

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MODELAGEM BIM PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO**

**JULIANA MARA SELARE**

São Carlos

2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MODELAGEM BIM PARA ESTIMATIVA DA GERAÇÃO DE  
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO**

**JULIANA MARA SELARE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de mestra em Construção Civil.

**Área de Concentração:** Construção Civil

**Orientador:** Prof. Dr. José da Costa Marques Neto

São Carlos  
2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Juliana Mara Selare, realizada em 24/08/2022.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Jose da Costa Marques Neto (UFSCar)

Prof. Dr. Jose Carlos Paliari (UFSCar)

Prof. Dr. Valdir Schalch (USP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

*Aos meus pais, João e Marli,  
e ao meu irmão, João Lucas,  
por todo apoio, carinho  
e paciência.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. José da Costa Marques Neto, pela orientação e por acreditar no meu trabalho.

À Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pelo incentivo à pesquisa e suporte institucional.

Ao Atelier de Arquitetura Zanetti e Madi, pela disponibilização do projeto em estudo e pela colaboração fundamental para a pesquisa.

À minha família, pelo apoio incondicional e compreensão durante todo o processo.

A todos que influenciaram, direta ou indiretamente, a realização deste trabalho.

## RESUMO

SELARE, Juliana Mara. **Modelagem BIM para estimativa da geração de resíduos da construção civil: estudo de caso**. 2022. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2022.

Os resíduos da construção civil representam uma parcela significativa dos resíduos sólidos gerados no país, e essa quantidade continua a crescer, sem uma gestão efetiva, com a disposição irregular sendo um dos principais problemas enfrentados na maior parte do território brasileiro. Estudos indicam que a utilização da Modelagem da Informação da Construção (BIM) na concepção e elaboração de projetos pode ser uma ferramenta eficaz para reduzir a quantidade de resíduos gerados, uma vez que esses resíduos são predominantemente produzidos por erros e alterações inesperadas durante as fases de projeto e construção. Portanto, o objetivo principal desta pesquisa é avaliar a aplicação da modelagem BIM na geração de resíduos da construção civil na fase de projeto do empreendimento. A pesquisa quantifica, por meio da modelagem BIM, os elementos utilizados na elaboração do projeto e estima a taxa de geração de resíduos durante a construção com base nos dados obtidos. Além disso, desenvolve um plano de gerenciamento de resíduos para o projeto analisado, utilizando os quantitativos obtidos para estimar a quantidade de resíduos a ser gerada, caracterizando-os de forma a facilitar uma destinação final adequada. A presente pesquisa contribui para a utilização da modelagem BIM no mercado de gestão de resíduos ao possibilitar, através de um modelo de estimativa já existente, a previsão da quantidade de resíduos gerados durante a fase de construção. Isso proporciona um maior controle do projeto e auxilia na elaboração do plano de gerenciamento, permitindo que as empresas de construção identifiquem as categorias de resíduos, determinem os tipos mais significativos de fluxos de resíduos, rastreiem suas origens e estimem a quantidade necessária de caçambas estacionárias. Para futuras pesquisas, recomenda-se o desenvolvimento de uma ferramenta que permita estimar automaticamente a taxa de geração de resíduos com base nas tabelas de levantamento quantitativo geradas pelo software Revit, tornando o processo de caracterização de resíduos no plano de gerenciamento de resíduos mais ágil, hábil e confiável.

**Palavras-chave:** modelagem da informação da construção (BIM); resíduos da construção civil; gestão de resíduos; redução de resíduos; caracterização de resíduos.

## ABSTRACT

SELARE, Juliana Mara. **BIM modeling for estimating construction waste generation: a case study**. 2022. 113p. Dissertation (Master in Civil Engineering) - Federal University of São Carlos, São Carlos, 2022.

Construction waste represents a significant portion of the solid waste generated in the country, and this amount continues to grow without effective management, with irregular disposal being one of the main problems faced in most of Brazil. Studies indicate that the use of Building Information Modeling (BIM) in the design and planning of projects can be an effective tool for reducing the amount of waste generated, as these wastes are predominantly produced by errors and unexpected changes during the design and construction phases. Therefore, the primary objective of this research is to evaluate the application of BIM modeling in the generation of construction waste during the project design phase. The research quantifies, through BIM modeling, the elements used in the project design and estimates the rate of waste generation during construction based on the obtained data. Additionally, it develops a waste management plan for the analyzed project, using the obtained quantities to estimate the amount of waste to be generated, characterizing it in a way that facilitates proper final disposal. This research contributes to the use of BIM modeling in the waste management market by enabling, through an existing estimation model, the prediction of the amount of waste generated during the construction phase. This allows for greater project control and aids in the development of the management plan, enabling construction companies to identify waste categories, determine the most significant types of waste flows, trace their origins, and estimate the necessary amount of stationary dumpsters. For future research, it is recommended to develop a tool capable of automatically estimating the waste generation rate based on the quantity takeoff tables generated by Revit software, making the process of waste characterization in the waste management plan more agile, efficient, and reliable.

**Keywords:** building information modeling (BIM); construction waste; waste management; waste reduction; waste characterization.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Distribuição espacial dos municípios participantes do SNIS, componente Resíduos Sólidos.....	26
Figura 2-2: Coleta de RCC pelos municípios no Brasil.....	29
Figura 2-3: Hierarquia da gestão de resíduos .....	31
Figura 3-1: BIM no ciclo de vida das edificações .....	37
Figura 3-2: Os fundamentos do BIM .....	38
Figura 3-3: Quadro conceitual do uso corrente do BIM.....	40
Figura 3-4: Abordagem baseada em BIM para gerenciamento e minimização de resíduos da construção.....	44
Figura 3-5: Abordagem baseada em BIM para gerenciamento e minimização de resíduos da construção.....	45
Figura 3-6: Estratégias baseadas em BIM para a gestão de RCC .....	48
Figura 3-7: Estrutura teórica proposta para gestão de RCC baseada em BIM.....	50
Figura 4-1: Etapas para o desenvolvimento da pesquisa.....	54
Figura 5-1: Localização do condomínio na cidade de São Carlos - SP .....	60
Figura 5-2: Planta baixa do projeto objeto de pesquisa.....	61
Figura 5-3: Vista frontal e lateral do projeto objeto.....	62
Figura 5-4: Variação percentual do volume de RCD nas diversas etapas das construções .	63
Figura 5-5: Vista 3D do projeto em análise .....	65
Figura 5-6: Vista face Norte .....	65
Figura 5-7: Vista face Sul.....	65
Figura 5-8: Vista face Leste .....	66
Figura 5-9: Vista face Oeste .....	66
Figura 5-10: Gráfico comparativo das estimativas de consumo “médio” .....	85
Figura 5-11: Porcentual de variação entre os resultados de consumo “médio” .....	86
Figura 5-12: Gráfico comparativo das estimativas de consumo “máximo” .....	87
Figura 5-13: Porcentual de variação entre os resultados de consumo “máximo” .....	88
Figura 5-15: Bombonas .....	94
Figura 5-16: Bags .....	94
Figura 5-17: Baias .....	95
Figura 5-18: Caçambas estacionárias.....	95
Figura 5-19: Localização dos Ecopontos no município de São Carlos/SP. ....	103



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1: Planos de Resíduos Sólidos e prazos estabelecidos .....	22
Tabela 2-2: Unidades de processamento de RCC com informações atualizadas dos municípios participantes do SNIS, segundo macrorregião geográfica.....	27
Tabela 2-3: Massa total de RCC recebidos pelas unidades de processamento dos municípios participantes do SNIS, segundo tipo de unidade e macrorregião geográfica.....	28
Tabela 2-4: Principais problemas de resíduos da construção e demolição .....	33
Tabela 5-1: Estimativa de RCC por etapa de construção.....	64
Tabela 5-2: Relação de ambientes do projeto em estudo .....	68
Tabela 5-3: Relação geral da alvenaria do projeto em estudo .....	69
Tabela 5-4: Relação dos pisos do projeto em estudo.....	69
Tabela 5-5: Divisão para cálculo de materiais.....	70
Tabela 5-6: Quantitativo de materiais da fase “Pisos” .....	71
Tabela 5-7: Quantitativo de materiais da fase “Paredes” .....	72
Tabela 5-8: Quantitativo de materiais da fase “Tetos” .....	73
Tabela 5-9: Coeficiente de conversão para cada material .....	74
Tabela 5-10: Conversão de unidade de medida por material para consumo “médio” .....	75
Tabela 5-11: Conversão de unidade de medida por material para consumo “máximo” .....	76
Tabela 5-12: Mediana de perdas por material.....	77
Tabela 5-13: Quantidade de perdas estimada para consumo “médio” .....	78
Tabela 5-14: Quantidade de perdas estimada para consumo “máximo” .....	79
Tabela 5-15: Estimativa de entulho por unidade de serviço .....	80
Tabela 5-16: Estimativa de RCC para consumo “médio” .....	81
Tabela 5-17: Estimativa de RCC para consumo “máximo” .....	82
Tabela 5-18: Resumo de estimativa de RCC para consumo “médio” e “máximo” .....	83
Tabela 5-19: Estimativa de RCC por etapa de construção.....	83
Tabela 5-20: Estimativa de resíduos por modelagem BIM .....	84
Tabela 5-21: Comparativo entre os resultados de consumo “médio” .....	85
Tabela 5-22: Comparativo entre os resultados de consumo “máximo” .....	87
Tabela 5-23: Resumo estimativa de resíduos na fase de Arquitetura. ....	92
Tabela 5-24: Modelo para controle dos resíduos gerados .....	92
Tabela 5-25: Dispositivos adotados no acondicionamento dos resíduos.....	93
Tabela 5-26: Acondicionamento inicial por tipo de resíduos.....	97
Tabela 5-27: Acondicionamento final por tipo de resíduos.....	98
Tabela 5-28: Padrão de cores para acondicionamento dos resíduos.....	99
Tabela 5-29: Destinação final dos resíduos de acordo com sua classe .....	100

Tabela 5-30: Relação e localização dos Ecopontos do município de São Carlos/SP .....	102
Tabela 5-31: Estimativa de RCC (m <sup>3</sup> ) na fase de Arquitetura para consumo “médio” e “máximo” .....	104

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ABDI</b>	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
<b>ABNT</b>	Associação Brasileira de Normas Técnicas
<b>ABRECON</b>	Associação Brasileira para Reciclagem de Resíduos da Construção Civil e Demolição
<b>ABRELPE</b>	Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
<b>ACV</b>	Avaliação do Ciclo de Vida
<b>AECO</b>	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
<b>ATT</b>	Área de Transbordo e Triagem
<b>BIM</b>	Modelagem da Informação da Construção
<b>CONAMA</b>	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>IPEA</b>	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
<b>NBR</b>	Norma Brasileira Regulamentadora
<b>PNRS</b>	Política Nacional de Resíduos Sólidos
<b>RCC</b>	Resíduos da Construção Civil
<b>RCD</b>	Resíduos da Construção e Demolição
<b>SISNAMA</b>	Sistema Nacional do Meio Ambiente
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
<b>SNVS</b>	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
<b>TI</b>	Tecnologia da Informação
<b>WHP</b>	<i>Waste Hierarchy Principle</i> - Princípio da Hierarquia de Resíduos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.3	JUSTIFICATIVA .....	17
<b>2</b>	<b>RESÍDUOS SÓLIDOS</b> .....	<b>19</b>
2.1	POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS .....	19
2.2	RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL .....	22
2.3	GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	24
<b>3</b>	<b><i>BUILDING INFORMATION MODELING</i></b> .....	<b>36</b>
3.1	MODELAGEM BIM NA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO.....	41
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>53</b>
4.1	TIPOLOGIA DE PESQUISA.....	53
4.2	PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE PESQUISA.....	53
4.2.1	REVISÃO DA LITERATURA.....	55
4.2.2	DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE ESTIMATIVA .....	55
4.2.3	COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS: CAD 2D X BIM .....	57
4.2.4	DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS	57
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>59</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO OBJETO DA PESQUISA.....	59
5.2	CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RCC A PARTIR DE METODOLOGIA EXISTENTE .....	62
5.3	MODELAGEM BIM.....	64
5.4	CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RCC A PARTIR DA MODELAGEM BIM .....	67
5.4.1	QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS .....	67
5.4.2	QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS.....	73
5.4.3	QUANTIFICAÇÃO DE RCC.....	79
5.5	COMPARAÇÃO DE CÁLCULO: TRADICIONAL X BIM .....	83
5.6	PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL..	89
5.6.1	CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....	89
5.6.2	RESPONSABILIDADES .....	89

5.6.3	DEFINIÇÕES.....	89
5.6.4	ETAPAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	91
5.6.5	ESTIMATIVA DE CAÇAMBAS ESTACIONÁRIAS .....	103
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>105</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>108</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor da construção civil é um grande gerador de resíduos sólidos, e a produção e o descarte desses resíduos são causas significativas de impacto ambiental em todo o mundo. Os resíduos da construção civil (RCC) decorrem principalmente de planejamento inadequado, erros de projeto, desperdícios na construção, demolição e reforma de obras. Melhorias nas práticas do canteiro de obras e no projeto da construção podem contribuir para a redução de resíduos.

De acordo com o Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil (IPEA, 2012), no Brasil, os resíduos sólidos provenientes da construção civil podem representar 50% até 70% da massa dos resíduos sólidos urbanos, sobrecarregando os sistemas de limpeza pública municipais. O crescimento das cidades no país não foi acompanhado pela provisão de infraestrutura e de serviços urbanos, como o sistema de gestão e manejo dos resíduos sólidos.

Apesar dos resíduos da construção constituírem uma grande parte do total de lixo produzido nas cidades brasileiras, o tratamento final dado a eles não é o mais adequado, resultando em poluição ambiental, esgotando as matérias primas, aumento da contaminação nos aterros e incremento no consumo de energia para a fabricação e transporte de novos materiais. Além do impacto negativo ao meio ambiente, os resíduos da construção afetam os custos, o tempo e a produtividade no setor da construção civil.

A segregação, acondicionamento e disposição final adequada dos RCC não são realizados de forma qualificada nas empresas de construção civil no Brasil, e o desenvolvimento de ações planejadas para reduzir a geração de resíduos ainda é escasso. Essas ações podem contribuir para evitar a necessidade de soluções emergenciais, tomada de decisão inadequada, modificações inesperadas em projetos e disposição inadequada dos resíduos.

Por essas razões, legislações e planos de gestão foram implementados para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção e demolição, visando reduzir os principais impactos ambientais. Essas

políticas auxiliam a indústria da construção a gerenciar seus resíduos de maneira mais eficaz, desde a coleta até a disposição final. No entanto, uma quantidade significativa de RCC ainda não é gerenciada de forma eficiente, tornando cada vez mais necessária a adoção de uma cultura sustentável para o tratamento, reciclagem e reutilização desses resíduos, com o intuito de preservar as matérias-primas e reduzir a poluição ambiental.

O crescimento populacional e a crescente demanda por habitações e infraestrutura resultaram em um aumento significativo na produção de RCC pela indústria da construção. No entanto, a administração pública não se preparou adequadamente para gerenciar o aumento do volume desses resíduos de forma sustentável, nem para tratar e dispor deles adequadamente. Portanto, é essencial implementar ferramentas, equipamentos e tecnologias na indústria da construção para gerenciar os resíduos com maior eficiência.

Nos últimos anos, estudos acadêmicos têm se concentrado em soluções para o planejamento, gerenciamento e redução de resíduos da construção e demolição, desenvolvendo ferramentas e sistemas para a gestão de resíduos. Embora muitas pesquisas estejam voltadas para a melhoria dos processos de gestão e minimização desses resíduos, estudos indicam que ainda faltam ferramentas eficientes para a estimativa de RCC.

Uma tecnologia cada vez mais popular na construção é o *Building Information Modeling* (BIM), ou Modelagem da Informação da Construção, um dos desenvolvimentos mais promissores na indústria da construção civil. Na modelagem BIM, um modelo virtual preciso de um edifício é construído digitalmente. O modelo gerado por computador, além de geometria precisa, contém um conjunto de informações relevantes necessárias para as atividades de construção, fabricação e aquisição necessárias para realizar a construção.

A capacidade de usar a modelagem BIM para construir virtualmente um edifício antes de sua construção é um meio eficaz para verificar sua construtibilidade e resolver incertezas durante a fase de projeto, permitindo mais eficiência, otimização do uso de energia, estratégias e melhorias no *design*. Por meio do BIM, é possível pensar em todo o ciclo de vida de uma edificação, desde as etapas de concepção do projeto, construção, operação, até demolição e reuso.

Apesar desta modelagem estar sendo amplamente utilizada para reduzir o custo, tempo e melhorar a produção na indústria da construção civil, o BIM tem alto potencial para reduzir o desperdício gerado na construção. Estudos nacionais e internacionais têm observado a utilização da modelagem como forma de minimizar o desperdício e a geração de resíduos na construção por meio da detecção de conflitos e precisão de projetos (especificação, quantificação e orçamentação). A modelagem também permite gerenciar as informações durante todo o ciclo de vida de uma edificação, avaliando o melhor desempenho sustentável para a construção.

Neste contexto, Cheng e Ma (2013) afirmam que as ferramentas disponíveis no mercado para a estimativa de resíduos da construção civil não são suficientemente convenientes, fazendo com que os usuários precisem investir muito tempo e esforço para utilizá-las, uma vez que informações como o volume de material precisam ser calculadas por meio de arquivos complementares. A Modelagem da Informação da Construção, no entanto, fornece a oportunidade para preencher esta lacuna. A modelagem BIM está sendo cada vez mais adotada na indústria da Construção Civil na última década; por meio de um sistema baseado em BIM pode desenvolver uma estimativa e planejamento de RCC. O sistema pode extrair e processar as informações do componente de cada elemento de construção em um modelo BIM para uma estimativa de resíduos.

De acordo com Umar *et al.* (2017), são necessárias mais pesquisas sobre questões de sustentabilidade e redução de carbono dos resíduos da construção, principalmente com a aplicação de ferramentas inovadoras, como o BIM, na fase de projeto e planejamento.

Diante do exposto, a presente pesquisa visa estudar como utilizar a modelagem BIM para otimizar a geração de resíduos da construção civil, estimando e caracterizando os resíduos durante a fase de projeto. Com base nisso, posterior ao capítulo introdutório, a pesquisa está estruturada em cinco capítulos subsequentes:

- Capítulo 2 – Resíduos Sólidos: contém os fundamentos teóricos referentes aos resíduos sólidos (conceitos, classificação e legislação), com ênfase nos resíduos da construção civil e a situação e dificuldade da gestão destes resíduos no país;



- Capítulo 3 – *Building Information Modeling*: contém os fundamentos teóricos referentes a aplicação da modelagem BIM na Construção Civil e as vantagens e barreiras da sua utilização na gestão de resíduos do setor;
- Capítulo 4 – Metodologia: referente aos métodos que foram utilizados para o desenvolvimento desta pesquisa;
- Capítulo 5 – Resultados: apresenta os resultados obtidos a partir da modelagem BIM, como extração de quantitativos, estimativa de geração de RCC e o plano de gerenciamento dos resíduos, além de comparar os dados obtidos a partir da modelagem BIM com os resultantes baseados no projeto em CAD 2D;
- Capítulo 6 – Conclusão: conclui a pesquisa com os pontos importantes abordados no estudo.

## 1.2 OBJETIVOS

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a utilização da modelagem BIM na estimativa da geração de resíduos da construção civil na fase de projeto do empreendimento.

Para atingir o objetivo geral, apresentam-se como objetivos específicos do trabalho:

- a) Caracterizar um projeto genérico de pesquisa produzido por método tradicional (CAD 2D);
- b) Calcular a geração de RCC a partir de metodologia existente;
- c) Elaborar a modelagem BIM do projeto genérico;
- d) Extrair o quantitativo de materiais utilizados no projeto BIM;
- e) Estimar a geração de resíduos para cada material a partir de metodologia existente;
- f) Comparar as estimativas obtidas entre os projetos CAD 2D e BIM;
- g) Desenvolver o plano de gerenciamento de resíduos para o projeto em estudo, a partir do quantitativo e caracterização dos RCC concebidos com base na extração de dados do *software* com modelagem BIM.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Os resíduos da construção e demolição representam uma preocupação global devido aos impactos ambientais, sociais e econômicos associados à quantidade expressiva de entulho e ao descarte inadequado. Em resposta a esses desafios, governos ao redor do mundo têm implementado ações para reduzir a produção de resíduos da construção civil, por meio de campanhas de conscientização, políticas e legislações que buscam controlar e tornar obrigatória a gestão adequada desses resíduos.

Entretanto, para validar estas políticas impostas pelos governos, é essencial uma gestão de resíduos adequada e eficiente em todas as fases de uma construção, tornando cada vez mais inevitável a implementação de novas ferramentas para gestão de resíduos na fase de projeto. Embora existam diversos métodos teóricos para o gerenciamento de RCC, há uma necessidade clara de ferramentas computacionais que possam estimar e caracterizar eficientemente os RCC ainda na fase de projeto, avaliar o desempenho durante a construção e permitir um planejamento assertivo para a sua destinação, com o objetivo de reduzir desperdícios e promover a reutilização sempre que possível.

Uma tecnologia cada vez mais crescente no setor da construção civil é o BIM, devido a ferramenta agregar todas as fases de uma construção, fornecendo informações sobre cada detalhe que podem ser utilizadas por todos os envolvidos no empreendimento, facilitando o trabalho e a comunicação de toda a equipe. Há um amplo debate sobre a utilização do BIM no gerenciamento de resíduos da construção e demolição, porém a maioria das ferramentas de gestão de resíduos já existentes não possuem a funcionalidade BIM ou interoperabilidade com a tecnologia, dificultando sua aplicação.

Com a ausência de ferramentas eficientes para executar o gerenciamento de resíduos na fase de projeto, o BIM pode ser uma solução promissora. A partir das informações precisas de geometria, componentes e materiais originados na modelagem, a extração de quantitativos em conjunto com modelos matemáticos que estimam a taxa de geração de RCC poderão ser uma alternativa para prever a geração de resíduos em cada obra.

