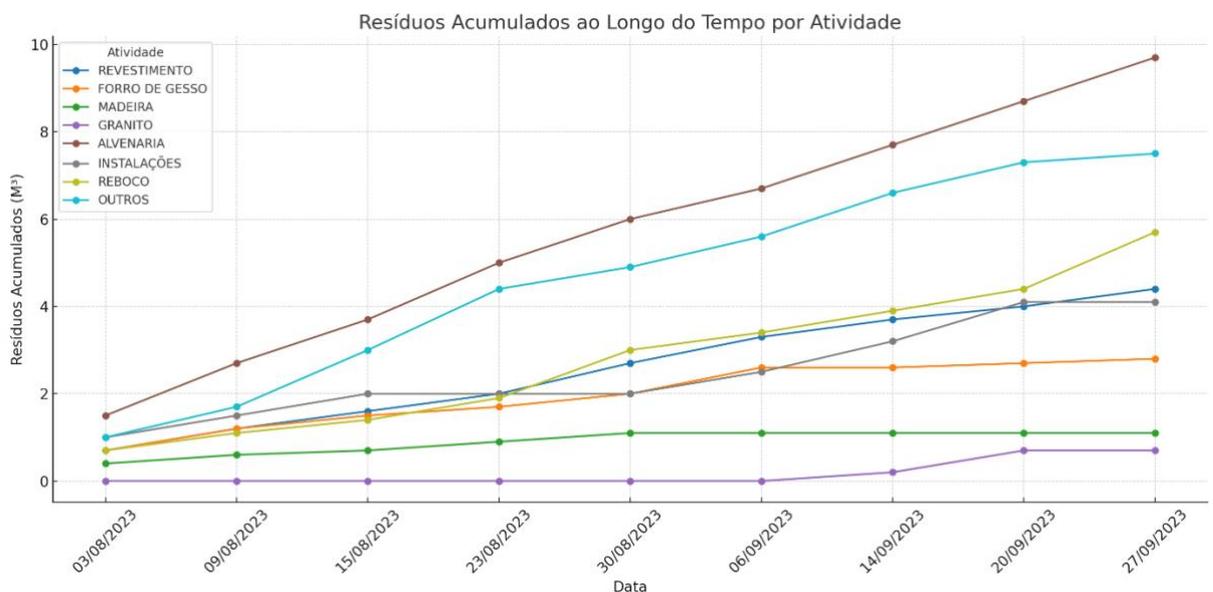
ATIVIDADE	REGISTRO DE SAÍDA DE MATERIAL (M³)									
	TOTAL (M³)	03/08/2023	09/08/2023	15/08/2023	23/08/2023	30/08/2023	06/09/2023	14/09/2023	20/09/2023	27/09/2023
<b>REVESTIMENTO</b>	4.40	0.70	0.50	0.40	0.40	0.70	0.60	0.40	0.30	0.40
<b>FORRO DE GESSO</b>	2.80	0.70	0.50	0.30	0.20	0.30	0.60	0.00	0.10	0.10
<b>MADEIRA</b>	1.10	0.40	0.20	0.10	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>GRANITO</b>	0.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.50	0.00
<b>ALVENARIA</b>	9.70	1.50	1.20	1.00	1.30	1.00	0.70	1.00	1.00	1.00
<b>INSTALAÇÕES</b>	4.10	1.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.50	0.70	0.90	0.00
<b>REBOCO</b>	5.70	0.70	0.40	0.30	0.50	1.10	0.40	0.50	0.50	1.30
<b>OUTROS</b>	7.50	1.00	0.70	1.30	1.40	0.50	0.70	1.00	0.70	0.20
<b>TOTAL (M³)</b>	36.00	6.00	4.00	3.90	4.00	3.80	3.50	3.80	4.00	3.00

Figura 4– Resíduos gerados ao longo do tempo.