Existe um consenso na literatura sobre o uso potencial do BIM na minimização dos resíduos da construção civil durante as etapas de projeto, no entanto, existe uma ausência de pesquisas sem desenvolvimento e revisão de ferramentas, ou métodos, que utilize o BIM para dar suporte à tomada de decisão para reduzir a geração de resíduos durante a fase de projeto.

Sendo assim, o presente projeto contribui para a utilização da modelagem BIM na gestão de resíduos da construção e demolição, por meio da estimativa do volume de resíduos gerados para cada etapa da construção e o desenvolvimento de um plano de gerenciamento de resíduos a partir dos dados obtidos na modelagem BIM de um projeto genérico.

## 2. RESÍDUOS SÓLIDOS

A Associação Brasileira de Normas Técnicas, por meio da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 10004 (ABNT, 2004a, p.1), define resíduos sólidos como “resíduos nos estados sólidos e semissólidos que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição”. São classificados quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente, sendo eles:

- a) Resíduos classe I – Perigosos;
- b) Resíduos classe II – Não perigosos;
  - a. Resíduos classe II A – Não Inertes
  - b. Resíduos classe II B – Inertes

Resíduos perigosos são os que apresentam riscos ao meio ambiente se manejados ou dispostos de forma inadequada, ou que apresentam riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para um aumento no índice de mortalidade ou incidência de enfermidade devido a sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Já os resíduos não perigosos e não inertes são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos (classe I) ou de resíduos não perigosos e inertes (classe II B). Esses resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Os resíduos não perigosos e inertes são aqueles que quando amostrados de forma representativa e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tenha nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (BRASIL, 2008).

### 2.1 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Desde agosto de 2010, a sociedade (cidadãos, governos, setor privado e sociedade civil organizada) passou a ser responsável pela gestão ambientalmente

adequada dos resíduos sólidos por meio da Lei Federal nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

Com base nesta Lei, os resíduos sólidos podem ser classificados em duas categorias, origem e periculosidade:

- **Quanto à origem:**

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nos itens anteriores (“a” e “b”);
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nos itens “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos no item “c”;
- f) resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS);
- h) resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;
- i) resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;
- j) resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;
- k) resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios.

- **Quanto à periculosidade:**

- a) resíduos perigosos: aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica;
- b) resíduos não perigosos: aqueles não enquadrados no item anterior.

Reunindo princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação com Estados, Distrito Federal, Municípios ou particulares, a PNRS visa o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos, instituindo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto.

A responsabilidade compartilhada faz dos fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana, e de manejo de resíduos sólidos, responsáveis pelo ciclo de vida dos produtos. O poder público deve apresentar planos para o manejo correto dos resíduos; às empresas compete o recolhimento dos produtos após o uso e, à sociedade cabe participar dos programas de coleta seletiva, acondicionando os resíduos adequadamente e de forma diferenciada, além de incorporar mudanças de hábitos para reduzir o consumo e a conseqüentemente a geração (BRASIL, 2012).

Um dos objetivos fundamentais estabelecidos pela Lei é a ordem de prioridade para a gestão dos resíduos, sendo respectivamente: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

A redução consiste na diminuição da quantidade de resíduos sólidos gerados, a reutilização no aproveitamento de produtos, objetos ou embalagens sem que estes sofram quaisquer tipos de alterações ou processamentos complexos, e a reciclagem consiste em transformar os resíduos para fabricar novos produtos, idênticos ou não aos que lhes deram origem (BRASIL, 2008).

É extremamente importante o planejamento de todos os níveis, do nacional ao local, além do gerenciamento de determinados resíduos. Um dos principais instrumentos da PNRS é o Plano Nacional de Resíduos Sólidos, integrando os Planos Estaduais, Municipais e os de Gerenciamento de Resíduos Sólidos de alguns geradores específicos. Na Tabela 2-1 estão relacionados os planos de atribuição pública e seus respectivos prazos estabelecidos pelo Decreto nº 10.936/22 (BRASIL, 2022).

**Tabela 2-1: Planos de Resíduos Sólidos e prazos estabelecidos**

<b>ESFERA</b>	<b>Plano</b>	<b>Vigência</b>	<b>Horizonte de atuação</b>	<b>Atualização ou Revisão</b>
<b>Federal</b>	Plano Nacional de Resíduos Sólidos	de Indeterminado	20 anos	A cada 4 anos (previsão)
<b>Estadual</b>	Plano Estadual de Resíduos Sólidos	Indeterminado	20 anos	A cada 4 anos (previsão)
	Plano Microrregional de Resíduos Sólidos			
	Plano de Resíduos Sólidos de Regiões Metropolitanas ou Aglomerações Urbanas			
<b>Municipal</b>	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	Indeterminado	20 anos	Prioritariamente, no máximo a cada 4 anos, junto com a revisão do plano plurianual.
	Plano Intermunicipal de Resíduos Sólidos <i>*Municípios com menos de 20mil habitantes poderão adotar planos simplificados de gestão de resíduos sólidos.</i>			

Fonte: adaptado de Brasil (2022).

## 2.2 RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) a partir da Resolução nº 307/2002 (BRASIL, 2002) define como resíduos da construção civil aqueles provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção

civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos. E os classifica em quatro classes distintas:

- **Classe A:** são os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:
  - a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
  - b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto;
  - c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras;
- **Classe B:** são os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso;
- **Classe C:** são os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação;
- **Classe D:** são resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Os resíduos provenientes da construção civil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004a), também podem ser classificados como “Classe II B - Inertes”, determinando que esses resíduos, quando sujeitos ao ensaio de solubilização efetuado segundo as diretrizes da NBR 10006 (ABNT, 2004b), não



devem apresentar nenhum de seus componentes solubilizados com concentrações acima dos padrões de potabilidade da água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Apesar dos resíduos da construção civil serem classificados como inertes, segundo Marques Neto (2009), tal característica têm pouca significância no contexto dos demais danos ambientais devido à enorme quantidade de entulho ou rejeito, cuja destinação demanda novas áreas, cada vez maiores e mais distantes, com custos operacionais efetivamente maiores.

### **2.3 GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O CONAMA na Resolução nº 307/2002 define gerenciamento de resíduos como um 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 (BRASIL, 2002).

Para a implementação da gestão dos resíduos da construção civil, a Resolução nº 307/2002 constituída pelo CONAMA atribui que os Planos de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil devem contemplar cinco etapas (BRASIL, 2002):

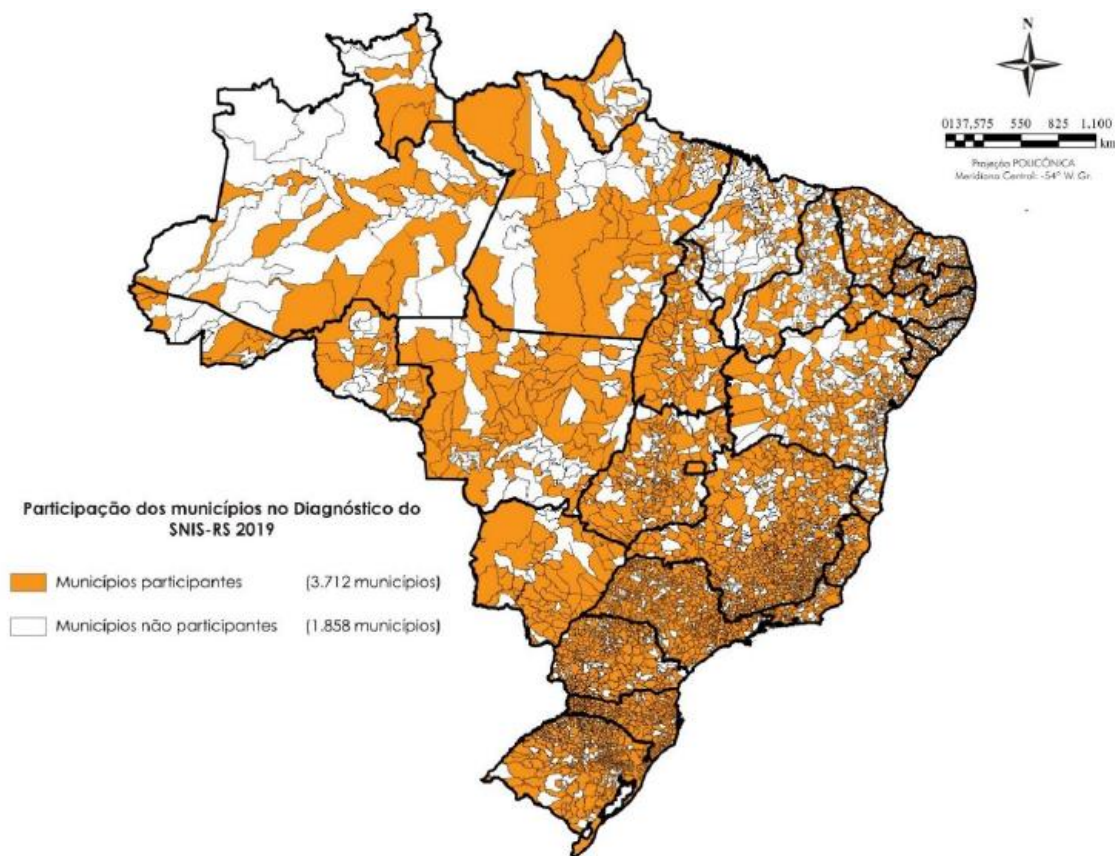
- 1) Caracterização: nesta etapa o gerador deverá identificar e quantificar os resíduos;
- 2) Triagem: deverá ser realizada, preferencialmente, pelo gerador na origem, ou ser realizada nas áreas de destinação licenciadas para essa finalidade, respeitadas as classes de resíduos estabelecidas na Resolução;
- 3) Acondicionamento: o gerador deve garantir o confinamento dos resíduos após a geração até a etapa de transporte, assegurando em todos os casos em que seja possível, as condições de reutilização e de reciclagem;
- 4) Transporte: deverá ser realizado em conformidade com as etapas anteriores e de acordo com as normas técnicas vigentes para o transporte de resíduos;
- 5) Destinação: deverá ser prevista de acordo com o estabelecido na Resolução.

Além da criação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos no Brasil e das resoluções do CONAMA direcionadas para gestão de resíduos da construção civil, algumas normas e especificações técnicas foram elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT com o objetivo de melhorar o controle e acompanhamento da geração de resíduos até o seu destino:

- **ABNT NBR 15112:2004:** fixa os requisitos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de transbordo e triagem de resíduos da construção civil e resíduos volumosos (ABNT, 2004c).
- **ABNT NBR 15113:2004:** fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de aterros de resíduos sólidos da construção civil classe A e de resíduos inertes (ABNT, 2004d).
- **ABNT NBR 15114:2004:** fixa os requisitos mínimos exigíveis para projeto, implantação e operação de áreas de reciclagem de resíduos sólidos da construção civil classe A (ABNT, 2004e).
- **ABNT NBR 15115:2004:** estabelece os critérios para execução de camadas 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 (ABNT, 2004f).
- **ABNT NBR 15116:2004:** estabelece os requisitos para o emprego de agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil (ABNT, 2004g).

O Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), destaca dados que permitem identificar o comportamento dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos nos municípios brasileiros, a partir das informações prestadas, indicadores e estimativas são calculados. Como exemplifica a Figura 2-1, em 2019, 3.712 municípios participaram da coleta, equivalente a 66,6% do total do país, em termos de população urbana este percentual representa 86,6% (BRASIL, 2020).

**Figura 2-1: Distribuição espacial dos municípios participantes do SNIS, componente Resíduos Sólidos**



Fonte: Brasil (2020)

A partir dos dados coletados pelo SNIS, são levantadas diversas informações, como, por exemplo, a cobertura do serviço regular de coleta de resíduos domiciliares e os dados referentes à destinação final dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com o exemplificado na Tabela 2-2, do total de unidades de processamento de resíduos 168 são destinadas ao processamento de resíduos da construção civil, equivalente à 3,9% do total de unidades atualizadas. Embora possam não ser exclusivas para este tipo de resíduo, sobretudo no caso das áreas de transbordo e triagem, enquadram-se neste bloco as citadas ATTs (áreas de transbordo e triagem), com 53 unidades; os aterros de construção civil, com 79 unidades (embora haja casos em que se confundam com os antigos “bota-foras”); e as estações de reciclagem de RCC, que somam 36 unidades.

**Tabela 2-2: Unidades de processamento de RCC com informações atualizadas dos municípios participantes do SNIS, segundo macrorregião geográfica**

Tipos de unidade de processamento de RCC	Quantidade de unidade de processamento na amostra por macrorregião geográfica					Total de unidades na amostra
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Área de transbordo e triagem de RCC e volumosos (ATT)	0	5	23	25	0	<b>53</b>
Área de reciclagem de RCC	0	2	27	6	1	<b>36</b>
Aterro de RCC (aterros inertes)	1	5	54	13	6	<b>79</b>
<b>Total - 2019</b>	<b>1</b>	<b>12</b>	<b>104</b>	<b>44</b>	<b>7</b>	<b>168</b>

Fonte: adaptado de Brasil (2020).

Os locais destinados ao emprego de técnicas de disposição de resíduos da construção civil são importantes, uma vez que estes, têm o objetivo armazenar materiais segregados, de forma a possibilitar o uso futuro dos materiais e/ou futura utilização da área, conforme os princípios de engenharia para confinar ao menor volume possível, de forma que não venha causar danos ao meio ambiente e à saúde pública (BRASIL, 2002).

Com respeito às massas totais de resíduos dos 3.712 municípios participantes da pesquisa, como mostra a Tabela 2-3, as unidades receptoras de RCC (ATTs, aterros de resíduos da construção civil e áreas de reciclagem) somam aproximadamente 4,4 milhões de toneladas recebidas, valor equivalente ao identificado em 2018.

As informações apresentadas por Brasil (2020) conduz à conclusão de que a prática da coleta seletiva no país, embora apresente alguns avanços, ainda se encontra num patamar muito baixo.

**Tabela 2-3: Massa total de RCC recebidos pelas unidades de processamento dos municípios participantes do SNIS, segundo tipo de unidade e macrorregião geográfica**

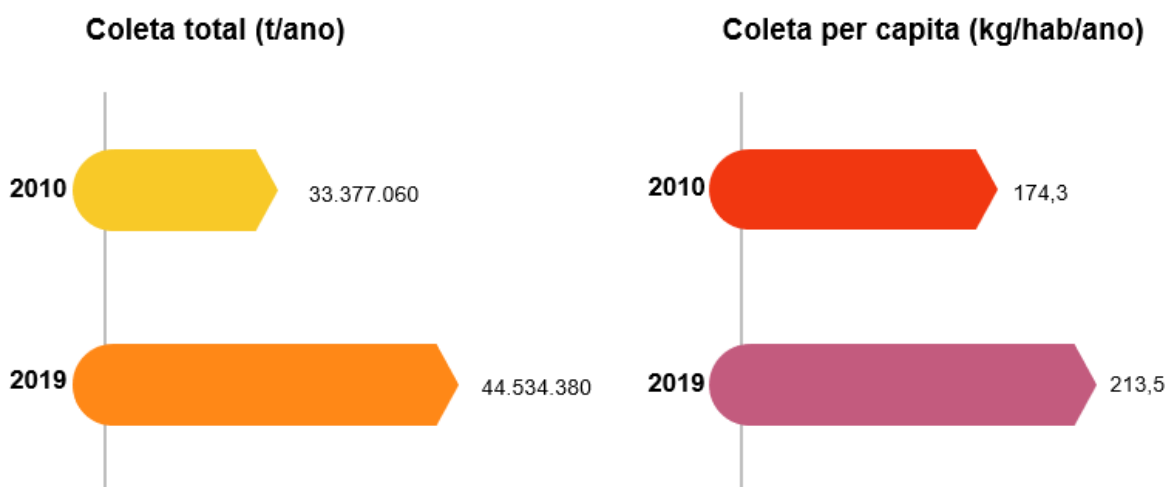
Tipos de unidade de processamento de RCC	Massa recebida nas unidades de processamento por macrorregião geográfica (toneladas)					Massa total recebida (ton.)
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Área de transbordo e triagem de RCC e volumosos (ATT)	0,00	61.139,00	303.148,10	177.632,90	0,00	<b>541.920,00</b>
Área de reciclagem de RCC	0,00	30.598,60	661.852,90	153.482,20	0,00	<b>845.933,70</b>
Aterro de RCC (aterros inertes)	13.330,00	190.738,60	1.181.100,80	90.142,00	1.523.828,00	<b>2.999.139,40</b>
<b>Total - 2019</b>	<b>13.330,00</b>	<b>282.476,20</b>	<b>2.146.101,80</b>	<b>421.257,10</b>	<b>1.523.828,00</b>	<b>4.386.993,10</b>

Fonte: adaptado de Brasil (2020).

Segundo Souza *et al.* (2004), o interesse em saber a quantidade de resíduos gerada pela indústria da construção civil existe há algum tempo e tem se acirrado com a discussão de questões ambientais, uma vez que o desperdício de materiais significa desperdiçar recursos naturais, colocando a indústria da construção civil no centro das discussões na busca pelo desenvolvimento sustentável nas suas diversas dimensões. Soma-se a esse fato a escassez de locais para a deposição do resíduo gerado, principalmente nos grandes centros urbanos, o que ocasiona transtornos à população e demanda vultosos investimentos financeiros.

Isto posto, o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020, realizado pela Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apresentou 44,5 milhões de RCC coletados pelos municípios em 2019. Tal valor refere-se, em sua maioria, apenas ao que foi abandonado em vias e logradouros públicos, devido esse tipo de resíduo os gestores de obra serem os responsáveis pela coleta. O Panorama ainda registra um aumento quantitativo analisando desde o período de 2010 (Figura 2-2), onde foi coletado 33 milhões de toneladas, com isso, a quantidade coletada per capita cresceu de 174,3 kg para 213,5 kg por habitante, por ano (ABRELPE, 2020).

Figura 2-2: Coleta de RCC pelos municípios no Brasil



Fonte: adaptado de Abrelpe (2020).

O desenvolvimento e urbanização sucessivos de uma cidade antiga, necessidades substanciais de infraestrutura nacional, casas modernas, edifícios comerciais e equipamentos sociais, sem dúvida, produzem uma quantidade significativa de resíduos da construção das atividades de construção e demolição (OSMANI; GLASS; PRICE, 2008; YUAN; SHEN, 2011). Este desperdício proporciona um grave impacto na vida do indivíduo. Os resíduos da construção apresentam uma enorme quantidade de materiais de construção, o que representa um desperdício de valiosos recursos naturais. Além disso, consome um enorme espaço de aterro, o que diminui adicionalmente os escassos recursos terrestres, e contém substâncias nocivas que prejudicam o bem-estar humano e o ambiente natural circundante. Portanto, a abordagem mais prática para minimizar o efeito dos resíduos no meio ambiente é evitar a geração de resíduos (YUAN; SHEN, 2011; EKANAYAKE; OFORI, 2004; WANG; LI; TAM, 2014).

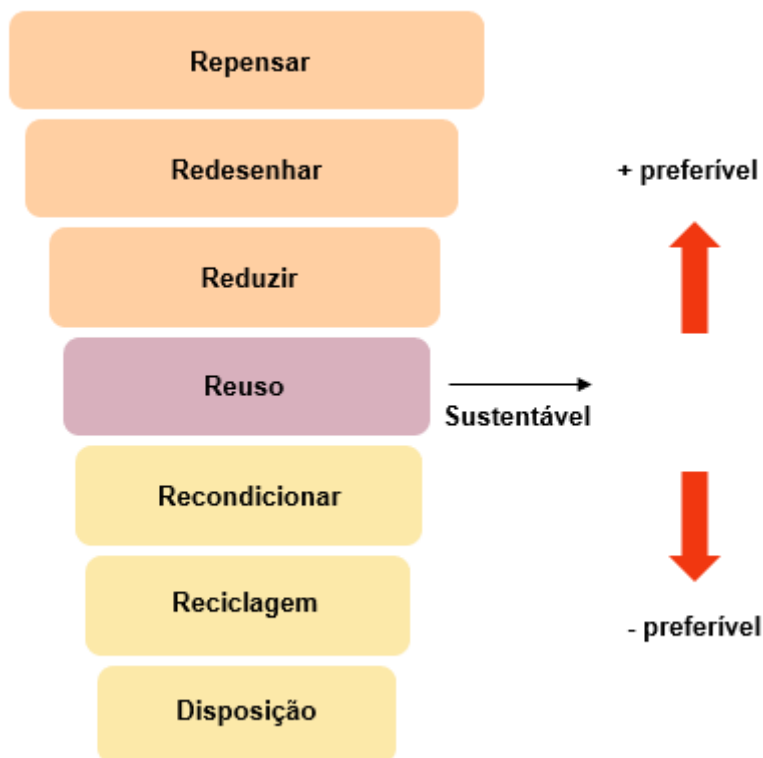
De acordo com a ABRECON [20--], praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de entulho. No processo construtivo, o alto índice de perdas é a principal causa de entulho gerado pelo setor, contudo, nem toda a perda se transformará efetivamente em resíduo, uma vez que

parte fica na própria obra. A quantidade de entulho gerado na construção civil, corresponde em média, a 50% do material desperdiçado. Entre os materiais que mais contribuem para a geração de entulho, estão os materiais pertencentes a Classe A, que podem ser reutilizados ou reciclados.

A geração de resíduos da construção civil e sua redução e reciclagem têm sido os três principais interesses dos pesquisadores nos últimos quinze anos (UMAR *et al.*, 2017). Como resultado disso, surgiu o conceito de *Waste Hierarchy Principle* (WHP) - ou no português, Princípio da Hierarquia de Resíduos - para enfrentar alguns desses desafios. O WHP refere-se aos 3Rs de reduzir, reutilizar e reciclar, classificando as opções de gerenciamento de resíduos em termos da meta de minimização de resíduos (UNNIKRISHNAN; SINGH, 2010; SINGH; CRANAGE; LEE, 2014). Mais fatores poderiam ser incluídos para compor a hierarquia com diferentes estágios. Por exemplo, encontra-se uma hierarquia cada vez mais exigente com os 7Rs como repensar, redesenhar, reduzir, reutilizar, reformar e reciclar e expandir o WHP, que pode chegar até mesmo ao tratamento e descarte de resíduos. O objetivo do WHP é extrair os melhores ganhos dos produtos e, simultaneamente, produzir a menor quantidade de resíduos (UNNIKRISHNAN; SINGH, 2010). Apesar de o WHP ter sido utilizado globalmente, sua utilização como a alternativa ambiental mais útil continua competitiva.

A Figura 2-3 demonstra todo o processo de estrutura de gestão de resíduos como o processo orientador em zero resíduos, que é um fator primário na condução de medidas de gestão de resíduos por meio da descoberta contínua da necessidade de flexibilidade de acordo com as circunstâncias econômicas, sociais e ambientais regionais, locais. A hierarquia de gestão de resíduos é uma diretriz reconhecida nacional e globalmente para priorizar abordagens de gestão de resíduos com o objetivo de alcançar o máximo de sucesso ambientalmente amigável.

Figura 2-3: Hierarquia da gestão de resíduos



Fonte: adaptado de Umar *et al.* (2017).

Umar *et al.* (2017) revisaram extensivamente a literatura associada à adoção de diferentes técnicas inovadoras em Gestão e Política de Resíduos da Construção para descobrir o estado e o desenvolvimento do fluxo de resíduos da construção e revelar lacunas para futuras investigações por meio da exploração de várias publicações que têm ênfase na gestão de resíduos da construção. Os resultados mostraram que há um crescimento substancial no número de estudos associados a resíduos da construção. Porém, as taxas de reutilização e reciclagem de resíduos da construção ainda são mínimas, o que continua a impactar o meio ambiente.

Alguns fatores ratificam a cultura do desperdício dentro da construção civil, dentre eles: projetos inadequados, falta de gestão, baixo custo de mão-de-obra e material, manejo de entulho e bota-fora, sem responsabilidade ambiental (CARVALHO; SOUZA; LIBRELOTTO, 2014).



Os obstáculos que impedem a realização da gestão sustentável de resíduos devem ser desvendados para implementar adequadamente o conceito de sustentabilidade na gestão de resíduos (Tabela 2-4).

Tabela 2-4: Principais problemas de resíduos da construção e demolição

PROBLEMAS	DESCRIÇÃO
<b>Tecnologia inadequada e instalações</b>	A taxa crescente de geração de resíduos fez com que as tecnologias atuais, como o aterro sanitário, fossem incapazes de lidar com isso.
<b>Ausência de reciclagem eficaz no mercado</b>	A reciclagem exige fortes campanhas publicitárias para encontrar um mercado e vender com maior valor. A ausência disso limitará a implementação bem-sucedida da reciclagem de resíduos.
<b>Fundos insuficientes</b>	Como a minimização de resíduos exige um custo maior, diversos profissionais do setor estão cautelosos para aplicar o método de gestão de resíduos. Uma recompensa ou fundo apropriado pode ser sua motivação para usar a redução de resíduos como um dos processos de gestão de resíduos.
<b>Regulamentação, orientações e aplicação insuficientes</b>	Diretrizes são necessárias para os profissionais do setor aderirem e empregarem seu método de gestão de resíduos. No entanto, é um desafio produzir um resíduo da construção e demolição holístico com sistema de gestão incorporado, eficiente em termos de custos, sustentável e satisfatório para a sociedade, com foco na eficiência de recursos ambientais e inovação tecnológica seleção.
<b>Falta de consciência</b>	Apesar do fato de haver muitas diretrizes iniciadas, a maioria dos profissionais da indústria não reconhecem a importância de empregar a gestão de resíduos da construção civil de acordo com a hierarquia de gestão de resíduos que dá prioridade à redução de resíduos, minimização e reciclagem.
<b>Falta de implementação</b>	Apesar das estratégias bem desenvolvidas de gestão de resíduos da construção civil, a implementação de esses métodos de gestão na prática está longe de ser eficaz.
<b>Desperdício e tecnologia inadequada</b>	Por exemplo, a aplicação de pré-fabricação continua a ser altamente recomendada, pois pode ajudar a melhorar a segurança do local, oferecendo uma condição de local mais limpa e organizada, maximizar qualidade criando componentes em condições de fábrica e erradicando do local má gestão.
<b>Falta de triagem no local de resíduos da construção</b>	A triagem no local aumenta as taxas de reutilização e reciclagem, reduzindo o preço dos resíduos descarte e transporte de materiais e prolongando a vida útil dos aterros sanitários.
<b>Mão de obra insuficiente</b>	A falta de desenvolvimento de mão de obra pode levar à baixa produtividade, e verificar a ligação entre a má gestão de resíduos no local.
<b>Reutilização e reciclagem de materiais inadequadas</b>	A reutilização e a reciclagem podem fornecer uma solução promissora para os problemas com a gestão de resíduos da construção civil. A aceitabilidade de materiais reciclados é prejudicada devido à má imagem associados à atividade de reciclagem e falta de confiança em um produto acabado.

Fonte: adaptado de Umar *et al.* (2017).

Por ser um grande gerador de resíduos sólidos, é necessário que o setor da construção civil assuma o compromisso com a responsabilidade social e ambiental para a diminuição de desperdício de materiais e a redução de resíduos. A minoração de erros de processo aliado a gestão de resíduos são soluções para a redução de desperdício e geração de entulhos. Esta gestão depende de um efetivo planejamento de produto concluído e compatibilizado em concordância com um planejamento de processo em constante atualização (CARVALHO; SOUZA; LIBRELOTTO, 2014).

Umar *et al.* (2017) afirma que os profissionais da construção precisam aceitar o crescimento da mão de obra, como técnica colaborativa e operacional. Isso pode melhorar gradualmente a experiência prática, atitude e habilidades exigidas pelos trabalhadores para operar bem em uma atividade atribuída e melhorar cumulativamente a meta de redução de resíduos.

Entretanto, alguns fatores impedem uma gestão de resíduos ambientalmente adequada, Teo e Loosemore (2001) investigaram as atitudes das operações em canteiro de obras em relação aos resíduos, as principais influências e quaisquer impedimentos para a gestão. Os resultados indicaram uma sensação de inevitabilidade e pragmatismo em relação ao desperdício entre os operativos, segundo os autores, para uma gestão eficaz de resíduos deve haver um senso de responsabilidade coletiva, restringido por baixos níveis de conhecimento sobre o impacto dos resíduos, métodos de redução e pela ausência de políticas bem comunicadas e eficazes.

De acordo com Umar *et al.* (2017), muitos instrumentos legais controlam a gestão de resíduos e descrevem os deveres dos geradores de resíduos, o controle de resíduos em estabelecimentos, reguladores de planejamento de resíduos e autoridades de resíduos. Isso implica especificamente que uma política para todas as autoridades sobre resíduos geralmente discute esses desafios específicos. A conformidade com as diretrizes legais de gestão de resíduos, garante a minimização dos resíduos gerados, o manuseio e armazenamento seguro, e medidas preventivas de educação adequada para as comunidades sobre os desafios da gestão de resíduos. No entanto, as políticas governamentais ainda não são efetivamente aplicadas e tomadas como medidas pelos profissionais do setor. As políticas são

insuficientes para incluir todo o conceito de sustentabilidade, além disso, a tecnologia mais utilizada é o aterro sanitário.

Ainda segundo Umar *et al.* (2017), o número total de artigos em resíduos da construção vem crescendo muito desde 2000 até o presente. Isso significa que a indústria da construção precisa de aprimoramento contínuo em relação a gestão de resíduos da construção civil para garantir a construção sustentável alcançável. No entanto, grande parte dos artigos mostram que os aterros sanitários são mal-conservados e representavam uma ameaça ao ambiente natural. Além da taxa de reutilização e reciclagem de resíduos da construção ainda é mínima. Esses cenários continuam impactando o bem-estar ambiental e contribuindo para o aquecimento global devido à emissão de CO<sub>2</sub> dos resíduos gerados.

No mesmo contexto, Marques Neto (2009) estudou a gestão municipal dos RCD na Bacia Hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15), e concluiu que a maioria dos 64 municípios integrantes ainda precisam implantar as atuais diretrizes propostas pela legislação federal, o poder executivo municipal dos pequenos municípios, na maioria dos casos, recebem pouca ou nenhuma orientação ou fiscalização das esferas estaduais e federais para o cumprimento das legislações em vigor. O autor também observa a necessidade de conscientização e implantação de educação ambiental nos municípios, englobando os geradores que não tratam seus entulhos e descartam em áreas irregulares, até as próprias prefeituras que necessitam de instrumentos legais e sistemas de manejo eficientes.

Isso pode ser alcançado por meio de medidas como programas educacionais para aumentar os níveis de conhecimento, incentivos para operativos para envolver-se em práticas menos desperdiçadoras e no desenvolvimento de maneiras mais eficientes e convenientes de lidar com o desperdício e tornar sua geração menos garantida (TEO; LOOSEMORE, 2001).

### **3. BUILDING INFORMATION MODELING**

Com o objetivo de reduzir erros e aumentar a produtividade e a qualidade dos projetos no setor, a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) encontra-se em fase de transformação e evolução. Tal mudança ocorre pela introdução de ferramentas da Tecnologia da Informação (TI) para conversão das informações de uma edificação em modelos digitais inteligentes (BRITO, 2019). O BIM é um exemplo de TI aplicado à AECO.

A NBR ISO 12006-2 (ABNT, 2018) se refere ao BIM como um intercâmbio e troca de informações, de todos os tipos, ao longo da linha do tempo de um projeto e entre os diversos participantes e aplicativos. E para que esses intercâmbios de informações sejam bem-sucedidos, é necessária uma abordagem abrangente, completa e consistente para a classificação de objetos da construção, dentro de um único projeto e entre diversos projetos.

Para a ABDI (2017, p.12) “o BIM considera rotinas como a interação entre elementos e suas representações e uma abordagem de componentes virtuais para a representação da construção em um modelo virtual.” Catelani e Santos (2016) definem BIM como um conjunto de políticas, processos e tecnologia que, quando combinados, são capazes de gerar uma metodologia para gerenciar o processo de projeto de uma edificação, analisar o seu desempenho em funcionamento e gerenciar as informações e dados obtidos ao longo do ciclo de vida da construção, como mostra a Figura 3-1.

Figura 3-1: BIM no ciclo de vida das edificações

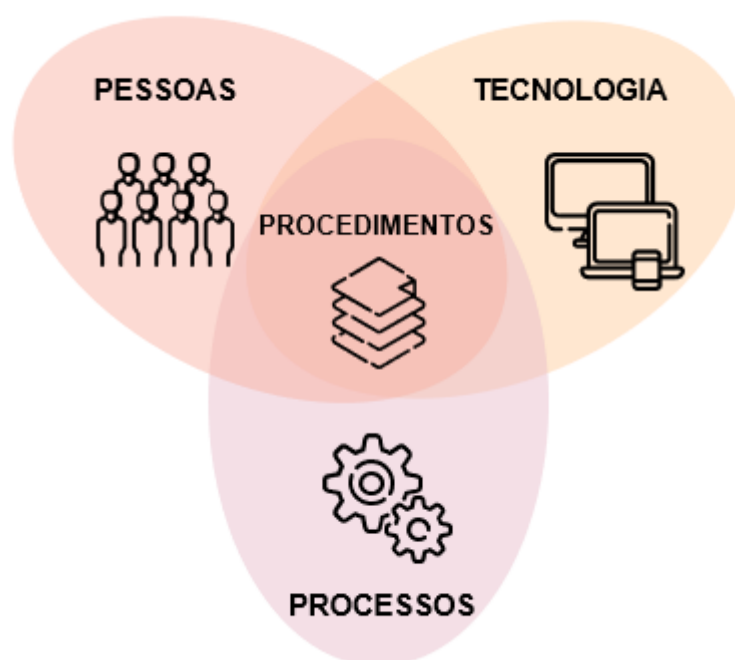


Fonte: adaptado de ABDI (2017).

O modelo BIM não é apenas um desenho em 3D, a utilização da metodologia de projeto e construção virtual é capaz de criar virtualmente um ambiente capaz de simular a existência daquela construção em toda a sua complexidade e relacioná-la aos dados do seu entorno. Portanto, um modelo virtual em BIM deve considerar o mundo real onde a obra será inserida, permitindo que o projeto possa ser concebido de forma coordenada desde o início, além de prevenir e corrigir os problemas antes da etapa de obra. No modelo tradicional, isso era feito com mais dificuldade pelos responsáveis, devendo ter muita experiência e prática de obra para resolver as questões que surgiam (ABDI, 2017).

O processo de projeto em BIM classifica-se como uma inovação tecnológica, provocando a ruptura dos padrões, modelos e tecnologias já estabelecidos pelo mercado. Trata-se de uma mudança de cultura da organização e de todos os participantes. Esta mudança de cultura envolve pessoas, processos, e a maneira da organização resolver os problemas e desenvolver seus produtos. Assim, a metodologia BIM se baseia em três dimensões fundamentais: tecnologia, pessoas e processos, e relacionadas entre si por procedimentos, normas e boas práticas, conforme exemplificado na Figura 3-2 (ABDI, 2017).

**Figura 3-2: Os fundamentos do BIM**



Fonte: adaptado de ABDI (2017).

A modelagem envolve a infraestrutura necessária para a operação. O foco pessoas é fundamental na estratégia de implantação. O foco processo abrange não apenas os novos processos internos a serem adotados, como também os processos interempresariais. Os procedimentos, normas e boas práticas são vinculadas entre si por um conjunto de documentos que regula e consolida os processos e as políticas

de pessoal, práticas comerciais e uso e operação da infraestrutura tecnológica (ABDI, 2017).

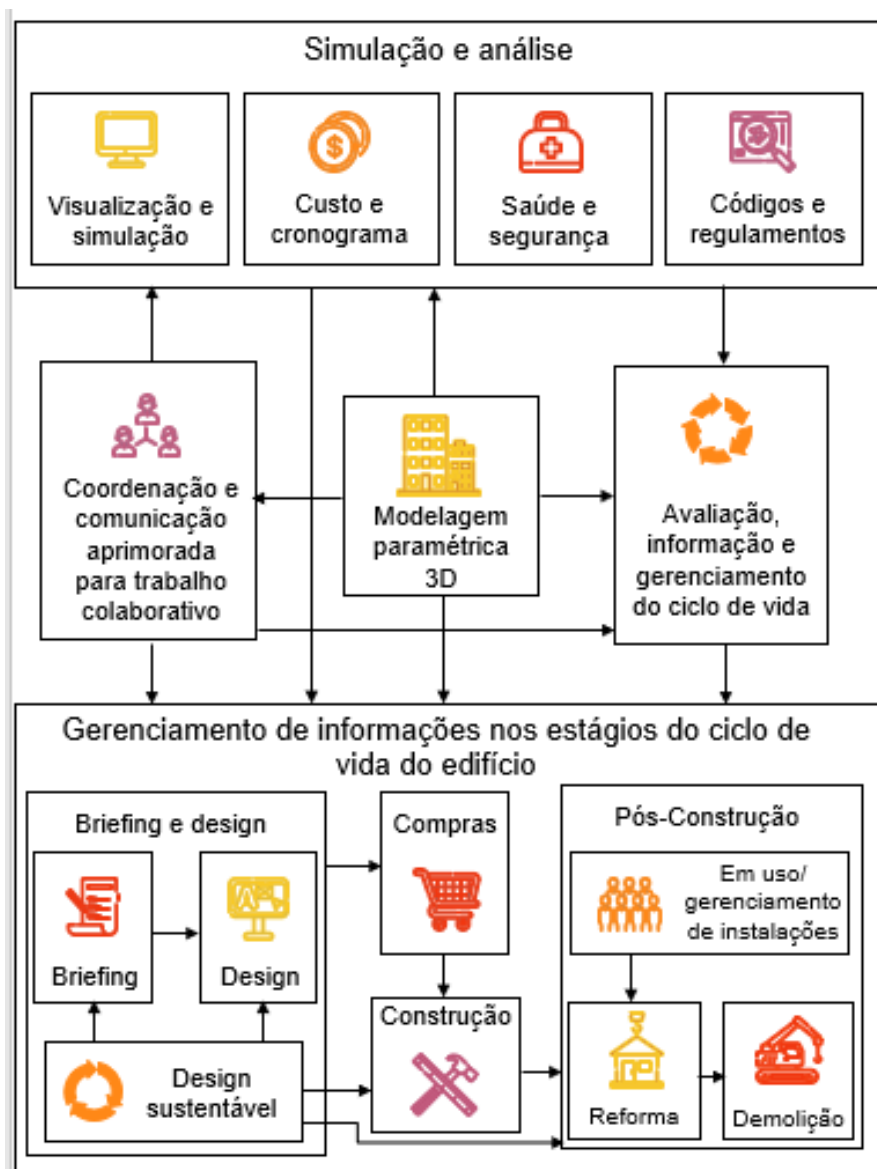
A ampla aceitação do BIM revolucionou o projeto, construção, entrega e operação dos projetos de construção em todo o mundo (EASTMAN *et al.*, 2008). O BIM já é praticado há alguns anos na indústria da construção, mas foi amplamente aceito há apenas alguns anos por governos, autoridades locais e organizações privadas (GHAFARIANHOSEINI *et al.*, 2017).

Atualmente, o BIM é fundamental para impulsionar técnicas inovadoras para melhorar o desempenho da indústria de construção. Especificamente no uso de técnicas de fabricação externas, construção enxuta e sustentabilidade na construção (ABANDA; TAH; CHEUNG, 2017).

Liu *et al.* (2015) observaram que o BIM está sendo usado gradualmente para atingir várias metas de desempenho de projeto, construção e gerenciamento de instalações, incluindo melhorar a simulação e análise, coordenação e comunicação para o trabalho colaborativo, avaliação e gerenciamento de informações do ciclo de vida, e design sustentável nos estágios do ciclo de vida do projeto. Como indicado na Figura 3-3, o uso atual do BIM traz benefícios durante todo o ciclo de vida do projeto.



Figura 3-3: Quadro conceitual do uso corrente do BIM



Fonte: adaptado de Liu *et al.* (2015).

Rajendran e Pathrose (2012) acreditam que o reconhecimento geral da adoção do BIM se tornará mais pronunciada para demonstrar não apenas todo o ciclo de vida do edifício, mas também avaliar o desempenho ambiental e os impactos nos edifícios. O modelo virtual elimina confusões, ajuda todos envolvidos entender melhor o edifício em termos de espaço, função, custo e comercialização, auxiliando na redução de desperdício e resultando em maiores taxas de retorno. Portanto, o BIM deve ser

implementado no início da fase de projeto, evitando trabalhos extras desnecessários durante a construção, causando atrasos e desperdícios de materiais.

### **3.1 MODELAGEM BIM NA GESTÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO**

A minimização de resíduos é um elemento importante da gestão de resíduos. É o processo de eliminação que exige a redução do volume de resíduos gerados na sociedade contemporânea, e auxilia na minimização da geração de resíduos perigosos e persistentes, auxiliando as iniciativas para o aprimoramento de uma sociedade moderna mais sustentável (YUAN; SHEN, 2011; WANG; LI; TAM, 2014).

Em diversas pesquisas que foram realizadas descobriram questões associadas aos resíduos e suas causas na fase de construção que possuem um impacto considerável no projeto e no meio ambiente. Os resultados estabeleceram que a identificação de resíduos e sua capacidade de gestão são muito grandes. Para reduzir esse efeito, os profissionais da construção devem avaliar os principais elementos contributivos antes de se envolver com as obras de construção. Este elemento essencial não apenas oferece aos projetistas e administradores de projeto um número importante de padrões para técnicas de projeto bem-sucedidas para diminuir os resíduos da construção, mas também atuará como fontes úteis para as autoridades produzirem diretrizes apropriadas de redução de resíduos da construção (WANG; LI; TAM, 2014; KHANH; KIM, 2014; ARIF *et al.*, 2012; RAHMAN; NAGAPAN; ASMI, 2014).

O BIM que é uma aplicação importante para a redução de resíduos da construção durante a fase de projeto, geralmente tem sido aplicado nos últimos tempos. De acordo com Cheng e Ma (2013), as ferramentas utilizadas em Hong Kong para avaliar a quantidade de resíduos durante a construção podem permitir que os empreiteiros determinem os processos essenciais de geração de resíduos e preparem técnicas e estratégias de gestão. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido aplicada há muito tempo como uma solução de sustentabilidade para aprimorar os 3Rs (reduzir, reutilizar e reciclar) e diminuir o descarte de resíduos da construção, implementando técnicas sustentáveis e extensivas em todo o todo o ciclo de vida dos projetos de construção.

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é reconhecida mundialmente como um dos métodos mais completos para avaliação de impacto ambiental de edificações. O BIM seria uma plataforma ideal para integrar a ACV para auxiliar neste processo. No entanto, as ferramentas BIM e ACV atualmente não são totalmente interoperáveis (JALAEI; ZOGHI; KHOSHAND, 2021).

Cheng, Won e Das (2015) investigaram o potencial da modelagem BIM para apoiar os processos de projeto e construção de edifícios com o objetivo de gerenciar resíduos da construção civil. Assim concluíram que, o desperdício de construção e demolição poderia ser reduzido por meio de revisões de projeto, detecção de conflitos, levantamento de quantidade, planejamento de fases, utilização do local e pré-fabricação digital. Além disso, os resíduos da construção civil podem ser reutilizados e reciclados por meio do gerenciamento de um processo baseado em levantamento de quantidade, planejamento de fases e de utilização do local. Os resíduos minimizados e descartados podem ser monitorados pelo planejamento e execução de gerenciamento de resíduos baseado em BIM.

As causas do desperdício de construção e demolição podem ser resolvidas por meio de projeto que poderia ser facilitado pela modelagem de informações da construção (BIM) e construção enxuta. O BIM fornece a base para um melhor planejamento e programação e ajuda a garantir a chegada *just-in-time* de pessoas, equipamentos e materiais (EASTMAN *et al.*, 2008). Uma interface visual para um modelo BIM permitiria aos gestores selecionar visualmente os pacotes de trabalho para execução imediata e ter seus requisitos de materiais medidos automaticamente e compilados para entrega (SACKS; TRECKMANN, M. ROZENFELD, 2009). A construção enxuta também elimina o desperdício dos processos para melhorar o planejamento e o gerenciamento da construção e, em seguida, reduz o desperdício de material em 64% (NAHMENS; IKUMA, 2012). Além disso, a integração entre BIM e construção enxuta pode criar efeitos de sinergia nos canteiros de obras, melhorando os processos (SACKS *et al.*, 2009; SACKS; TRECKMANN, M. ROZENFELD, 2009).