A Figura 5 apresenta a quantificação inicial dos volumes totais de resíduos acumulados, categorizando-os por tipo, como concreto, madeira, metal e outros materiais. Esse resultado ajuda a identificar quais materiais são mais propensos a se acumular e permite o desenvolvimento de estratégias específicas para a gestão eficiente desses resíduos. Em seguida, avaliamos as práticas de armazenamento e descarte desses resíduos, examinando como eles foram coletados, separados e removidos do canteiro de obras. Esta análise inclui a avaliação da conformidade com as regulamentações locais sobre gestão de resíduos e as práticas de sustentabilidade adotadas, oferecendo uma visão abrangente sobre o impacto ambiental da obra e a eficácia das medidas de gerenciamento implementadas.

Figura 5 - Resíduos acumulados por atividade



Observamos que os valores referentes a revestimento, forro e reboco correspondem 45% do total de resíduos gerados ao longo do período de acompanhamento da obra. Isso justifica a escolha dos itens serem apresentados separadamente nos próximos tópicos, aliado ao seu alto custo na execução da obra.

## 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA

### 4.2.1 Comparativo revestimento

A análise dos resultados obtidos para o uso de porcelanato na obra residencial, conforme detalhado na Tabela 3, revela perspectivas sobre a eficiência de uso do material e as práticas de instalação adotadas. Na mesma tabela, também se pode comparar o total estimado no modelo BIM de porcelanato necessário (em metros cúbicos) com o efetivamente utilizado, destacando o percentual de perda em diferentes áreas da construção.

Tabela 3–Comparativo entre diferentes áreas de aplicação e diferentes dimensões de porcelanato

ATIVIDADE	ELEMENTO DE REVEST.	LEVANTAMENT	MODEL	PERCENTUA L
		O	O BIM	
		TOTAL (M <sup>3</sup> )	TOTAL (M <sup>3</sup> )	
<b>REVESTIMENT O</b>	PORCELANAT O RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	4.40	4.25	3%
<b>SALA</b>	PORCELANAT O RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	1.40	1.35	4%
<b>QUARTOS</b>	PORCELANAT O RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	1.60	1.50	6%
<b>COZINHAS</b>	PORCELANAT O RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	0.70	0.80	14%
<b>BANHEIROS</b>	PORCELANAT O RET BALANCE	1.2	1.5	25%

	CIMENTO ACET GREY 58 X 58			
<b>EXTERNO</b>	PORCELANAT O RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	0.55	0.75	36%

No revestimento geral, o porcelanato "Balance Cimento Acet Grey 76 x 76" apresentou uma diferença de 3% entre o estimado e o real, indicando uma alta eficiência na utilização do material. Este resultado é particularmente notável considerando a complexidade e as variações inerentes aos processos de construção. Na sala, a diferença foi ligeiramente maior, cerca de 4%, o que ainda reflete uma boa prática de instalação e uso eficiente do material.

Nos quartos e cozinhas, onde também foi utilizado o porcelanato "Balance Cimento Acet Grey 76 x 76", as diferenças entre modelos foram de 6% e 14%, respectivamente. A maior perda na cozinha pode ser atribuída ao design específico e aos cortes necessários para acomodar armários e equipamentos. É importante destacar que, nos banheiros, foi adotado um revestimento diferente - o porcelanato "Balance Cimento Acet Grey 58 x 58". Esta escolha, embora esteticamente agradável, resultou em uma perda significativamente maior de 25%, devido ao tamanho menor das peças e ao aumento no número de cortes necessários para o acabamento desejado.

Os resultados mais notáveis foram observados nas áreas externas, onde a diferença entre a estimativa e o dado coletado de porcelanato atingiu 36%. Este alto índice pode ser atribuído ao padrão de acabamento e ao número elevado de cortes necessários para adaptar o material ao layout externo. Este dado ressalta a importância de um planejamento cuidadoso e de técnicas de instalação precisas, especialmente em áreas que exigem um maior número de ajustes e cortes no material.

Em resumo, a análise dos dados da tabela evidencia que, embora o porcelanato "Balance Cimento Acet Grey 76 x 76" tenha tido uma aplicação eficiente, considerando a diferença coleta e estimativa, na maioria dos ambientes, os resultados nos banheiros e áreas externas destacam

a necessidade de uma avaliação mais detalhada das práticas de instalação e do planejamento de cortes, especialmente em áreas que requerem um acabamento mais complexo e personalizado.