O projeto de construção integrado pode evitar problemas e mudanças de projeto, reduzindo assim a geração de resíduos da construção civil. Um melhor planejamento e gerenciamento de construção também pode reduzir significativamente

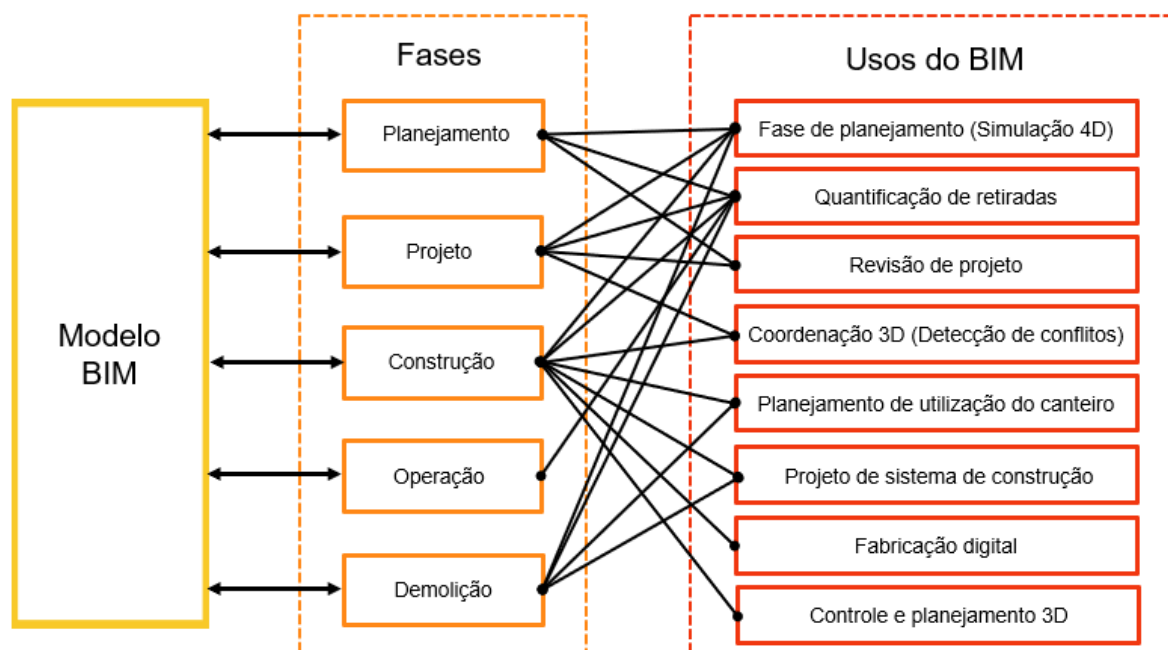
a geração de resíduos, evitando retrabalho de construção, manuseio desnecessário e matérias-primas não utilizadas.

Como principais causas de geração de resíduos da construção estão: inadequação da quantificação de resíduos, projeto inadequado, compras e planejamento ruim, manuseio ineficiente de materiais, resíduos de matérias-primas e alterações inesperadas no projeto e na fase de construção. No entanto, a modelagem BIM pode ser aproveitada para resolver esses problemas, auxiliando na melhoria dos processos e tecnologias nas fases de planejamento, projeto, construção e demolição. O uso do BIM também pode reduzir a geração de resíduos evitando retrabalho, manuseio desnecessário de material e utilizando as matérias-primas com base em medições precisas para pedidos de materiais (WON; CHENG, 2017).

Após uma aprofundada revisão de literatura, Won e Cheng (2017) identificaram oito usos do BIM para um gerenciamento eficiente de resíduos da construção e minimização nas fases de planejamento, projeto, construção, operação e demolição (Figura 3-4), sendo eles:

- 1) Planejamento de fases (simulação 4D);
- 2) Quantificação de retiradas;
- 3) Revisão de projeto;
- 4) Coordenação 3D (detecção de conflitos);
- 5) Planejamento de utilização no canteiro;
- 6) Projeto de sistema de construção (simulação virtual);
- 7) Fabricação digital e;
- 8) Controle e planejamento 3D.

**Figura 3-4: Abordagem baseada em BIM para gerenciamento e minimização de resíduos da construção**



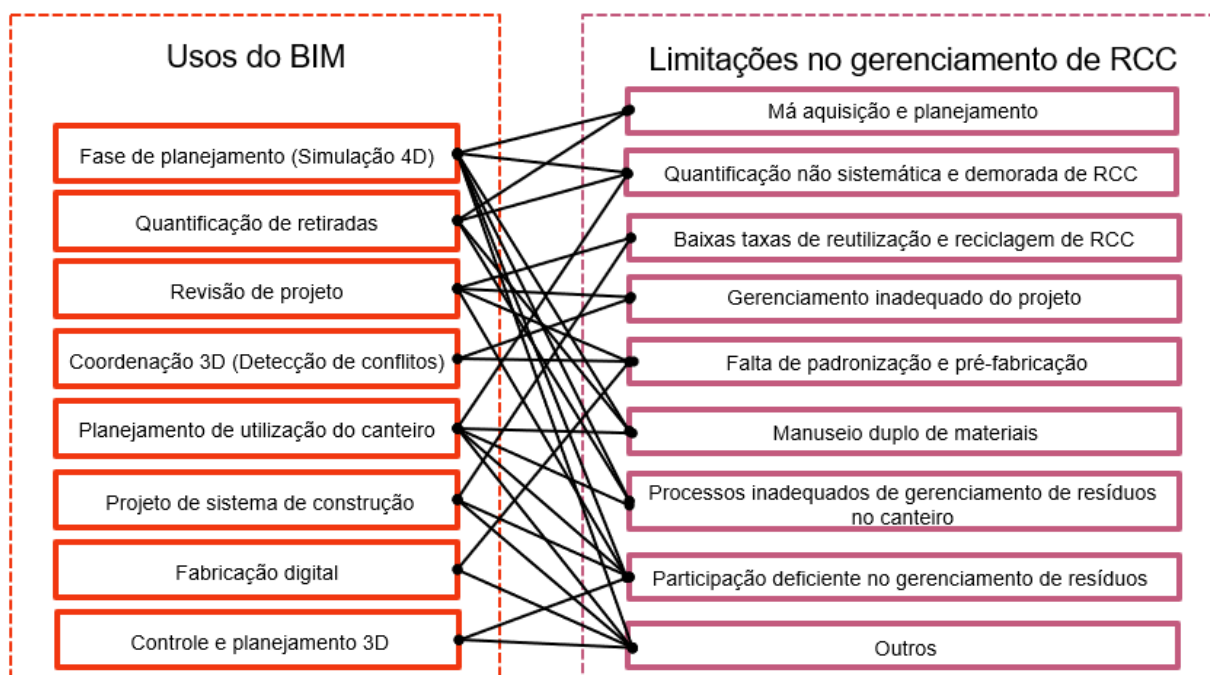
Fonte: adaptado de Won e Cheng (2017).

A partir de estudos anteriores, Won e Cheng (2017) também categorizaram as limitações relacionadas ao processo e à tecnologia de gestão e minimização de resíduos da construção em nove grupos:

- 1) Geração adicional de resíduos da construção devido à má aquisição e planejamento;
- 2) Quantificação não sistemática e demorada de RCC;
- 3) Baixas taxas de reutilização e reciclagem de RCC;
- 4) Resíduos gerados por um gerenciamento inadequado do projeto;
- 5) Falta de padronização e pré-fabricação devido a dimensões imprecisas dos componentes na fase inicial do projeto;
- 6) Desnecessárias gerações de resíduos da construção devido ao manuseio duplo de materiais;
- 7) Processos inadequados de gerenciamento de resíduos no canteiro;
- 8) Participação deficiente no gerenciamento de resíduos e;
- 9) Outros.

A partir das fases do empreendimento, a Figura 3-5 relaciona os usos e limitações do BIM para o gerenciamento e minimização de resíduos da construção.

**Figura 3-5: Abordagem baseada em BIM para gerenciamento e minimização de resíduos da construção**



Fonte: adaptado de Won e Cheng (2017).

A partir da necessidade de reduzir os impactos econômicos e ambientais causados pelo desperdício de materiais nas áreas urbanas, Magalhães *et al.* (2017) analisaram as causas da geração de resíduos na fase de construção e descobriram que a geração de resíduos não estava apenas ligada a decisões de projeto, mas também ao componente comportamental dos profissionais, reforçando a necessidade de melhores práticas focadas na conscientização da equipe no projeto.

Won, Cheng e Lee (2016) analisaram dois projetos na Coreia do Sul com o objetivo de quantificar a redução de resíduos da construção nas fases de pré-construção e construção por meio do processo de validação de projeto baseado no modelo BIM. Os dois casos totalizaram 517 erros de projeto, incluindo erros ilógicos, omissões e discrepâncias entre desenhos, detectados antes da construção por meio da modelagem BIM. As taxas de redução de resíduos da construção nos dois casos

foram de 15,2% e 4,3%. A redução de resíduos da construção é um dos principais benefícios quando erros de projeto que podem levar a retrabalho e resíduos da construção são detectados por meio da validação de projeto baseada em BIM.

Na fase de demolição, o objetivo do desenvolvimento de uma estratégia de gerenciamento de resíduos da desconstrução é evitar o desperdício no planejamento do estágio de desconstrução, reduzir o desperdício durante as atividades de desconstrução, reutilizar materiais sempre que possível, reciclar os materiais classificados ou armazenados no local, tratar os materiais e reutilizá-los no local, e descartar resíduos que não possam ser reutilizados, reciclados ou tratados para reutilização benéfica (GE *et al.*, 2017).

Ge *et al.* (2017) investigaram o uso do modelo 3D reconstruído e do BIM para melhorar a precisão das estimativas para o desenvolvimento de planos de desconstrução e gerenciamento de resíduos. Com base no BIM, todos os locais de materiais de construção foram identificados e quantificados com precisão e depois classificados como reutilização, reciclagem e aterro, incluindo materiais perigosos que precisam ser tratados especialmente. Todos os resíduos foram registrados e criados por nome do material, volume, fonte, categoria, código, documentos de previsão, dados, tempo dos resíduos coletados e facilidade de recebimento. Assim, o total de resíduos coletados e reutilizados, as taxas de reciclagem, entre outras informações, puderam ser rastreadas. A metodologia também pode ser aplicada às novas construções e todo seu ciclo de vida.

Cheng e Ma (2013) apresentaram um sistema baseado em BIM desenvolvido para estimativa e planejamento de resíduos de demolição e reforma. O sistema utilizado estimava a quantidade de resíduos descartado antes da demolição ou reforma, calculava a taxa de cobrança de descarte e a quantidade de caminhões necessários. Cheng e Ma (2013) concluíram que mais de 70% da taxa total pode ser economizada se todo o lixo for classificado em vez de descartado em aterro.

Os resíduos minimizados e descartados podem ser rastreados e monitorados contínua e sistematicamente pelo planejamento e execução do gerenciamento de resíduos baseado em BIM. No entanto, a reutilização e a reciclagem de RCD durante a fase de construção são relativamente difíceis devido a problemas de separação como: tempo, custo e qualidade. Portanto, métodos para reduzir e minimizar a

quantidade de RCC gerados devem ser considerados na fase de projeto (WON; CHENG, 2017).

Existe um consenso na literatura sobre o uso potencial de BIM para minimização de resíduos da construção durante as etapas de projeto, incluindo coordenação auxiliada por BIM, reduzindo conflitos entre disciplinas; redução de retrabalho; detecção de conflitos para redução de erros; melhorar a comunicação e a integração; aumentar a capacidade de quantificar e testar várias opções de projeto com desempenho variável de redução de resíduos; e melhorar a qualidade do conhecimento para a tomada de decisão na redução dos resíduos. No entanto, existe uma completa ausência de pesquisas sobre o desenvolvimento e revisão de ferramentas e metodologias que use o BIM para apoiar a tomada de decisão na minimização de resíduos durante a fase de projeto (LIU *et al.*, 2015).

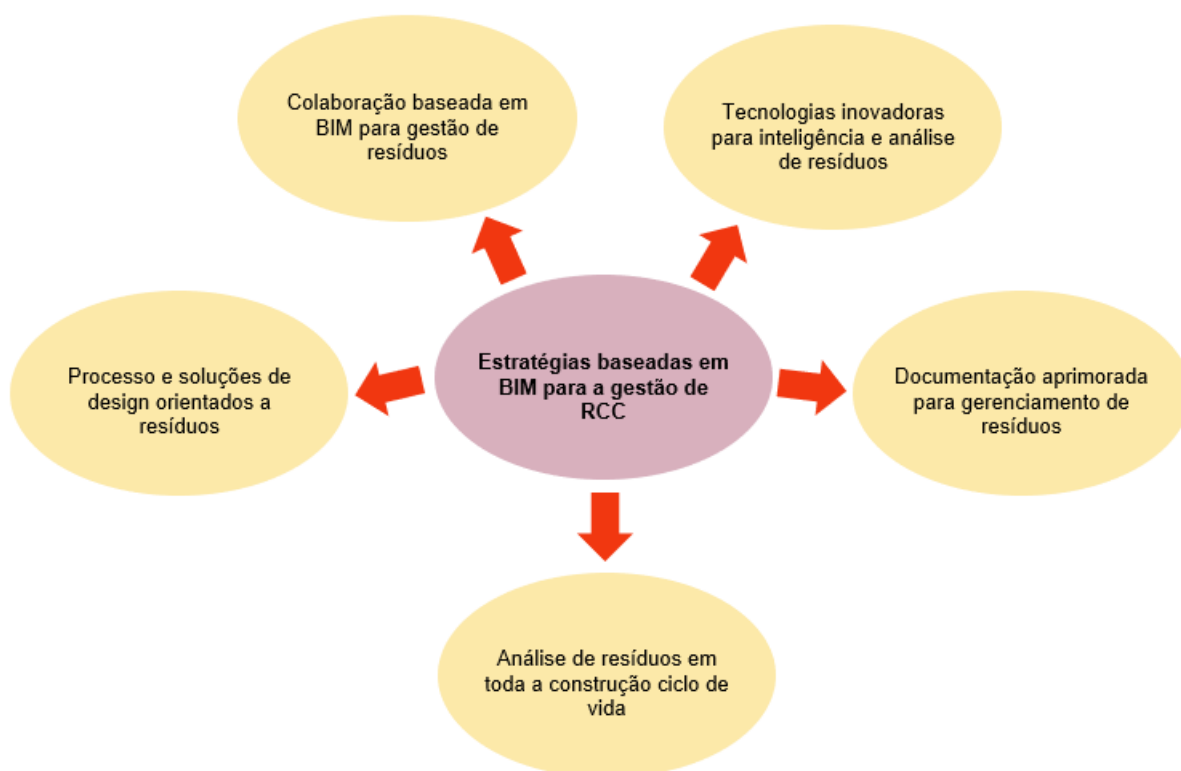
Diferentes estudos identificaram o BIM como uma plataforma potencial para projetar resíduos, mas nenhum deles forneceu informações explícitas sobre a utilização do BIM para esse fim (LIU *et al.*, 2011; PORWAL; HEWAGE, 2012; AJAYI *et al.*, 2015; AHUJA *et al.*, 2020). Akinade *et al.* (2016) discutiram o papel do projeto e a disponibilidade de ferramentas de projeto para gerenciamento e redução de resíduos, e reconheceram que os profissionais da indústria de construção reconhecem os benefícios das ferramentas de projeto no processo de redução de resíduos, no entanto, confirmaram que essas ferramentas até o momento não existiam. Por meio de uma revisão bibliográfica confirmaram que nenhuma das ferramentas revisadas fornece uma abordagem centrada no projeto em tempo real para minimizar o desperdício, sugerindo claramente que arquitetos e engenheiros de projeto se encarreguem de identificar possíveis fontes de desperdício por meio da otimização do projeto.

Ao avaliar as perspectivas das partes interessadas do setor sobre a utilização da modelagem BIM para o gerenciamento de resíduos da construção e demolição, cinco grupos principais de expectativas BIM para a gestão de resíduos da construção civil foram evidenciados (AKINADE *et al.*, 2018). Como ilustrado na Figura 3-6, os cinco grupos são:



- I. Colaboração baseada em BIM para gestão de resíduos;
- II. Processo e soluções de *design* orientados a resíduos;
- III. Análise de resíduos em toda a construção ciclo de vida;
- IV. Tecnologias inovadoras para inteligência e análise de resíduos e;
- V. Documentação aprimorada para gerenciamento de resíduos.

**Figura 3-6: Estratégias baseadas em BIM para a gestão de RCC**



Fonte: adaptado de Gupta, Jha e Vyas (2020).

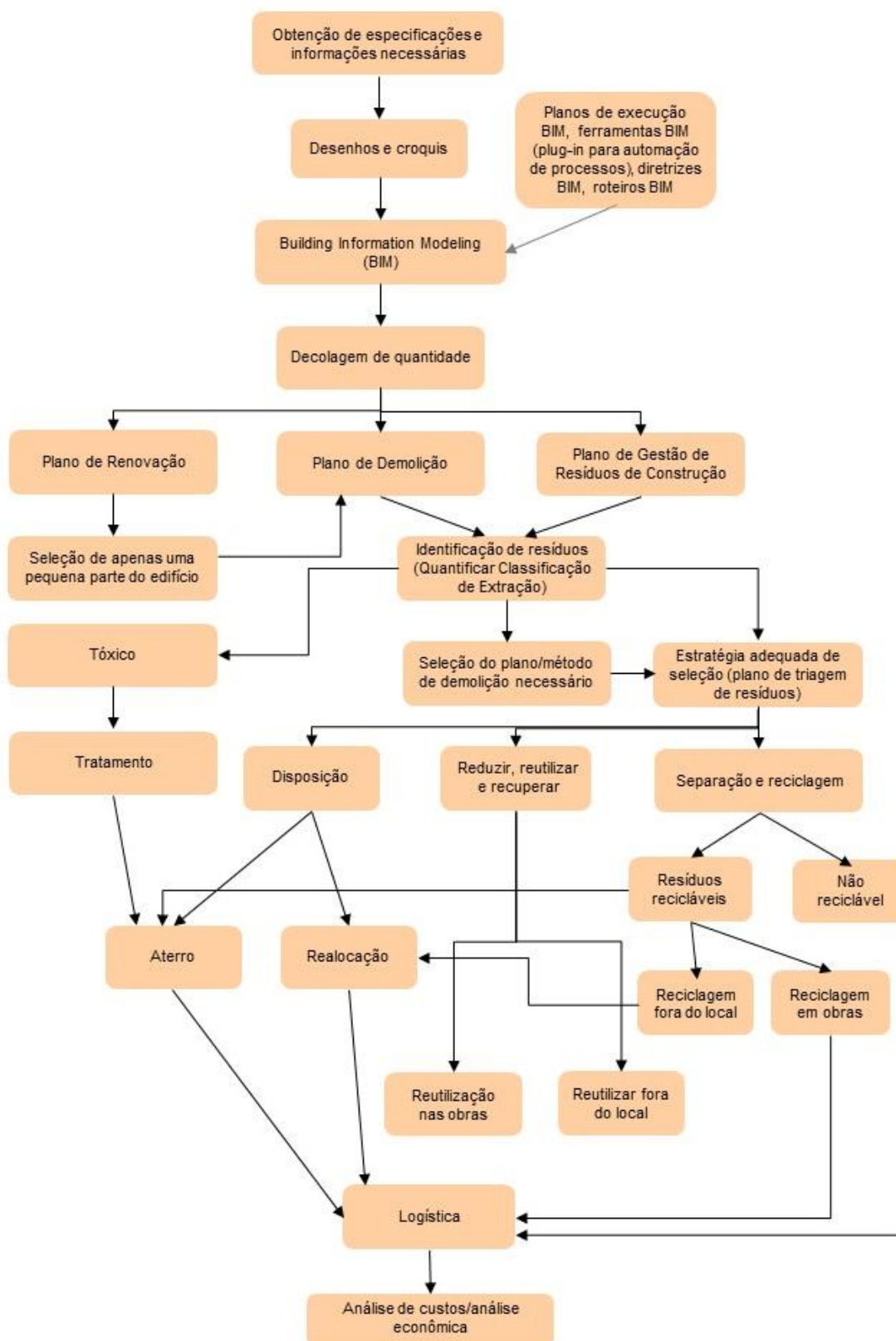
O estudo também revela a inexistência de ferramentas de gerenciamento de RCC compatível com BIM, apesar de haver uma série de vantagens de utilização do BIM para melhorar o desempenho dos processos de construção. Segundo Akinade *et al.* (2018), as ferramentas de gerenciamento de resíduos existentes não são compatíveis com BIM e possuem algumas restrições que impedem a eficácia e a capacidade de construção, são elas:

- a) as ferramentas existentes são completamente separadas do processo de projeto;
- b) ferramentas existentes de gerenciamento de RCC não possuem recursos de interoperabilidade;
- c) dados de resíduos da construção e demolição não são suficientes;
- d) as responsabilidades de gerenciamento de resíduos não são claras e;
- e) a avaliação do ciclo de vida do desempenho de resíduos não está disponível.

Sendo assim, é senso comum entre os pesquisadores que a modelagem BIM pode proporcionar uma redução na geração de resíduos por meio da identificação de erros de projeto, evitando retrabalho e modificações inesperadas durante a construção, além de proporcionar uma medição de materiais mais precisa, evitando desperdício. Porém, ainda é ausente ferramentas que auxiliam na gestão adequada de RCC em softwares que possuem essa tecnologia, proporcionando a quantificação e caracterização dos resíduos ainda na fase de projeto.

Com base nisto e nos resultados obtidos em vários estudos, um referencial teórico de gerenciamento de RCC baseado em BIM foi proposto por Gupta, Jha e Vyas (2020), conforme ilustrado na Figura 3-7, os autores definem o plano de gerenciamento de resíduos, demolição e reforma. A estrutura teórica baseada em BIM para enfrentar o gerenciamento de RCC ajudaria na redução da quantidade de materiais necessários na construção. A visualização da estrutura final melhorará a compreensão das empreiteiras e de outras partes interessadas sobre o que está sendo construído. Como a visualização ocorreria antes do início da obra propriamente dita no canteiro de obras, qualquer tipo de retrabalho poderia ser indubitavelmente evitado e posteriormente reduzido.

Figura 3-7: Estrutura teórica proposta para gestão de RCC baseada em BIM



Fonte: adaptado de Gupta, Jha e Vyas (2020).

Gupta, Jha e Vyas (2020) acreditam que com base em informações de construção e dados aliados, prever e visualizar os modelos de projeto podem ajudar a entender as várias questões relacionadas aos RCC, como o motivo por serem gerados em quantidades tão grandes em diferentes etapas do projeto, a razão de não existir um método para reduzir a quantidade desses resíduos, e muitas outras questões. Além de, permitir uma análise mais aprofundada do que apenas uma simples avaliação da taxa de geração de resíduos.

A competência da modelagem BIM permitiria então a realização de várias etapas e tarefas. Portanto, por meio da estrutura teórica (Figura 3-7), à medida que o projeto é realizado, outras questões são levadas em consideração, como: os requisitos do cliente, do contratado, do gerenciamento da instalação (quando estaria em uso), do fim de vida, e da desconstrução ou demolição, além da quantidade de decolagem, custo, cronograma de construção e validação do projeto. Depois disso, se for necessária alguma melhoria no projeto, ela será realizada para finalizar o projeto e a modelagem digital, incluindo a utilização no canteiro e outras atualizações relacionadas à reforma. Esta etapa forneceria conectividade dos processos de gerenciamento de resíduos com o BIM, pois à proporção que o modelo se encontra pronto, utiliza-se o recurso de levantamento de quantidade para quantificar cada material levado em consideração no plano de gerenciamento de resíduos do local (GUPTA; JHA; VYAS, 2020).

O levantamento quantitativo baseado em BIM é um meio mais fácil, rápido, barato e preciso de extrair os dados quando comparado aos métodos tradicionais de levantamento quantitativo. O volume de resíduos dos elementos estruturais da edificação será recuperado a partir do modelo 3D BIM permitindo aos interessados visualizar as quantidades do modelo BIM, podendo também ser exportado para uma planilha Excel. Os vários materiais residuais são identificados e divididos entre cada plano relacionado aos resíduos da construção, demolição e renovação, conforme mostrado na Figura 3-7. Os resíduos produzidos durante o ciclo de vida do edifício estão incluídos: construção (durante a construção, detecção de conflitos, ordem de mudança, projeto de melhoria e renovação), bem como desconstrução e demolição. Esses dados ajudariam a melhorar os planos de resíduos, significando o nível de foco nos detalhes. Os resíduos de renovação nada mais são do que os resíduos gerados

pela seleção de uma pequena parte do edifício em vez da demolição completa e, portanto, é um dos componentes do próprio plano de resíduos da demolição/desconstrução. Os resíduos são então identificados e a seleção da estratégia adequada ocorre, como triagem e reciclagem, redução, reutilização ou recuperação, descarte, entre outros (GUPTA; JHA; VYAS, 2020).

Assim, está sendo reconhecido que a modelagem BIM irá aprimorar as capacidades de um projeto desde o início até o fim. De fato, os dados gerados durante a fase de projeto significarão valor real para pesquisadores que queiram pesquisar a área de gestão de RCC. Assim, o referencial teórico proposto explora a viabilidade e utilidade da modelagem BIM no campo de gerenciamento de resíduos da construção civil.

## 4. METODOLOGIA

Neste capítulo, além da tipologia da pesquisa, foram abordados os procedimentos e instrumentos metodológicos utilizados durante o processo de desenvolvimento da pesquisa.

### 4.1 TIPOLOGIA DE PESQUISA

Sendo condição essencial para o amadurecimento da personalidade científica, a metodologia delimita a criatividade e sua potencialidade no espaço de trabalho. Por oferecer vários caminhos, cabe ao pesquisador utilizar a alternativa mais adequada ao seu trabalho (FONSECA, 2012).

Partindo deste princípio e considerando o objeto de pesquisa, recursos, equipe de trabalho e elementos que surgiram no decorrer da investigação, esta pesquisa foi definida como explicativa com procedimentos experimentais, pois identifica e caracteriza os materiais utilizados no projeto a partir da modelagem BIM e estima a quantidade de resíduos gerados durante o processo construtivo, além de elaborar um plano de gerenciamento de resíduos com base nos dados obtidos.

A pesquisa explicativa é a que mais se aprofunda da realidade, tem como preocupação central identificar os fatores que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2007). Já a pesquisa experimental procura responder “por que” o fenômeno ocorre, por meio de um experimento que pode ocorrer no seu ambiente natural ou laboratório (FONSECA, 2012).

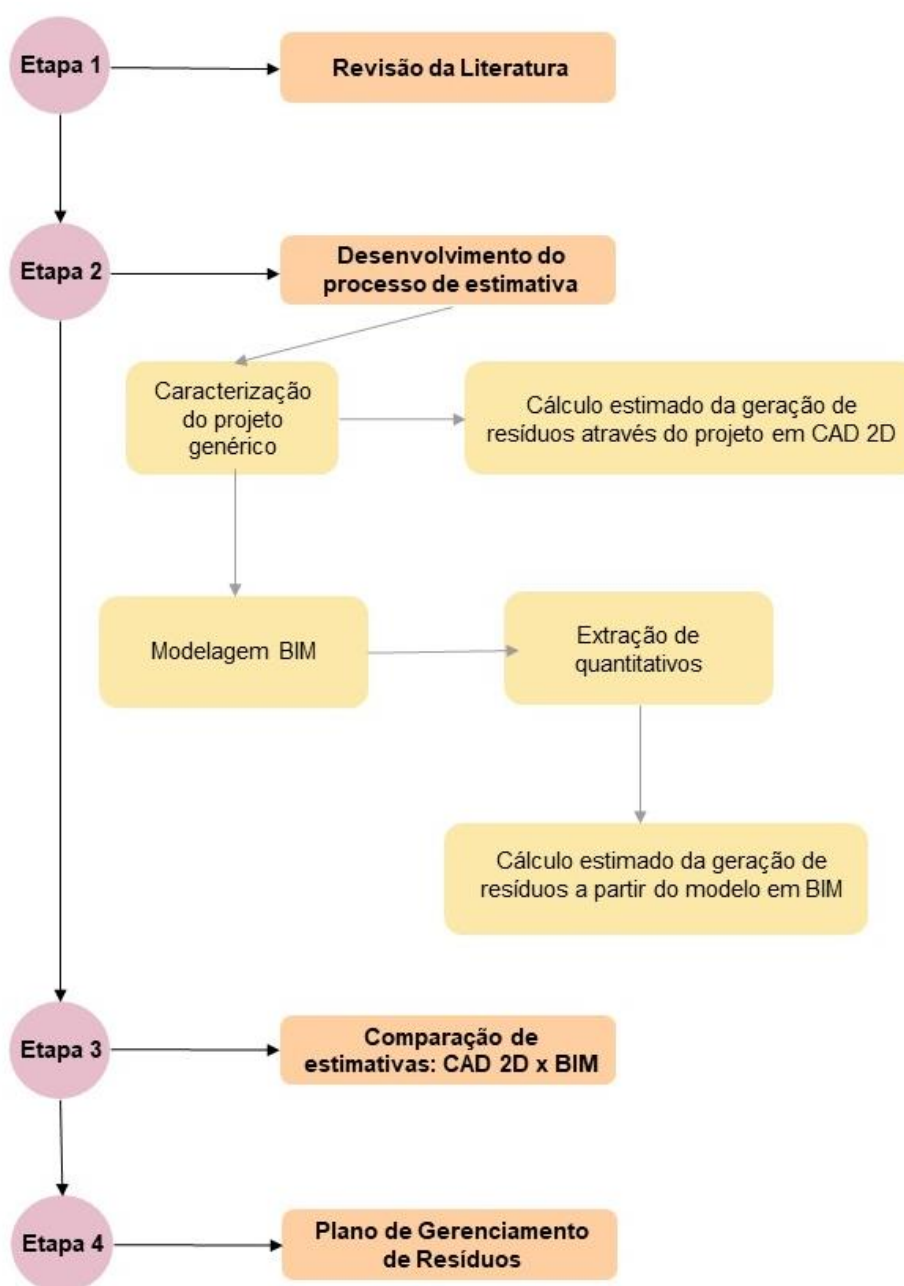
O método de coleta utilizado na pesquisa é o quantitativo, porém, por se tratar de procedimentos interpretativos, neste trabalho não foi descartada a utilização de coletas qualitativas para as informações apresentadas no plano de gerenciamento de resíduos.

### 4.2 PROCEDIMENTOS E INSTRUMENTOS DE PESQUISA

Para atingir os objetivos da pesquisa — que são avaliar a utilização da modelagem BIM na geração de resíduos durante a gestão de projetos e desenvolver

um plano de gerenciamento de resíduos a partir dos dados e informações extraídas de softwares com modelagem BIM — foram definidas quatro etapas para o desenvolvimento da pesquisa. Estas etapas são: revisão de literatura, desenvolvimento do processo de estimativa, comparação de estimativas entre CAD 2D e BIM, e desenvolvimento do plano de gerenciamento de resíduos, conforme ilustrado na Figura 4-1.

Figura 4-1: Etapas para o desenvolvimento da pesquisa



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Todas as análises realizadas neste estudo foram estritamente referentes apenas a fase de Arquitetura, devido os projetos complementares, até a finalização do conteúdo desta pesquisa, permaneceram em fase de desenvolvimento e correção por escritórios parceiros ao Atelier, inviabilizando a compatibilização com o projeto arquitetônico. Portanto, as análises realizadas são estritamente referentes ao projeto modelo de Arquitetura.

#### 4.2.1 REVISÃO DA LITERATURA

Nesta etapa foi desenvolvida uma pesquisa bibliográfica sobre resíduos sólidos, apresentando a definição e classificação conforme legislação brasileira, identificou-se os resíduos da construção, o atual estado do processo de gestão no país e as normas brasileiras que a regularizam.

A pesquisa bibliográfica também abrangeu a modelagem BIM e seus usos e benefícios na indústria da construção civil. Por meio de artigos acadêmicos internacionais, o uso da ferramenta foi associado a gestão de resíduos, apresentando alguns resultados da aplicação da modelagem na gestão de resíduos da construção e demolição.

#### 4.2.2 DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE ESTIMATIVA

A pesquisa tem como objetivo avaliar o uso da modelagem BIM na geração de RCC, assim esta etapa da metodologia propõe estimar a quantidade de resíduos geradas a partir da modelagem BIM. Para o desenvolvimento do processo de estimativa, na primeira etapa foi necessário obter um projeto arquitetônico genérico que tivesse sido desenvolvido de forma tradicional, em CAD 2D.

A partir dos dados disponíveis, foi possível estimar a geração de resíduos fundamentado na metodologia proposta por Marques Neto (2003) - estimar o volume de RCC com base na área construída - a fim de, posteriormente, utilizar esses dados para comparar com os resultados obtidos a partir da modelagem BIM.

A segunda etapa consistiu na modelagem 3D do projeto genérico, para isso foi utilizado o *software Autodesk Revit 2021*, por meio da modelagem BIM o *Revit* permite



projetar edifícios, estruturas e instalações prediais (engenharia MEP), além do acesso aos elementos e informações de construção a partir do banco de dados do modelo. O *software* abrange todas as funções necessárias para a elaboração da modelagem, além de possuir versão estudantil e ser popularmente conhecido, justificando sua escolha.

O objetivo desta etapa de modelagem foi visualizar os benefícios e limitações da utilização da ferramenta expostos na revisão bibliográfica, além de identificar as diferenças na elaboração dos projetos e as variáveis no processo de modelagem do produto, auxiliando no desenvolvimento das próximas etapas.

A terceira etapa, após o término da modelagem em BIM, foram extraídos do modelo o levantamento do quantitativo dos elementos utilizados para a elaboração do projeto por meio de tabelas geradas automaticamente pelo próprio *software* utilizado no estudo. Com a extração destes dados, a próxima etapa foi exportar as informações obtidas para o *software Microsoft Excel*, com o objetivo de editar as planilhas de maneira mais visual e favorável ao estudo.

Como a modelagem BIM não apresenta a capacidade de fornecer a quantidade de insumos para cada elemento extraído no levantamento quantitativo, foi necessário utilizar a “Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO” (TCPO, 2017) para a aplicação dos coeficientes de consumo e, assim, obter a quantidade de material para cada serviço. A TCPO apresenta, em alguns casos, variações de produtividade, dependendo da tipologia da obra, projeto arquitetônico e do treinamento dos profissionais envolvidos na execução. Desta maneira, foram utilizados dois coeficientes de consumo no estudo, o coeficiente “médio” apresenta a produtividade variável mediana, já o “máximo” expõe o pior cenário da produtividade variável, sendo o maior consumo.

A quarta etapa, após o levantamento do quantitativo de materiais, consistiu na utilização da porcentagem de perdas proposto por Yazigi (2009), o autor estima o percentual por material utilizado durante a construção. Para a aplicação desta taxa converteu-se todos os quantitativos em quilograma (kg) e metro cúbico (m<sup>3</sup>), padronizando o levantamento, aplicando o modelo proposto e resultando no nível de desperdício de cada material para as etapas analisadas nesta pesquisa. A estimativa

proposta ocorre dentro do canteiro de obras, não se incluindo, portanto, outras perdas que podem estar acontecendo em outras etapas do empreendimento.

Após a quantificação de perdas foi possível estimar a geração de RCC nas fases em análise a partir da porcentagem e entulho proposto por Andrade *et al* (2001). Os autores apresentaram a parcela do valor do indicador global de perdas que diz respeito ao entulho gerado, portanto, a partir da porcentagem de entulho por unidade de serviço estimou-se a quantidade de RCC para cada tipo de consumo.

Desta maneira, as estimativas em BIM foram apresentadas em duas unidades de medida, quilograma (kg) e metro cúbico (m<sup>3</sup>), e dois consumos, médio e máximo.

#### 4.2.3 COMPARAÇÃO DE ESTIMATIVAS: CAD 2D X BIM

A terceira etapa para o desenvolvimento da pesquisa consistiu na comparação das estimativas de geração de RCC a partir dos resultados obtidos por meio do modelo CAD 2D e da modelagem BIM. Com a finalidade de visualizar os benefícios que o modelo 3D pode proporcionar para o cálculo da estimativa de resíduos, e conseqüentemente, auxiliar na gestão de RCC.

O comparativo foi realizado em duas partes, a primeira se comparou os resultados obtidos em CAD 2D com as estimativas de geração para consumo “médio”. Posteriormente, comparou-se os resultados em CAD 2D com o consumo “máximo”.

#### 4.2.4 DESENVOLVIMENTO DO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

A última etapa da metodologia consistiu no desenvolvimento do plano de gerenciamento de resíduos do projeto analisado durante toda a pesquisa, a partir dos dados obtidos e quantificados por meio do *software* com modelagem BIM. Com o objetivo de auxiliar na gestão de resíduos da construção e demolição, a elaboração do plano comprova a utilização das informações obtidas com base na modelagem.

Além de contemplar todas as legislações brasileiras vigentes, o plano de gerenciamento caracteriza os resíduos da construção, abordando os tipos de resíduos gerados, as quantidades e a fase em que foi gerada, auxiliando na previsão do nível

de desperdício, nas formas de acondicionamento e os lugares adequados para destinação final.

O produto desenvolvido estima ao usuário o consumo de materiais e as perdas que aquele projeto trará, além da quantidade de caçambas estacionárias que serão necessárias, a partir do volume de RCC calculado com os dados obtidos na modelagem BIM.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

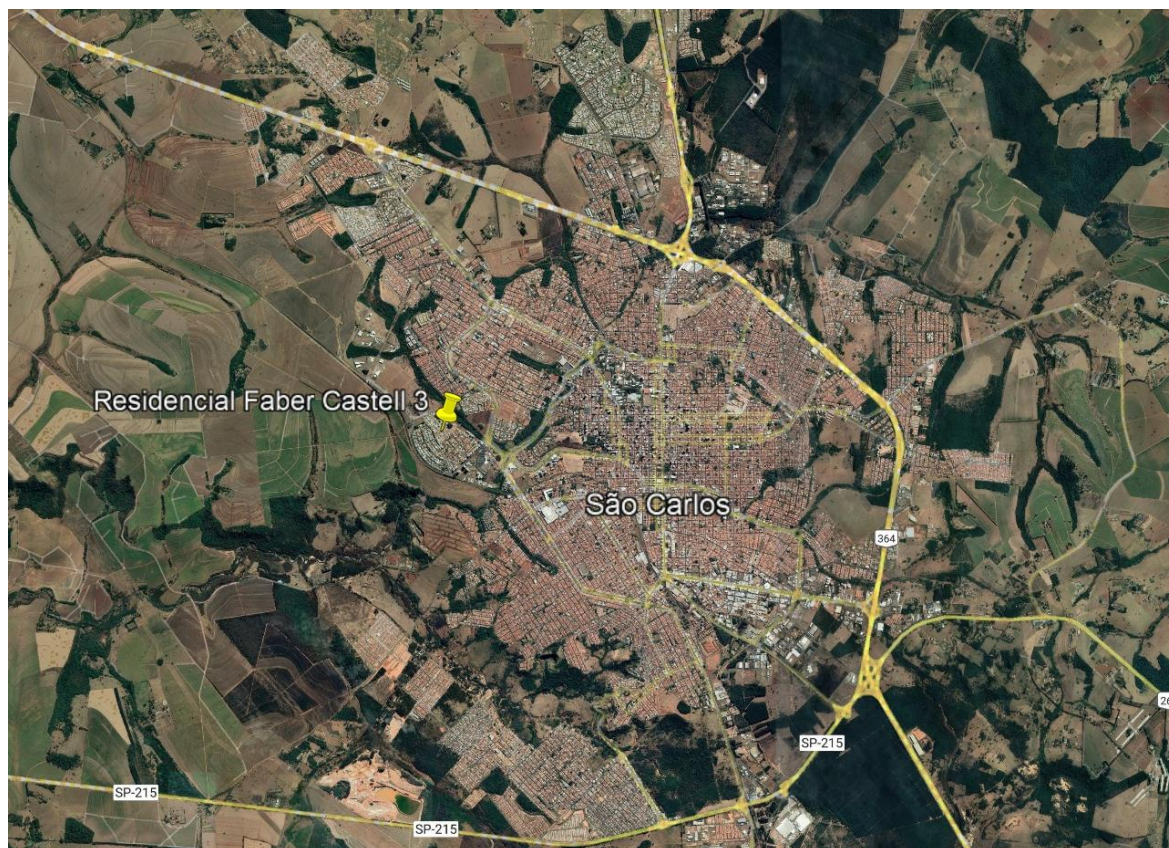
Este capítulo aborda os resultados alcançados durante o desenvolvimento da pesquisa, apresentando os dados obtidos em cada etapa prevista na metodologia.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROJETO OBJETO DA PESQUISA

Devido a visão proporcionada pela pandemia e o efeito de procura por obras horizontais, a escolha do projeto genérico foi limitada pelo segmento residencial unifamiliar, em especial, condomínios horizontais. Segundo o *website* “Folha de São Paulo”, a busca por casas em condomínios horizontais, na cidade de São Paulo, tem aumentado em meio à procura por mais espaço e áreas abertas gerada pela pandemia (NEIVA, 2020). No mesmo contexto, o *website* “Correio Braziliense” afirma que a pandemia pelo coronavírus acarretou uma demanda específica por imóveis no Distrito Federal, principalmente de casas e lotes em condomínios legalizados. Pois, durante a pandemia, boa parte da população, em trabalho remoto, passou a desejar acomodações mais confortáveis para manter a segurança da família no isolamento e instalação de escritórios (BATISTA, 2020).

Por este motivo, o projeto definido foi uma residência unifamiliar de dois pavimentos situada em um condomínio horizontal, Residencial Faber Castell 3 (Figura 5-1), na cidade de São Carlos, município brasileiro localizado no interior do estado de São Paulo, na região Centro-Leste, e uma distância de 231 quilômetros da capital paulista.

**Figura 5-1: Localização do condomínio na cidade de São Carlos - SP**

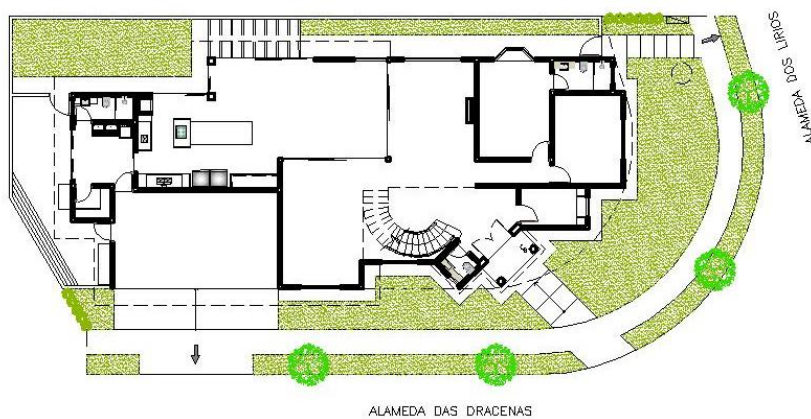


Fonte: elaborado pela autora via *Google Earth*.