#### 4.2.2 Comparativo reboco

A análise do uso de reboco na obra residencial, conforme detalhado na Tabela 4, oferece uma visão sobre a eficiência e as práticas de aplicação do material. A Tabela 4 compara o total estimado de reboco necessário (em metros cúbicos) obtido no modelo BIM com o efetivamente utilizado, destacando o percentual de diferença em diferentes áreas da construção.

Tabela 4 – Comparativo do RCD gerado pelo reboco em diferentes áreas

ATIVIDADE	Acabamento.	LEVANTAMENTO	MODELO BIM	PERCENTUAL
		TOTAL (M³)	TOTAL (M³)	
<b>Reboco</b>		5.70	5	12%
<b>SALA</b>	TINTA CORAL ACRÍLICA ACETINADA BRANO NEVE	1.50	1.10	33%
<b>QUARTOS</b>	TINTA CORAL ACRÍLICA ACETINADA BRANO NEVE	1.25	0.90	20%
<b>COZINHAS</b>	PORCELANATO RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 76 X 76	0.75	0.80	7%
<b>BANHEIROS</b>	PORCELANATO RET BALANCE CIMENTO ACET GREY 58 X 58	0.7	0.75	7%
<b>EXTERNO</b>	TEXTURA ACRILICA PREMIUM – PREMIUM PERMALIT	1.50	1.45	3%

No geral, o reboco apresentou uma diferença de 12% a menos dos coletados in loco do que esperado pelo BIM, índice considerável, mas que pode ser atribuído às variações normais

do processo de aplicação. Na sala, onde foi utilizada a tinta Coral Acrílica Acetinada Branco Neve, a diferença foi significativamente maior, chegando a 33%. Este aumento pode ser devido à complexidade dos acabamentos e à precisão exigida na aplicação da tinta.

Nos quartos, também com a tinta Coral Acrílica Acetinada Branco Neve, a diferença do reboco estimado e o levantado foi de 20%, um valor intermediário que reflete desafios semelhantes aos encontrados na sala. Interessantemente, nas cozinhas e banheiros, onde foi aplicado o porcelanato "Balance Cimento Acet Grey", as perdas foram de apenas 7%. Este dado sugere que as paredes preparadas para receber revestimento apresentaram menos perda de reboco, possivelmente devido a não necessidade de um acabamento tão complexo como feito nas paredes que receberam tinta.

Na área externa, onde também foi utilizada a tinta Coral Acrílica Acetinada Branco Neve, a diferença foi a menor de todas, apenas 3%. Este resultado pode ser atribuído a técnicas de aplicação mais eficientes ou a condições mais favoráveis para a aplicação do reboco e da tinta.

#### 4.2.3 Comparativo forro

O comparativo do uso de forro de gesso acartonado em uma obra residencial revela dados interessantes sobre a eficiência e o manejo de resíduos, dados são apresentados na Tabela 5. A análise se baseia em dois aspectos principais: a quantidade de material planejada (levantamento) e a quantidade efetivamente utilizada (modelo BIM), além do percentual de perda.

Tabela 5–Comparativo forro de gesso

ELEMENTO DE REVEST.	LEVANTAMENTO	MODELO BIM	PERCENTUAL
FORRO DE GESSO ACARTONADO 600X2000mm	134.00 M2	134.00 M2	0%
RESÍDUO GERADO	2.80 M3	1.44M3	100%

A análise dos dados mostra que, embora a quantidade de forro de gesso acartonado planejada e utilizada tenha sido a mesma (134.00 m<sup>2</sup>), houve uma perda significativa em termos de resíduos gerados. O volume de resíduos aumentou de 1.44m<sup>3</sup> para 2.8m<sup>3</sup>, indicando um

aumento de 100%.. Este aumento pode ser atribuído principalmente aos cortes e acabamentos necessários, especialmente em áreas como os quartos.

Nos quartos, as perdas foram notavelmente maiores, provavelmente devido à necessidade de cortes precisos e acabamentos para elementos específicos, como cortineiros e sancas. Esses elementos exigem um trabalho mais detalhado e, conseqüentemente, geram mais resíduos. Este fato ressalta a importância de um planejamento cuidadoso e de técnicas de instalação precisas para minimizar o desperdício de materiais, especialmente em áreas que requerem um acabamento mais detalhado e personalizado.