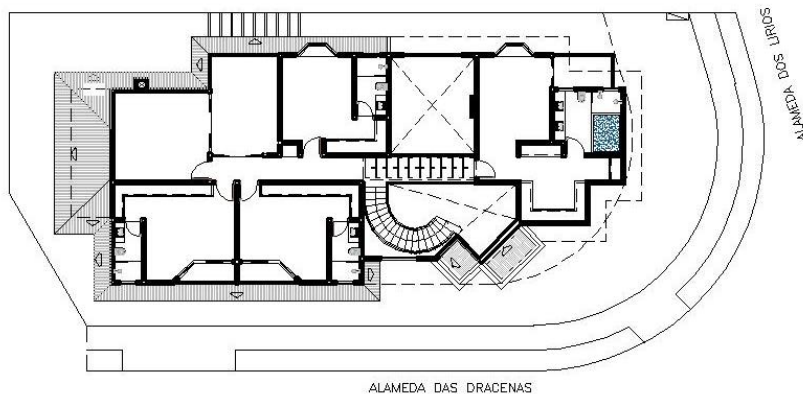
O Projeto Executivo de Arquitetura foi desenvolvido pelo método tradicional, sem modelagem BIM, por meio do *software Autodesk AutoCAD*, pelo Atelier de Arquitetura “Zanetti e Madi”, localizado na cidade de São José do Rio Preto – SP. A residência unifamiliar possui dois pavimentos, totalizando 448,16m<sup>2</sup> de área construída. O Pavimento Térreo possui 255,27m<sup>2</sup>, sendo um quarto apartamento para hóspede, sala de música, escritório, sala de estar, varanda gourmet, sala de jantar, garagem, despensa, área de serviço, banheiro e lavabo. O pavimento superior possui 192,89m<sup>2</sup>, sendo quatro quartos apartamentos com sacada, um *home* e terraço descoberto.

A seguir, a Figura 5-2 apresenta, sem escala, as plantas baixas do projeto objeto, e a Figura 5-3 a vista frontal e laterais.

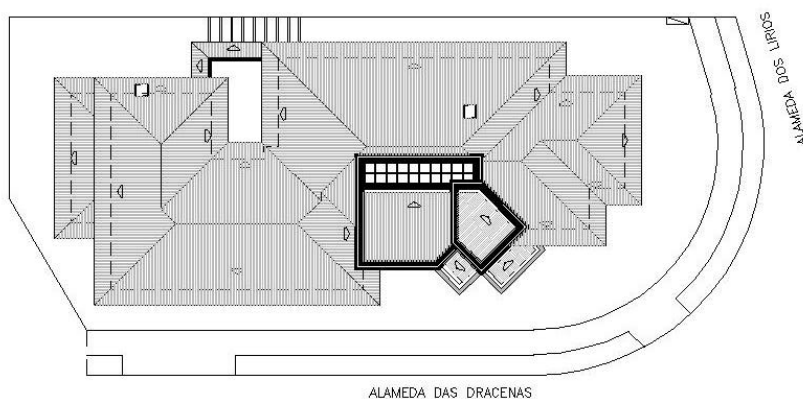
Figura 5-2: Planta baixa do projeto objeto de pesquisa



PLANTA PAV. TÉRREO  
S/ ESCALA



PLANTA PAV. SUPERIOR  
S/ ESCALA



PLANTA DE COBERTURA  
S/ ESCALA

Fonte: Zanetti e Madi Atelier de Arquitetura



**Figura 5-3: Vista frontal e lateral do projeto objeto**



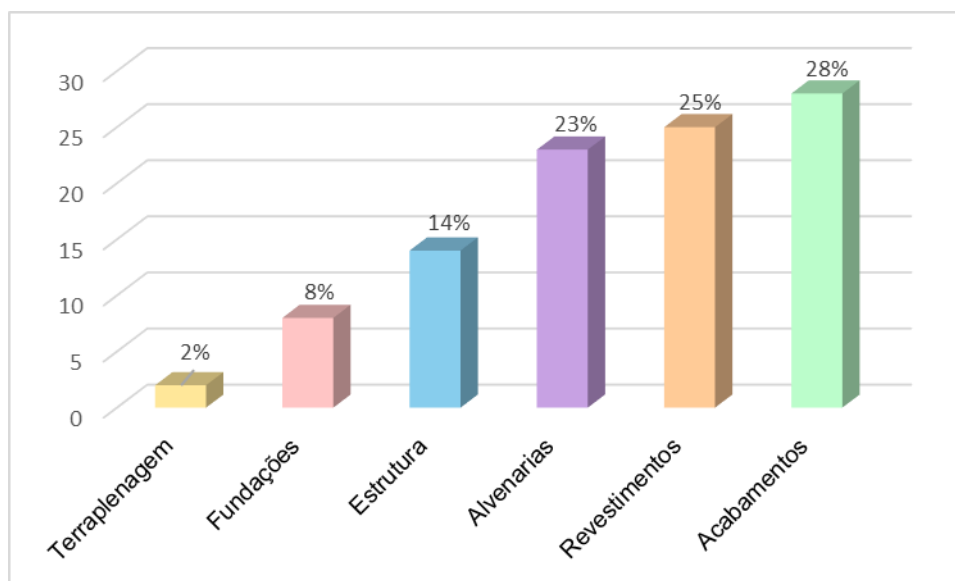
Fonte: Zanetti e Madi Atelier de Arquitetura

## **5.2 CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RCC A PARTIR DE METODOLOGIA EXISTENTE**

Para a estimativa de RCC gerados na obra analisada, inicialmente, foi calculado a partir de metodologia existente. Marques Neto (2003) calculou a geração de RCC no município de São Carlos/SP pelo parâmetro de áreas licenciadas pela

Prefeitura, sendo assim, a partir dos dados obtidos em 5 (cinco) construções analisadas, a taxa de geração de RCC calculada foi 137,02 kg/m<sup>2</sup>. Seguindo o objetivo, Marques Neto (2003) também calculou a variação percentual de geração de RCC nas diversas etapas das construções, como demonstra a Figura 5-4.

**Figura 5-4: Variação percentual do volume de RCD nas diversas etapas das construções**



Fonte: adaptado de Marques Neto (2003).

Com base nesta metodologia e a partir da área construída obtida em CAD, calculou-se a estimativa de RCC:

$$Estimativa_{RCC} = \text{Área de construção} * \text{Taxa de geração}$$

$$Estimativa_{RCC} = 448,16 \text{ m}^2 * 137,02 \text{ kg/m}^2$$

$$Estimativa_{RCC} \cong 61.406,88 \text{ kg}$$

Por conseguinte, calculou-se a estimativa de RCC por etapa de construção (Tabela 5-1), fundamentado na variação percentual proposta por Marques Neto (2003), exemplificado na Figura 5-4.



Tabela 5-1: Estimativa de RCC por etapa de construção

<b>Etapas</b>	<b>Taxa de Geração</b>	<b>Estimativa RCC (kg)</b>	<b>Estimativa por etapa (kg)</b>
<b>Terraplenagem</b>	2%		1.228,14
<b>Fundações</b>	8%		4.912,55
<b>Estrutura</b>	14%		8.596,96
<b>Alvenarias</b>	23%	61.406,88	14.123,58
<b>Revestimentos</b>	25%		15.351,72
<b>Acabamentos</b>	28%		17.193,93

Fonte: elaborado pela autora.

Desse modo, a Tabela 5-1 apresenta a estimativa, em quilograma, da geração de RCC para cada etapa da construção, a partir dos dados obtidos por meio do projeto genérico.

### 5.3 MODELAGEM BIM

Com base no projeto modelo desenvolvido em CAD foi elaborado o projeto arquitetônico em estudo com modelagem BIM a partir do *software Autodesk Revit 2021*. As Figura 5-5, Figura 5-6, Figura 5-7, Figura 5-8 e Figura 5-9 ilustram o resultado da modelagem. O modelo 3D permite uma visualização mais realista do projeto, com representações digitais detalhadas podendo ser gerenciadas por vários profissionais em tempo real, além de proporcionar a compatibilização de projetos, oferecendo maior visibilidade aos possíveis erros futuros.

**Figura 5-5: Vista 3D do projeto em análise**



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 5-6: Vista face Norte**



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 5-7: Vista face Sul**



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 5-8: Vista face Leste**



Fonte: elaborado pela autora.

**Figura 5-9: Vista face Oeste**



Fonte: elaborado pela autora.

Os projetos complementares, até a finalização do conteúdo desta pesquisa, permanecem em fase de desenvolvimento e correção por escritórios parceiros ao Atelier, inviabilizando a compatibilização com o projeto arquitetônico. Portanto, as análises realizadas são estritamente referentes ao projeto modelo de Arquitetura.

## 5.4 CÁLCULO DA GERAÇÃO DE RCC A PARTIR DA MODELAGEM BIM

Após o desenvolvimento do projeto em BIM, prosseguindo com a estimativa de de RCC gerados na obra analisada, em seguida, foi calculado a partir da modelagem BIM.

### 5.4.1 QUANTIFICAÇÃO DE MATERIAIS

Com o modelo 3D finalizado e a caracterização paramétrica de seus objetos, foi possível extrair por meio do *software Autodesk Revit* o levantamento quantitativo de materiais. O *software* permite a extração de quantitativos de maneira automatizada e atualizada conforme a modelagem com base nos componentes criados para representar o objeto.

Para a extração dos quantitativos no *software* foram realizados os seguintes passos:

- a) No navegador de projeto, escolheu-se a opção “Tabelas/Quantidades”, e clicando com o botão direito, selecionou-se a opção “Nova tabela/Quantidades”, na lista foi escolhida duas opções para análise: “Ambientes”, “Paredes” e “Pisos”;
- b) Em seguida, na aba “Campos” foi escolhido quais os parâmetros foram utilizados. Em “Ambientes” optou-se por: nome, nível, área e volume. Para “Paredes”, os escolhidos foram: largura, volume e área. E por último, em “Pisos”, foram: nível, perímetro e área.
- c) Na aba “Formatação” foi selecionado a opção “Calcular os totais” nos parâmetros área e volume.
- d) Após todas as seleções, foi gerado uma tabela, para cada análise (“Ambientes”, “Paredes” e “Pisos”), com as informações escolhidas. As tabelas foram exportadas do *software* seguindo os passos: Arquivo, Exportar, Relatórios, Tabela.
- e) O arquivo exportado é formato arquivo de texto .txt, assim, foi necessário importá-lo ao *software* Excel para obter os dados. Na aba “Dados”,

seleciona a opção “Obter Dados Externos”, e em seguida, “De Texto”, assim os dados provenientes das tabelas são importados.

No *software Excel* as tabelas importadas foram editadas e adaptadas para melhor visualização e disposição dos itens, conforme exemplifica a Tabela 5-2, Tabela 5-3 e Tabela 5-4.

**Tabela 5-2: Relação de ambientes do projeto em estudo**

<b>AMBIENTES</b>			
<b>Nível</b>	<b>Nome</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Perímetro (m)</b>
<b>PAV.01</b>	Ambiente	10,00	15,43
	Home	20,00	17,77
	BWC 03	4,00	8,77
	Ambiente	60,00	50,26
	BWC casal	10,00	12,75
	Apto 03	19,00	21,49
	Suíte casal	19,00	19,77
	BWC 02	4,00	8,59
	BWC 01	4,00	8,64
	Apto 01	21,00	20,68
	Sacada	4,00	8,64
	Terraço descoberto	15,00	16,00
	Apto 02	21,00	21,01
	Closet casal	13,00	17,31
<b>TÉRREO</b>	Desp.	3,00	6,52
	Área de serviço	9,00	12,08
	WC	3,00	8,21
	Lav.	2,00	5,59
	Escritório	6,00	10,09
	Sala de música	14,00	15,35

Bwc hospede	4,00	8,60
Varanda gourmet	63,00	37,74
Apto hospede	17,00	16,87
Área externa	69,00	64,51
Varal	26,00	26,03
Garagem	38,00	25,44
Sala de estar	21,00	18,20
Hall externo	5,00	9,27
Sala de jantar	24,00	20,02
Hall interno	36,00	32,59

Fonte: elaborado pela autora.

**Tabela 5-3: Relação geral da alvenaria do projeto em estudo**

<b>PAREDES</b>			
	<b>Largura (m)</b>	<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>Total geral</b>	0,15 -0,25	158,23 m <sup>3</sup>	1.140,00 m <sup>2</sup>

Fonte: elaborado pela autora.

**Tabela 5-4: Relação dos pisos do projeto em estudo**

<b>PISO</b>		
<b>Nível</b>	<b>Perímetro (m)</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
<b>TÉRREO</b>	152,52	82,00
	77,13	91,00
	19,99	16,00
	5,69	2,00
	5,69	2,00
	3,50	1,00

	3,50	1,00
	3,50	1,00
	3,50	1,00
	3,50	1,00
	5,59	2,00
	25,44	38,00
	56,45	128,00
	87,12	47,00
PAV. 1	161,47	158,00
	38,71	22,00
	37,20	4,00

Fonte: elaborado pela autora.

O *Revit* não apresenta a capacidade de fornecer a quantificação de insumos para cada serviço; portanto, para se obter essa quantificação foi necessário utilizar a “Tabela de Composição de Preços para Orçamentos - TCPO” (TCPO, 2017) e por meio do consumo de cada insumo obter a quantidade de cada material. Para isso, dividiu-se o quantitativo da Arquitetura para cálculo da seguinte maneira (Tabela 5-5):

**Tabela 5-5: Divisão para cálculo de materiais**

	<b>PISOS</b>	Revestimento
		Alvenaria
<b>ARQUITETURA</b>	<b>PAREDES</b>	Revestimento
		Acabamento
	<b>TETOS</b>	Acabamento

Fonte: elaborado pela autora.

Os coeficientes de consumo das composições apresentadas no TCPO, em alguns casos, podem apresentar variações, dependendo da tipologia da obra, projeto arquitetônico e do treinamento dos profissionais envolvidos na execução. Deste modo, os quantitativos de materiais foram calculados com dois coeficientes: médio e máximo. O coeficiente “médio” apresenta a produtividade variável mediana, já o coeficiente “máximo” expõe o pior cenário da produtividade variável, sendo o maior consumo.

Desta maneira, com a divisão e o auxílio da Tabela de Composições, calculou-se os insumos de cada serviço para a realização das etapas de construção, revestimento e acabamento nas fases referentes aos “Pisos” (Tabela 5-6), “Paredes” (Tabela 5-7) e “Tetos” (Tabela 5-8).

**Tabela 5-6: Quantitativo de materiais da fase “Pisos”**

<b>PISOS</b>					
Descrição	Unidade	Coeficiente		Quantidade	
		Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Regularização de base para pisos</b>					
<b>REGULARIZAÇÃO SARRAFEADA de base para revestimento de piso com argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:3, e = 3 cm</b>	m <sup>2</sup>	1,000	1,000	597,000	597,000
Argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:3	m <sup>3</sup>	0,030	0,077	17,910	45,969
<b>Pisos cerâmicos</b>					
<b>PORCELANATO polido 40 x 40 cm, assentado com argamassa pré-fabricada de cimento colante</b>	m <sup>2</sup>	1,000	1,000	597,000	597,000
Porcelanato polido	m <sup>2</sup>	1,190	1,270	710,430	758,190
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para assentamento de peças cerâmicas tipo porcelanato	kg	9,000	9,000	5.373,000	5.373,000

Fonte: elaborado pela autora.



Tabela 5-7: Quantitativo de materiais da fase “Paredes”

<b>ALVENARIA</b>					
Descrição	Unidade	Coeficiente		Quantidade	
		Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
<b>ALVENARIA</b>					
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>					
<b>Alvenaria de vedação com blocos cerâmicos furados 9 x 19 x 19 cm (furos horizontais), juntas de 10 mm</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1.140,000</b>	<b>1.140,000</b>
Bloco cerâmico furado de vedação 9 x 19 x 19 cm	Unidade	49,875	60,000	56.857,500	68.400,000
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:8	m <sup>3</sup>	0,020	0,044	23,222	49,590
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Argamassas e Adesivos</b>					
<b>Chapisco para parede interna ou externa com argamassa de cimento e areia traço 1:3</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>2.280,000</b>	<b>2.280,000</b>
Argamassa de cimento e areia sem peneirar traço 1:3	m <sup>3</sup>	0,005	0,005	11,400	11,400
<b>Emboço para parede interna esp.: 3 cm com argamassa de cal hidratada e areia traço 1 :3</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1.774,000</b>	<b>1.774,000</b>
Argamassa da cal hidratada e areia traço 1:3	m <sup>3</sup>	0,030	0,059	53,220	105,198
<b>Emboço para parede externa esp.: 3 cm com argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:6</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>506,000</b>	<b>506,000</b>
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:6	m <sup>3</sup>	0,025	0,066	12,650	33,396
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>					
<b>Emassamento de parede externa com massa acrílica com duas demãos, para pintura látex</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>506,000</b>	<b>506,000</b>
Massa corrida acrílica	kg	0,700	0,700	354,200	354,200
Lixa para superfície madeira/massa grana 100	unidade	0,500	0,500	253,000	253,000
<b>ACABAMENTO</b>					
<b>Pintura</b>					
<b>Pintura com tinta epóxi em parede interna com duas demãos, incluindo emassamento e lixamento</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>1.774,000</b>	<b>1.774,000</b>
Lixa para superfície madeira/massa grana 100	unidade	1,500	1,500	2.661,000	2.661,000
Massa a base de epóxi	kg	0,800	0,800	1.419,200	1.419,200

Fundo a base de epóxi	l	0,300	0,300	532,200	532,200
Tinta epóxi	l	0,500	0,500	887,000	887,000
<b>Pintura com tinta látex acrílica em parede externa, sem massa corrida</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>506,000</b>	<b>506,000</b>
Preparador de superfícies	l	0,120	0,120	60,720	60,720
Lixa para superfície madeira/massa grana 100	unidade	0,250	0,250	126,500	126,500
Tinta látex acrílica	l	0,170	0,170	86,020	86,020

Fonte: elaborado pela autora.

**Tabela 5-8: Quantitativo de materiais da fase “Tetos”**

<b>TETOS</b>					
Descrição	Unidade	Coeficiente		Quantidade	
		Méd.	Máx.	Méd.	Máx.
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Forros</b>					
<b>Forro de gesso acartonado fixo, monolítico, suspenso por pendurais de arame galvanizado no painel, e = 12,5 mm</b>	m <sup>2</sup>	<b>1,000</b>	<b>1,000</b>	<b>597,000</b>	<b>597,000</b>
Forro de gesso acartonado	m <sup>2</sup>	1,000	1,000	597,000	597,000

Fonte: elaborado pela autora.

#### 5.4.2 QUANTIFICAÇÃO DE PERDAS

A partir da quantificação de cada material realizado a partir do levantamento quantitativo automatizado do *software Revit*, como já citado anteriormente, foi possível estimar a geração de perdas nas fases em análise.

Para a elaboração desta etapa foi utilizado a porcentagem de perdas proposto por Yazigi (2009), o autor estima a perda para cada material utilizado durante as etapas de uma construção. Partindo deste princípio, para o início do desenvolvimento, foi necessário a conversão das unidades de medida, optou-se por quilograma (kg) e metro cúbico (m<sup>3</sup>) (Tabela 5-9), padronizando os dados de entrada e adotando uma medida de massa e outra de volume, facilitando cálculos e comparações posteriores. Os resultados da conversão de unidade de medida por material para os consumos “médio” e “máximo” estão expostos, respectivamente, na Tabela 5-10 e Tabela 5-11.

Tabela 5-9: Coeficiente de conversão para cada material

<b>Material</b>	<b>Unidade</b>	<b>Massa Específica (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Conversão para m<sup>3</sup></b>	<b>Conversão para kg</b>
Argamassa cal e areia	m <sup>3</sup>	1700,00	1,00000	1700,00000
Argamassa cimento/cal/areia	m <sup>3</sup>	1900,00	1,00000	1900,00000
Argamassa de cimento e areia	m <sup>3</sup>	2100,00	1,00000	2100,00000
Argamassa pré-fabricada	kg	1950,00	0,00051	1,00000
Bloco cerâmico	unidade	1400,00	0,00325	0,45486
Forro de gesso acartonado	m <sup>2</sup>	32,00	0,01250	0,40000
Fundo a base de epóxi	l	1450,00	0,00100	1,45000
Preparador de superfícies	l	1030,00	0,00100	1,03000
Massa a base de epóxi	kg	1900,00	0,00053	1,00000
Massa acrílica	kg	1590,00	0,00063	1,00000
Piso cerâmico	m <sup>2</sup>	2100,00	0,00800	16,80000
Tinta epóxi	l	1110,00	0,00100	1,11000
Tinta látex acrílica	l	1350,00	0,00100	1,35000

Fonte: elaborada pela autora.

Tabela 5-10: Conversão de unidade de medida por material para consumo “médio”

Descrição	Unid.	Quantidade	Coeficiente		Quantidade	
			m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Regularização de base para pisos</b>						
<b>PISOS</b> Argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:3	m <sup>3</sup>	17,91	1,00000	2.100,00000	17,91	37.611,00
<b>Pisos cerâmicos</b>						
Porcelanato polido	m <sup>2</sup>	710,43	0,00800	16,80000	5,68	11.935,22
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para assentamento de peças cerâmicas tipo porcelanato	kg	5.373,00	0,00051	1,00000	2,76	5.373,00
<b>ALVENARIA</b>						
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>						
Bloco cerâmico furado de vedação 9 x 19 x 19 cm	unid.	56.857,50	0,00325	0,45486	184,73	25.862,20
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:8	m <sup>3</sup>	23,22	1,00000	1.900,00000	23,22	44.121,42
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Argamassas</b>						
Argamassa de cimento e areia traço 1:3	m <sup>3</sup>	11,40	1,00000	2.100,00000	11,40	23.940,00
Argamassa da cal hidratada e areia traço 1:3	m <sup>3</sup>	53,22	1,00000	1.700,00000	53,22	90.474,00
<b>PAREDES</b> Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:6	m <sup>3</sup>	12,65	1,00000	1.900,00000	12,65	24.035,00
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>						
Massa corrida acrílica	kg	354,20	0,00063	1,00000	0,22	354,20
<b>ACABAMENTO</b>						
<b>Pintura</b>						
Massa a base de epóxi	kg	1.419,20	0,00053	1,00000	0,75	1.419,20
Fundo a base de epóxi	l	532,20	0,00100	1,45000	0,53	771,69
Tinta epóxi	l	887,00	0,00100	1,11000	0,89	984,57
Preparador de superfícies	l	60,72	0,00100	1,03000	0,06	62,54
Tinta látex acrílica	l	86,02	0,00100	1,35000	0,09	116,13
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>TETO Forros</b>						
Forro de gesso acartonado	m <sup>2</sup>	597,00	0,01250	0,40000	7,46	238,80

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5-11: Conversão de unidade de medida por material para consumo “máximo”

Descrição	Unid.	Quantidade	Coeficiente		Quantidade	
			m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Regularização de base para pisos</b>						
<b>PISOS</b> Argamassa de cimento e areia peneirada traço 1:3	m <sup>3</sup>	45,97	1,00000	2.100,00000	45,97	96.534,90
<b>Pisos cerâmicos</b>						
Porcelanato polido	m <sup>2</sup>	758,19	0,00800	16,80000	6,07	12.737,59
Argamassa pré-fabricada de cimento colante para assentamento de peças cerâmicas tipo porcelanato	kg	5.373,00	0,00051	1,00000	2,76	5.373,00
<b>ALVENARIA</b>						
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>						
Bloco cerâmico furado de vedação 9 x 19 x 19 cm	unid.	68.400,00	0,00325	0,45486	222,23	31.112,42
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:8	m <sup>3</sup>	49,59	1,00000	1.900,00000	49,59	94.221,00
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Argamassas</b>						
Argamassa de cimento e areia traço 1:3	m <sup>3</sup>	11,40	1,00000	2.100,00000	11,40	23.940,00
Argamassa da cal hidratada e areia traço 1:3	m <sup>3</sup>	105,20	1,00000	1.700,00000	105,20	178.836,94
<b>PAREDES</b> Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia traço 1:2:6	m <sup>3</sup>	33,40	1,00000	1.900,00000	33,40	63.452,40
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>						
Massa corrida acrílica	kg	354,20	0,00063	1,00000	0,22	354,20
<b>ACABAMENTO</b>						
<b>Pintura</b>						
Massa a base de epóxi	kg	1.419,20	0,00053	1,00000	0,75	1.419,20
Fundo a base de epóxi	l	532,20	0,00100	1,45000	0,53	771,69
Tinta epóxi	l	887,00	0,00100	1,11000	0,89	984,57
Preparador de superfícies	l	60,72	0,00100	1,03000	0,06	62,54
Tinta látex acrílica	l	86,02	0,00100	1,35000	0,09	116,13
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>TETO</b> Forros						
Forro de gesso acartonado	m <sup>2</sup>	597,00	0,01250	0,40000	7,46	238,80

Fonte: elaborado pela autora.

Após a conversão de unidades e partindo da estimativa de porcentagem de perdas (Tabela 5-12) proposto por Yazigi (2009) estima-se a quantidade de perdas

geradas em cada etapa da construção para os dois consumos em estudo, exemplificado na Tabela 5-13 e Tabela 5-14.

**Tabela 5-12: Mediana de perdas por material**

<b>Material</b>	<b>% Perdas</b>
Concreto Usinado	9,00
Aço	11,00
Blocos e Tijolos	13,00
Placas Cerâmicas	14,00
Placa de gesso acartonado	18,00
Cimento	56,00
Areia	44,00
Tinta Látex e Acrílica	14
Textura	15
Argamassa	56

Fonte: Yazigi (2009).

Tabela 5-13: Quantidade de perdas estimada para consumo “médio”

Descrição	Quantidade		% Perdas	Estimativa de perdas	
	m <sup>3</sup>	kg		m <sup>3</sup>	kg
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Regularização de base para pisos</b>					
<b>PISOS</b> Argamassa de cimento e areia	17,91	37.611,00	56,00	10,03	21.062,16
<b>Pisos cerâmicos</b>					
Porcelanato polido	5,68	11.935,22	14,00	0,80	1.670,93
Argamassa pré-fabricada de cimento colante	2,76	5.373,00	56,00	1,55	3.008,88
<b>ALVENARIA</b>					
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>					
Bloco cerâmico 9 x 19 x 19cm	184,73	25.862,20	13,00	24,01	3.362,09
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	23,22	44.121,42	56,00	13,00	24.708,00
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Argamassas</b>					
Argamassa de cimento e areia	11,40	23.940,00	56,00	6,38	13.406,40
Argamassa da cal hidratada e areia	53,22	90.474,00	56,00	29,80	50.665,44
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	12,65	24.035,00	56,00	7,08	13.459,60
<b>PAREDES</b>					
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>					
Massa corrida acrílica	0,22	354,20	15,00	0,03	53,13
<b>ACABAMENTO</b>					
<b>Pintura</b>					
Massa a base de epóxi	0,75	1.419,20	15,00	0,11	212,88
Fundo a base de epóxi	0,53	771,69	15,00	0,08	115,75
Tinta epóxi	0,89	984,57	14,00	0,12	137,84
Preparador de superfícies	0,06	62,54	14,00	0,01	8,76
Tinta látex acrílica	0,09	116,13	14,00	0,01	16,26
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>TETO Forros</b>					
Forro de gesso acartonado	7,46	238,80	18,00	1,34	42,98

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5-14: Quantidade de perdas estimada para consumo “máximo”

Descrição	Quantidade		% Perdas	Estimativa de perdas		
	m <sup>3</sup>	kg		m <sup>3</sup>	kg	
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Regularização de base para pisos</b>						
	Argamassa de cimento e areia	45,97	96.534,90	56,00000	25,74	54.059,54
<b>PISOS</b>	<b>Pisos cerâmicos</b>					
	Porcelanato polido	6,07	12.737,59	14,00000	0,85	1.783,26
	Argamassa pré-fabricada de cimento colante	2,76	5.373,00	56,00000	1,55	3.008,88
<b>ALVENARIA</b>						
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>						
	Bloco cerâmico 9 x 19 x 19cm	222,23	31.112,42	13,00000	28,89	4.044,61
	Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	49,59	94.221,00	56,00000	27,77	52.763,76
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>Argamassas</b>						
	Argamassa de cimento e areia	11,40	23.940,00	56,00	6,38	13.406,40
	Argamassa da cal hidratada e areia	105,20	178.836,94	56,00000	58,91	100.148,69
<b>PAREDES</b>	Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	33,40	63.452,40	56,00000	18,70	35.533,34
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>						
	Massa acrílica para pintura látex	0,22	354,20	15,00000	0,03	53,13
<b>ACABAMENTO</b>						
<b>Pintura</b>						
	Massa a base de epóxi	0,75	1.419,20	15,00000	0,11	212,88
	Fundo a base de epóxi	0,53	771,69	15,00000	0,08	115,75
	Tinta epóxi	0,89	984,57	14,00000	0,12	137,84
	Preparador de superfícies	0,06	62,54	14,00000	0,01	8,76
	Tinta látex acrílica	0,09	116,13	14,00000	0,01	16,26
<b>REVESTIMENTO</b>						
<b>TETO</b>	<b>Forros</b>					
	Forro de gesso acartonado	7,46	238,80	18,00000	1,34	42,98

Fonte: elaborado pela autora.

### 5.4.3 QUANTIFICAÇÃO DE RCC

Após a quantificação de perdas foi possível estimar a geração de RCC nas fases em análise. Andrade *et al.* (2001) apresentaram a parcela do valor do indicador global de perdas referente ao entulho gerado, portanto, a partir da porcentagem de



entulho por unidade de serviço (Tabela 5-15) estimou-se a quantidade de RCC para cada tipo de consumo. A Tabela 5-16 e Tabela 5-17 exemplificam os resultados obtidos.

**Tabela 5-15: Estimativa de entulho por unidade de serviço**

<b>Material</b>	<b>% Entulho</b>
Concreto usinado	15,00
Aço	70,00
Blocos	100,00
Argamassa - Alvenaria	16,00
Argamassa - Paredes e tetos	19,00
Argamassa - Fachada	18,00
Argamassa - Contra Piso	5,00
Placas Cerâmicas Fachada	100,00
Placas Cerâmicas Piso	100,00
Gesso - Paredes	50,00
Gesso - Teto	50,00

Fonte: Andrade *et al.* (2001)

Tabela 5-16: Estimativa de RCC para consumo “médio”

Descrição	Estimativa de Perdas			Estimativa de RCC	
	m <sup>3</sup>	kg	% Entulho	m <sup>3</sup>	kg
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Regularização de base para pisos</b>					
<b>PISOS</b> Argamassa de cimento e areia	10,03	21.062,16	5,00	0,50	1.053,11
<b>Pisos cerâmicos</b>					
Porcelanato polido	0,80	1.670,93	100,00	0,80	1.670,93
Argamassa pré-fabricada de cimento colante	1,55	3.008,88	5,00	0,08	150,44
<b>ALVENARIA</b>					
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>					
Bloco cerâmico 9 x 19 x 19cm	24,01	3.362,09	100,00	24,01	3.362,09
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	13,00	24.708,00	16,00	2,08	3.953,28
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Argamassas</b>					
Argamassa de cimento e areia	6,38	13.406,40	19,00	1,21	2.547,22
Argamassa da cal hidratada e areia	29,80	50.665,44	19,00	5,66	9.626,43
<b>PAREDES</b> Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	7,08	13.459,60	19,00	1,35	2.557,32
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>					
Massa corrida acrílica	0,03	53,13	19,00	0,01	10,09
<b>ACABAMENTO</b>					
<b>Pintura</b>					
Massa a base de epóxi	0,11	212,88	5,00	0,01	10,64
Fundo a base de epóxi	0,08	115,75	5,00	0,00	5,79
Tinta epóxi	0,12	137,84	5,00	0,01	6,89
Preparador de superfícies	0,01	8,76	5,00	0,00	0,44
Tinta látex acrílica	0,01	16,26	5,00	0,00	0,81
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>TETO</b> <b>Forros</b>					
Forro de gesso acartonado	1,34	42,98	50,00	0,67	21,49

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5-17: Estimativa de RCC para consumo “máximo”

Descrição	Estimativa de Perdas			Estimativa de RCC	
	m <sup>3</sup>	kg	% Entulho	m <sup>3</sup>	kg
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Regularização de base para pisos</b>					
<b>PISOS</b> Argamassa de cimento e areia	25,74	54.059,54	5,00	1,29	2.702,98
<b>Pisos cerâmicos</b>					
Porcelanato polido	0,85	1.783,26	100,00	0,85	1.783,26
Argamassa pré-fabricada de cimento colante	1,55	3.008,88	5,00	0,08	150,44
<b>ALVENARIA</b>					
<b>Alvenaria de peças de barro e cerâmica - Vedação</b>					
Bloco cerâmico 9 x 19 x 19cm	28,89	4.044,61	100,00	28,89	4.044,61
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	27,77	52.763,76	16,00	4,44	8.442,20
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>Argamassas</b>					
Argamassa de cimento e areia	6,38	13.406,40	19,00	1,21	2.547,22
Argamassa da cal hidratada e areia	58,91	100.148,69	19,00	11,19	19.028,25
Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia	18,70	35.533,34	19,00	3,55	6.751,33
<b>PAREDES</b>					
<b>Preparação de superfícies para pintura</b>					
Massa acrílica para pintura látex	0,03	53,13	19,00	0,01	10,09
<b>ACABAMENTO</b>					
<b>Pintura</b>					
Massa a base de epóxi	0,11	212,88	5,00	0,01	10,64
Fundo a base de epóxi	0,08	115,75	5,00	0,00	5,79
Tinta epóxi	0,12	137,84	5,00	0,01	6,89
Preparador de superfícies	0,01	8,76	5,00	0,00	0,44
Tinta látex acrílica	0,01	16,26	5,00	0,00	0,81
<b>REVESTIMENTO</b>					
<b>TETO</b>					
<b>Forros</b>					
Forro de gesso acartonado	1,34	42,98	50,00	0,67	21,49

Fonte: elaborado pela autora.

Consequente, a Tabela 5-18 apresenta o resumo da estimativa de RCC para cada etapa e consumo em análise neste estudo:

Tabela 5-18: Resumo de estimativa de RCC para consumo “médio” e “máximo”

Etapas		Estimativa de RCC			
		MÉD.		MÁX.	
		m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg
<b>PISOS</b>	REVESTIMENTO	1,38	2.874,48	2,21	4.636,68
	ALVENARIA	26,09	7.315,37	33,33	12.486,81
<b>PAREDES</b>	REVESTIMENTO	8,23	14.741,07	15,96	28.336,90
	ACABAMENTO	0,02	24,57	0,02	24,57
<b>TETOS</b>	REVESTIMENTO	0,67	21,49	0,67	21,49
<b>Total</b>		<b>36,38</b>	<b>24.976,98</b>	<b>52,20</b>	<b>45.506,45</b>

Fonte: elaborado pela autora.

## 5.5 COMPARAÇÃO DE CÁLCULO: TRADICIONAL X BIM

Com o objetivo de analisar os resultados gerados no desenvolvimento da pesquisa e avaliar a efetividade do BIM para auxiliar o cálculo de estimativa de geração de resíduos, comparou-se os resultados obtidos entre o projeto genérico em CAD e a modelagem em BIM. Nesta etapa, para efeito de comparação, foi utilizado a estimativa calculada em BIM apenas na unidade de medida quilograma (kg).

A estimativa de RCC por etapa de construção calculado sobre as informações do projeto em CAD está resumido na Tabela 5-19. Já os resultados obtidos a partir da modelagem em BIM estão resumidos na Tabela 5-20.

Tabela 5-19: Estimativa de RCC por etapa de construção

<b>Etapas</b>	<b>Estimativa por etapa (kg)</b>
<b>Terraplenagem</b>	1.228,14
<b>Fundações</b>	4.912,55
<b>Estrutura</b>	8.596,96
<b>Alvenarias</b>	14.123,58
<b>Revestimentos</b>	15.351,72
<b>Acabamentos</b>	17.193,93

Fonte: elaborado pela autora.

Tabela 5-20: Estimativa de resíduos por modelagem BIM

	<b>Etapas</b>	<b>Estimativa de RCC</b>	
		<b>MÉD.</b>	<b>MÁX.</b>
		<b>kg</b>	<b>kg</b>
<b>PISOS</b>	REVESTIMENTO	2.874,48	4.636,68
	ALVENARIA	7.315,37	12.486,81
<b>PAREDES</b>	REVESTIMENTO	14.741,07	28.336,90
	ACABAMENTO	24,57	24,57
<b>TETOS</b>	REVESTIMENTO	21,49	21,49
<b>Total</b>		<b>24.976,98</b>	<b>45.506,45</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Devido nas etapas de modelagem BIM e estimativa de resíduos não terem sido considerados os projetos complementares, nesta fase do estudo comparou-se apenas os itens “Alvenaria”, “Revestimento” e “Acabamentos”, pois sua estimativa não depende de outros projetos. Como forma de evitar erros no comparativo, as etapas “Revestimento” e “Acabamentos” foram somadas, pois na metodologia utilizada por

Marques Neto (2003) não fica explícito quais serviços foram considerados em ambas as etapas, desta maneira, o somatório impede considerações equivocadas.

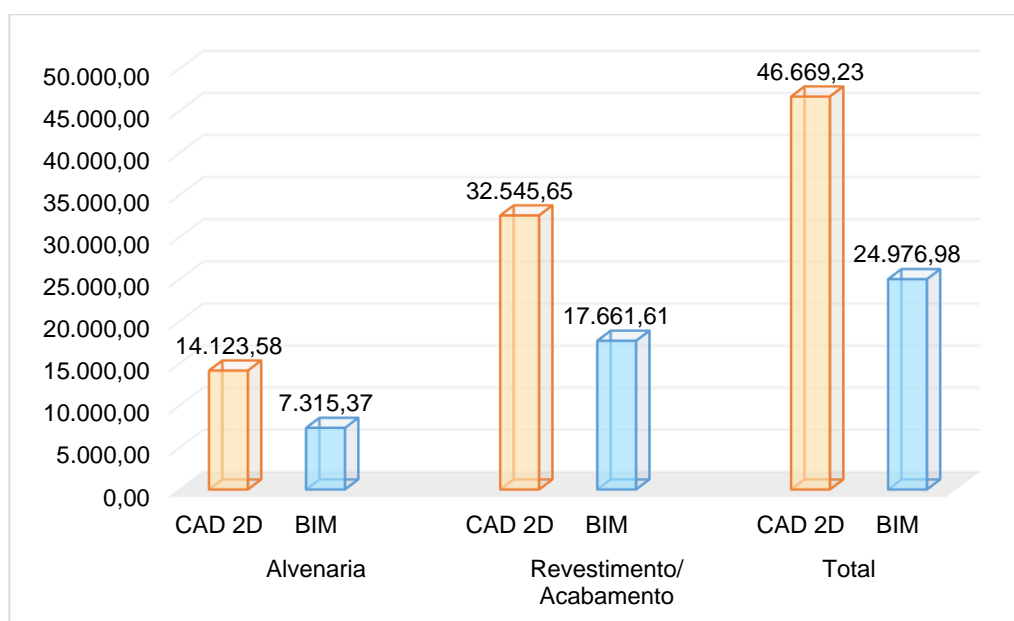
Portanto, conforme Tabela 5-21 e Figura 2-1 no consumo “médio” houve uma considerável diferença entre os resultados obtidos pelo método CAD 2D.

**Tabela 5-21: Comparativo entre os resultados de consumo “médio”**

<b>Etapas</b>	<b>Método</b>	<b>Estimativa (kg)</b>
<b>Alvenaria</b>	CAD 2D	14.123,58
	BIM	7.315,37
<b>Revestimento/ Acabamento</b>	CAD 2D	32.545,65
	BIM	17.661,61
<b>Total</b>	<b>CAD 2D</b>	<b>46.669,23</b>
	<b>BIM</b>	<b>24.976,98</b>

Fonte: elaborado pela autora.

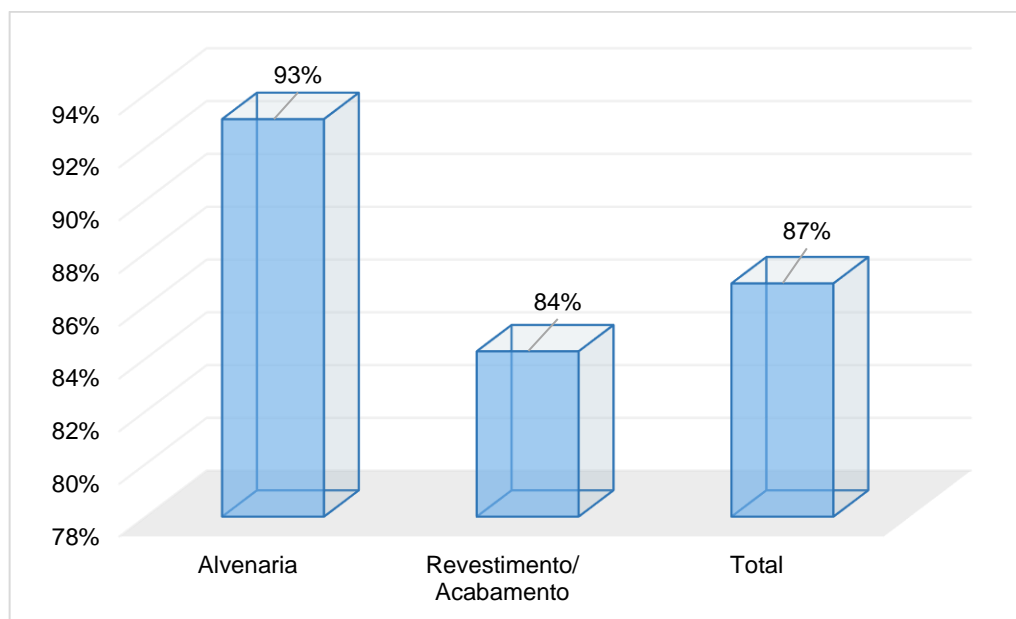
**Figura 5-10: Gráfico comparativo das estimativas de consumo “médio”**



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 5-11 ilustra a variação das estimativas obtidas, na etapa “Alvenaria” houve a maior diferença entre os quantitativos, cerca de 93%. Nas etapas de “Revestimento/Acabamento” a variação foi de 84%. No total geral a porcentagem foi de 87%.

**Figura 5-11: Porcentual de variação entre os resultados de consumo “médio”**



Fonte: elaborado pela autora.

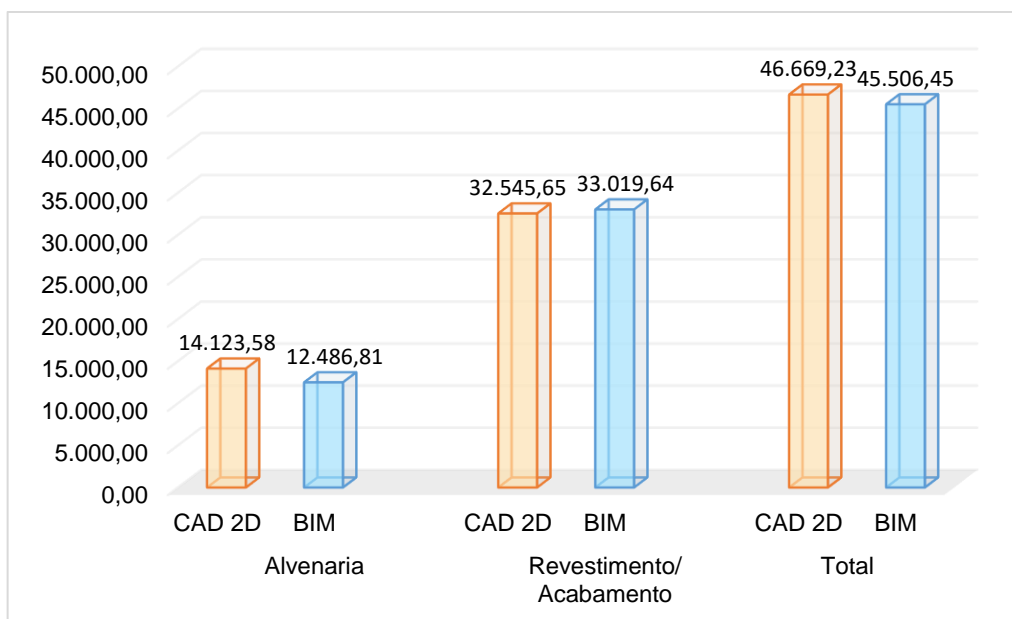
A Tabela 5-22, Tabela 5-21 e a Figura 5-12 apresentam o comparativo obtido no consumo “máximo”, observa-se que neste caso, os resultados apresentados no método BIM são similares aos resultados apresentados em CAD 2D, divergente do comparativo apresentado para consumo “médio”.