## 5. CONCLUSÃO

Durante o período de análise, pode se observar a necessidade de um melhor planejamento na gestão dos resíduos, principalmente na fase de acabamento, devido ao seu alto valor atrelado.

A utilização do software Revit, integrado ao modelo BIM, se mostrou um valioso aliado para a gestão de RCD, apresentando em alguma etapas um valor bem próximo ao verificado in loco, porém diferindo em outras etapas devido a fatores como qualificação da mão de obra, planejamento da execução e qualidade desejada.

A análise comparativa entre as estimativas do modelo BIM e os dados reais coletados in loco revelou uma alta correlação, validando a precisão do modelo em prever e gerenciar os resíduos da construção. Esta comparação foi essencial para avaliar a eficácia do modelo BIM, destacando sua capacidade de fornecer estimativas realistas alinhadas com as práticas padrão da indústria.

Os resultados específicos para materiais como porcelanato, reboco e forro de gesso destacaram a importância de um planejamento cuidadoso e técnicas de instalação precisas. As variações nas taxas de perda entre diferentes áreas da construção apontaram para a necessidade de uma avaliação mais detalhada das práticas de instalação e planejamento de cortes, especialmente em áreas que requerem acabamentos mais complexos.

Em suma, este estudo demonstrou a eficácia do uso do modelo BIM na gestão de resíduos na construção civil, ressaltando a importância de práticas sustentáveis e de planejamento detalhado. A visão obtida é valiosa para a indústria da construção, oferecendo um caminho para a adoção de práticas mais sustentáveis e eficientes. A integração de tecnologias avançadas, como o BIM, com práticas de gestão de resíduos eficazes, tem o potencial de transformar a indústria, conduzindo-a a um futuro mais sustentável e responsável. Este estudo

não apenas contribui para o corpo de conhecimento existente, mas também serve como um modelo para futuras construções sustentáveis.

## REFERÊNCIAS

Yeheyis, M.; Hewage, K.; Alam, M. S.; Eskicioglu, C.; Sadiq, R. **An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability.** *Clean Technologies and Environmental Policy*, 15, 81-91, 2013. doi: 10.1007/s10098-012-0481

MÁLIA, M. **Indicadores de resíduos de construção e demolição.** Lisboa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Instituto Superior Técnico, Lisboa/Portugal, 2010.

AZEVEDO, Gardênia Oliveira David de; KIPERSTOK, Asher; MORAES, Luiz Roberto Santos. **Resíduos da construção civil em Salvador: os caminhos para uma gestão sustentável.** *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 11, p. 65-72, 2006.

TESSARO, Alessandra Buss; SÁ, Jocelito Saccol de; SCREMIN, Lucas Bastianello. **Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS.** *Ambiente Construído*, v. 12, p. 121-130, 2012.

MARIANO, Maria Odete Holanda. **Avaliação da retenção de gases em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos.** 2008.

VASCONCELOS, Alana Natália Sales. **A influência da tecnologia BIM na geração minimizada e gestão de resíduos sólidos da indústria de construção civil.** 2016.

Poon, C. S., Yu, T. W. A., & Ng, L. H. (2001). **On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong.** *Resources, Conservation and Recycling*, 32(2), 157-172.

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.

YANG, Kai-Yu; LU, Yuan-Ming; RAN, Ying. **Quantum Hall effects in a Weyl semimetal: Possible application in pyrochlore iridates.** *Physical Review B*, v. 84, n. 7, p. 075129, 2011.

ALWI, Sugiharto; MOHAMED, Sherif; HAMPSON, Keith. **Waste in the Indonesian construction projects. In: Proceedings of the 1st CIB-W107 International Conference-Creating a Sustainable Construction Industry in Developing Countries.** CSIR, 2002. p. 305-315.

BERTELSEN, Sven; KOSKELA, Lauri. **Managing the three aspects of production in construction.** IGLC-10, Gramado, Brazil, 2002.

BESSA, Sofia Araújo Lima; GONÇALVES MELLO, Tiago Augusto; LOURENÇO, Karen Katleen. **Análise quantitativa e qualitativa dos resíduos de construção e demolição gerados em Belo Horizonte/MG.** *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 11, 2019