Tabela 5-22: Comparativo entre os resultados de consumo “máximo”

<b>Etapas</b>	<b>Método</b>	<b>Estimativa (kg)</b>
Alvenaria	CAD 2D	14.123,58
	BIM	12.486,81
Revestimento/ Acabamento	CAD 2D	32.545,65
	BIM	33.019,64
<b>Total</b>	<b>CAD 2D</b>	<b>46.669,23</b>
	<b>BIM</b>	<b>45.506,45</b>

Fonte: elaborado pela autora.

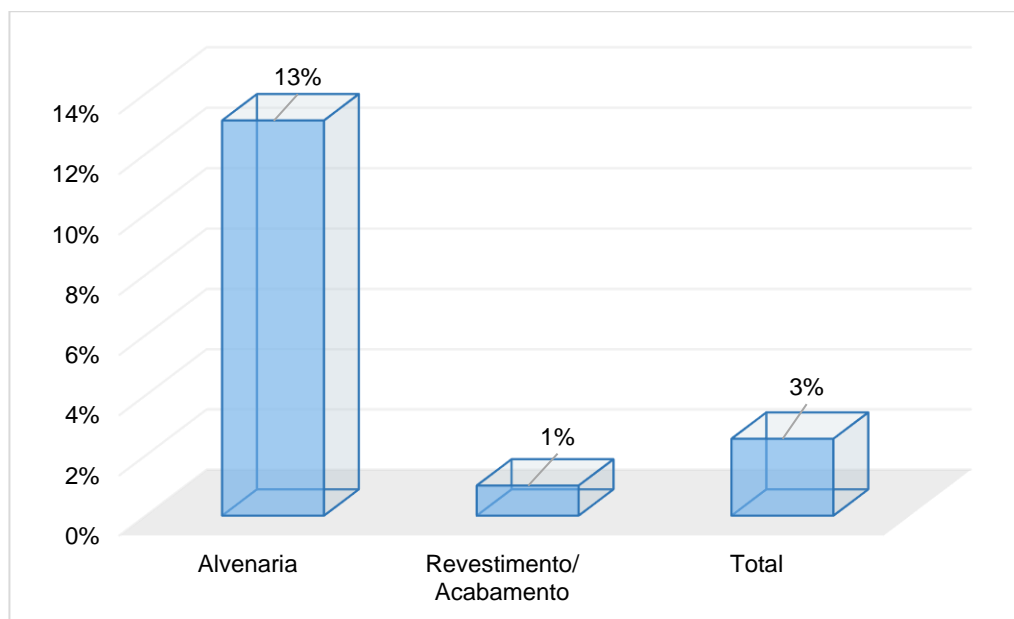
Figura 5-12: Gráfico comparativo das estimativas de consumo “máximo”



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 5-13 ilustra a variação das estimativas obtidas no consumo “máximo”, na etapa “Alvenaria” houve a menor diferença entre os quantitativos, cerca de 13%. Nas etapas de “Revestimento/Acabamento” a variação foi de apenas 1%. No total geral a porcentagem de variação entre os quantitativos foi de 3%.



**Figura 5-13: Porcentual de variação entre os resultados de consumo “máximo”**

Fonte: elaborado pela autora

Dentre os resultados obtidos, observa-se que a variação de consumo devido a produtividade é significativa e um fator importante para a estimativa de RCC. O nível de produtividade considerada para o cálculo é essencial para uma estimativa mais concreta.

A discrepância entre os resultados CAD 2D e BIM, além do consumo considerado, podem ser justificados em razão da ausência de informações em relação aos serviços considerados para cada etapa da construção, ocasionando divergências.

É importante salientar a necessidade de comparar todas as etapas construtivas, a fim de obter um resultado mais sólido e consistente.

Entende-se que a modelagem BIM proporciona com facilidade os quantitativos necessários para a estimativa, evitando discordâncias nas medidas consideradas. Porém, apesar de possibilitar um quantitativo de maneira rápida e exata, como a revisão de literatura já menciona, o estudo comprova a dificuldade de estimar a quantidade de resíduos gerados por meio da modelagem BIM, devido à ausência de ferramentas que favorecem o estudo. Sendo assim, entende-se ser fundamental ferramentas compatíveis com a modelagem, possibilitando, de maneira prática e confiável, uma estimativa de resíduos gerados sobre o projeto.

## 5.6 PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O plano de gerenciamento de resíduos da construção civil tem como objetivo estabelecer os procedimentos necessários para o correto manejo e destinação ambientalmente adequada dos resíduos oriundos da construção civil.

Com base nisto, foi elaborado um plano de gerenciamento de RCC a partir do projeto estudado, utilizando o modelo BIM desenvolvido a partir do projeto em CAD, como forma de demonstrar a importância da modelagem para a gestão dos RCC.

### 5.6.1 CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

- **Empreendimento:** residência unifamiliar de dois pavimentos;
- **Localização:** Residencial Faber Castell 3, na cidade de São Carlos;
- **Sistema construtivo:** Concreto armado;
- **Área construída:**
  - Pavimento Térreo: 255,27m<sup>2</sup>;
  - Pavimento Superior: 192,89m<sup>2</sup>;
  - Total: 448,16m<sup>2</sup>.

### 5.6.2 RESPONSABILIDADES

A Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) atribui responsabilidades compartilhadas aos geradores, transportadores e gestores municipais quanto ao gerenciamento dos resíduos.

### 5.6.3 DEFINIÇÕES

Para efeito deste plano, foram adotadas as seguintes definições de acordo com a Resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002):

- I. **Resíduos da construção civil:** são os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluindo os resultantes da preparação e da escavação de terrenos.
- II. **Geradores:** são pessoas, físicas ou jurídicas, públicas ou privadas, responsáveis por atividades ou empreendimentos que gerem os resíduos.
- III. **Transportadores:** São as pessoas, físicas ou jurídicas, encarregadas da coleta e do transporte dos resíduos entre as fontes geradoras e as áreas de destinação.
- IV. **Agregado reciclado:** é o material granular proveniente do beneficiamento de resíduos da construção que apresentem características técnicas para a aplicação em obras de edificação, de infraestrutura, em aterros sanitários ou outras obras de engenharia.
- V. **Gerenciamento de resíduos:** é o 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.
- VI. **Reutilização:** é o processo de reaplicação de um resíduo, sem transformação do mesmo.
- VII. **Reciclagem:** é o processo de reaproveitamento de um resíduo, após ter sido submetido à transformação.
- VIII. **Beneficiamento:** é o ato de submeter um resíduo à operações e/ou processos que tenham por objetivo dotá-los de condições que permitam que sejam utilizados como matéria-prima ou produto.
- IX. **Aterro de resíduos classe "A":** é a área onde serão empregadas técnicas de disposição de resíduos da construção civil Classe "A" no solo, visando a reservação de materiais segregados de forma a possibilitar seu uso futuro ou posterior utilização da área, utilizando princípios de engenharia para confiná-los ao menor volume possível, sem causar danos à saúde pública e ao meio ambiente e devidamente licenciado pelo órgão ambiental competente.

- X. **Áreas de destinação de resíduos:** São áreas destinadas ao beneficiamento ou à disposição final de resíduos.

#### 5.6.4 ETAPAS DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Foram atribuídas as seguintes etapas de gerenciamento, sendo elas:

- Planejamento;
- Caracterização e Quantificação;
- Triagem e Acondicionamento;
- Destinação Final.

##### 5.6.4.1 Planejamento

Durante a concepção do projeto arquitetônico foram levados em consideração o sistema construtivo, tipo de material, detalhamentos, entre outros pontos, com o intuito de intensificar a não geração de resíduos. A modelagem em BIM auxilia a integração futura entre os projetos complementares, promovendo uma simulação realista da concepção do projeto, evitando erros, retrabalho e a produção imprópria de resíduos.

Além da integração, a modelagem permite um aperfeiçoamento do detalhamento do projeto, levantamento quantitativo facilitado e exato, proporcionando um orçamento e pedido de compras adequado, evitando perdas de materiais e aquisição desnecessária de materiais.

Sendo assim, a utilização da modelagem BIM proporciona ao empreendimento e ao plano de gerenciamento de RCC compatibilidade facilitada entre projetos, exatidão em relação a cotas, níveis e alturas, especificação de materiais e componentes e detalhamentos realistas.

##### 5.6.4.2 Caracterização e Quantificação

Os resíduos foram pré-caracterizados e quantificados durante a etapa de projeto, conforme tabela resumo Tabela 5-23.

Tabela 5-23: Resumo estimativa de resíduos na fase de Arquitetura.

Material	Estimativa de RCC			
	MÉD.		MÁX.	
	m <sup>3</sup>	kg	m <sup>3</sup>	kg
Argamassa	10,8784	19.887,8056	21,7658	39.622,4243
Placas cerâmicas	0,8000	1.670,9300	0,8500	1.783,2600
Blocos	24,0100	3.362,0900	28,8900	4.044,6100
Massa corrida	0,0112	20,7387	0,0112	20,7387
Tintas	0,0065	7,7050	0,0065	7,7050
Preparador de superfícies	0,0045	6,2255	0,0045	6,2255
Gesso	0,6700	21,4900	0,6700	21,4900
<b>TOTAL</b>	<b>36,3806</b>	<b>24.976,9848</b>	<b>52,1980</b>	<b>45.506,4535</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Durante a fase de construção, espera-se, a partir deste quantitativo inicial, ter um maior controle e monitoramento da geração de resíduos na obra. Para isso todo resíduo gerado será identificado, classificado e quantificado conforme planilha modelo (Tabela 5-24).

Tabela 5-24: Modelo para controle dos resíduos gerados

CONTROLE DE RESÍDUOS			
Classificação	Tipo	Quantidade	Etapa da Obra
<i>Classe A</i>			
<i>Classe B</i>			
<i>Classe C</i>			
<i>Classe D</i>			

Fonte: elaborado pela autora.

A planilha modelo proporcionará um controle dos resíduos que estão sendo produzidos no canteiro, o registro de informações será realizado semanalmente, com o objetivo de proporcionar maior organização e, futuramente, os dados coletados

poderão promover um comparativo entre a quantificação inicial e a prática. A classificação dos resíduos seguirá conforme a classificação da Resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002), identificados no *subitem 2.2* deste trabalho.

#### 5.6.4.3 Triagem e Acondicionamento

Os resíduos sólidos gerados durante a construção serão identificados de acordo com sua Classe e posteriormente separados e acondicionados de maneira adequada. Para o correto manejo destes resíduos, dispositivos como bombonas, bags, baias e caçambas estacionárias serão utilizadas, conforme descrito na Tabela 5-25.

**Tabela 5-25: Dispositivos adotados no acondicionamento dos resíduos**

DISPOSITIVOS	DESCRIÇÃO	ACESSÓRIOS UTILIZADOS
<b>Bombonas</b> <i>Figura 5-14</i>	Recipiente plástico, com capacidade para 50 ou 100 litros, utilizado para conter substâncias líquidas. Depois de lavado e extraída sua parte superior, poderá ser utilizado como dispositivo para coleta.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sacos de rafia</li> <li>2. Sacos de lixo simples (quando forem dispostos resíduos orgânicos ou outros passíveis de coleta pública).</li> <li>3. Adesivos de sinalização</li> </ol>
<b>Bags</b> <i>Figura 5-15</i>	Saco de rafia reforçado, dotado de 4 alças e com capacidade para armazenamento de 1m <sup>3</sup> .	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suporte de madeira ou metálico.</li> <li>2. Plaquetas para fixação dos adesivos de sinalização.</li> <li>3. Adesivos de sinalização</li> </ol>
<b>Baias</b> <i>Figura 5-16</i>	Geralmente construída em madeira, com dimensões diversas, adapta-se às necessidades de armazenamento do resíduo e ao espaço disponível em obra.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adesivos de sinalização</li> <li>2. Plaquetas para fixação dos adesivos de sinalização (em alguns casos)</li> </ol>
<b>Caçambas estacionárias</b> <i>Figura 5-17</i>	Recipiente metálico com capacidade volumétrica de 3, 4 e 5m <sup>3</sup> .	Recomendável o uso de dispositivo de cobertura, quando disposta em via pública.

Fonte: Oxigênio Cuiabá LTDA (2014).

**Figura 5-14: Bombonas**



Fonte: <https://www.petrosolembalagens.com.br/Bombona-100-litros.html>

**Figura 5-15: Bags**



Fonte: <https://www.sacariaimperador.com/big-bags-entulho>

**Figura 5-16: Baias**

Fonte: <https://www.frankesustentabilidade.com.br/2016/08/reciclagem-no-canteiro-de-obra.html>

**Figura 5-17: Caçambas estacionárias**

Fonte: <https://www.guiabra.com.br/nortelocaces/ofertas/cacambas-estacionarias-55-mts/43494>

O acondicionamento inicial dos resíduos deve ocorrer próximo ao local de geração, e futuramente serem transportados ao local final de acondicionamento,



promovendo a limpeza do canteiro e proporcionando a organização do espaço. Eventualmente, resíduos são coletados e diretamente transportados para o acondicionamento final.

O transporte interno dos resíduos ocorre de maneira convencional como: carrilhas e transporte manual, e deve ser atribuída aos operários da obra. Para o acondicionamento, além da identificação dos resíduos, deve ser também considerado o volume e as características físicas destes materiais, a fim de facilitar a separação e o armazenamento adequado. As Tabela 5-26 e Tabela 5-27, exemplificam, a partir dos tipos de resíduos, a melhor maneira de acondicionar inicial e final, respectivamente, as sobras geradas durante a construção.

Tabela 5-26: Acondicionamento inicial por tipo de resíduos

TIPO DE RESIDUO	ACONDICIONAMENTO INICIAL
Blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, concreto, tijolos e assemelhados.	Em pilhas formadas próximas aos locais de geração, nos respectivos pavimentos.
Madeira	Em bombonas sinalizadas e revestidas internamente por saco de rafia (pequenas peças) ou em pilhas formadas nas proximidades da própria bombona e dos dispositivos para transporte vertical (grandes peças).
Plásticos (sacaria de embalagens, aparas de tubulações etc.)	Em bombonas sinalizadas e revestidas internamente por sacos de rafia.
Papelão (sacos e caixas de embalagens dos insumos utilizados durante a obra) e papéis (escritório)	Em bombonas sinalizadas e revestidas internamente com sacos de rafia, para pequenos volumes. Como alternativa para grandes volumes: bags ou fardos.
Serragem	Em sacos de rafia próximos aos locais de geração.
Gesso de revestimento, placas acartonadas e artefatos	Em pilhas formadas próximas aos locais de geração dos resíduos, nos respectivos pavimentos.
Solos	Eventualmente em pilhas e, preferencialmente, para imediata remoção (carregamento dos caminhões ou caçambas estacionárias logo após a remoção dos resíduos de seu local de origem).
Telas de fachada e de proteção	Recolher após o uso e dispor em local adequado.
EPS (Poliestireno expandido)	Quando em pequenos pedaços, colocar em sacos de rafia. Em placas, formar fardos.
Resíduos perigosos presentes em embalagens plásticas e de metal, instrumentos de aplicação como pincéis, trinchas e outros materiais auxiliares como panos, trapos, estopas etc.	Manuseio com os cuidados observados pelo fabricante do insumo na ficha de segurança da embalagem ou do elemento contaminante do instrumento de trabalho. Imediato transporte pelo usuário para o local de acondicionamento final.
Restos de uniforme, botas, panos e trapos sem contaminação por produtos químicos.	Disposição nas bags para outros resíduos

Fonte: Oxigênio Cuiabá LTDA (2014).

**Tabela 5-27: Acondicionamento final por tipo de resíduos**

<b>TIPO DE RESIDUO</b>	<b>ACONDICIONAMENTO FINAL</b>
Blocos de concreto, blocos cerâmicos, argamassas, outros componentes cerâmicos, concreto, tijolos e assemelhados	Preferencialmente em caçambas estacionárias.
Madeira	Preferencialmente em baias sinalizadas, podendo ser utilizadas caçambas estacionárias.
Plásticos (sacaria de embalagens, aparas de tubulações etc.)	Em bags sinalizados.
Papelão (sacos e caixas de embalagens dos insumos utilizados durante a obra) e papéis (escritório)	Em bags sinalizados ou em fardos, mantidos ambos em local coberto.
Metal (ferro, aço, fiação revestida, arames etc.)	Em baias sinalizadas.
Serragem	Baia para acúmulo dos sacos contendo o resíduo.
Gesso de revestimento, placas acartonadas e artefatos	Em caçambas estacionárias, respeitando condição de segregação em relação aos resíduos de alvenaria e concreto
Telas de fachada e de proteção	Dispor em local de fácil acesso e solicitar imediatamente a retirada ao destinatário.
EPS (Poliestireno expandido)	Baia para acúmulo dos sacos contendo o resíduo ou fardos.
Resíduos perigosos presentes em embalagens plásticas e de metal, instrumentos de aplicação como broxas, pincéis, trinchas e outros materiais auxiliares como panos, trapos, estopas etc.	Em baias devidamente sinalizadas e para uso restrito das pessoas que, durante suas tarefas, manuseiam estes resíduos.
Restos de uniforme, botas, panos e trapos sem contaminação por produtos químicos.	Em bags para outros resíduos.

Fonte: Oxigênio Cuiabá LTDA (2014).

Os dispositivos de armazenamento serão sinalizados com etiquetas, com as informações necessárias para a identificação e reconhecimento dos recipientes, como forma de evitar a mistura dos resíduos e resultar a segregação adequada das sobras. A Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril de 2001 (CONAMA, 2001), estabelece

o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, exemplificado na Tabela 5-28, este padrão será adotado para a correta identificação e acondicionamento dos resíduos.

**Tabela 5-28: Padrão de cores para acondicionamento dos resíduos**

<b>Cor</b>	<b>Tipo de Resíduo</b>
<b>Azul</b>	Papel/papelão
<b>Vermelho</b>	Plástico
<b>Verde</b>	Vidro
<b>Amarelo</b>	Metal
<b>Preto</b>	Madeira
<b>Cinza</b>	Resíduo geral não reciclável ou misturado, ou contaminado não passível de separação.

Fonte: adaptado de CONAMA (2001).

#### 5.6.4.4 Destinação Final

A Resolução CONAMA nº 307/2002 (BRASIL, 2002) considera que “os geradores de resíduos da construção civil devem ser responsáveis pelos resíduos das atividades de construção, reforma, reparo e demolições [...]”, sendo então responsáveis pelo destino adequado dos RCC. Sendo assim, a Tabela 5-29 ilustra a partir dos tipos de resíduos quais serão as destinações mais adequadas para cada classe.

Tabela 5-29: Destinação final dos resíduos de acordo com sua classe

RESÍDUO	DESTINAÇÃO E AÇÕES
<b>SOLO (CLASSE A)</b> terra	Os materiais provenientes da escavação do terreno têm de ser removidos e transportados até áreas estabelecidas no canteiro para <i>bota-fora</i> ou a critério da empresa contratada para os serviços de terraplanagem. Também, é possível a sua incorporação as áreas de aterro, bem como à do solo proveniente de pequenas escavações (baldrames, poços, caixas de inspeção etc.).
<b>ENTULHO (CLASSE A)</b> concreto, argamassa, material de acabamento, tijolos	O entulho não pode ser disposto como resíduos urbanos, ou seja, em sacos de lixo para a coleta pelo serviço público de coleta de lixo. Todo entulho precisa ser coletado, armazenado e retirado em caçambas fornecidas por empresa especializada, que deve ser obrigatoriamente cadastrada na Prefeitura. A disposição das caçambas no canteiro, bem como os métodos utilizados para a retirada do entulho necessitam evitar transportes excessivos e manter o canteiro organizado, limpo e desimpedido, notadamente nas vias de circulação e passagens. Devem ser disponibilizados pelo almoxarife os equipamentos de limpeza necessários à remoção do entulho (vassouras, enxadas, carrinhos de mão etc.).
<b>RESÍDUOS (CLASSE B)</b> plásticos, papel, papelão, vidros, madeira	Esse tipo de resíduo de obra não pode ser disposto como resíduos urbanos, ou seja, em sacos de lixo para coleta pelo serviço público de coleta de lixo. É proibida a queima de plásticos, papel, metais, papelão, madeira ou qualquer outro material no interior do canteiro de obras. Todo material tem de ser coletado e armazenado em recipientes, separados por tipo. O material assim classificado será retirado por empresa especializada, que precisa ser obrigatoriamente cadastrada na Prefeitura. A disposição dos recipientes no canteiro bem como métodos utilizados para a sua coleta na obra têm de evitar mistura dos materiais e manter o canteiro organizado, limpo e desimpedido.
<b>RESÍDUOS (CLASSE C)</b> produtos oriundos do gesso	Esse tipo de resíduo deve ser coletado, armazenado e retirado por caçambas fornecidas por empresa especializada, que necessita ser obrigatoriamente cadastrada na Prefeitura. Por se tratar de resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tem de ser aguardada legislação municipal que atenda à Resolução 307 do Conama (Conselho Nacional do Meio Ambiente) publicada em 05/07/02.
<b>MATERIAL PROVENIENTE DAS ÁREAS DE VIVÊNCIA DO CANTEIRO (CLASSE B)</b> papel, recipientes, plásticos, trapos, restos de alimento	Os resíduos gerados nas áreas de vivência precisam ser colocados em recipientes (cestos de lixo) e recolhidos e armazenados em sacos plásticos e dispostos em local adequado para o recolhimento pelo serviço público de coleta de lixo. Devem ser disponibilizados cestos de lixo no escritório da obra, nos sanitários e no refeitório.

---

<b>POEIRA E RESÍDUOS LEVES DA CONSTRUÇÃO</b>	São necessárias telas de náilon nas fachadas, para proteção das vias públicas e vizinhos. Precisam ser disponibilizados pelo almoxarife os equipamentos de limpeza necessários à remoção de poeira e resíduos leves (vassouras, enxadas, carrinhos de mão, etc.) nas frentes de serviço e nas áreas de vivência. Durante a remoção de entulho, descarregamento e transporte dos materiais, devem ser tomados cuidados de forma a evitar o levantamento excessivo de poeira e os seus consequentes riscos. As poeiras e resíduos leves têm de ser removidos e armazenados em sacos plásticos e posteriormente dispostos na caçamba contratada.
--	---

---

<b>ESGOTO E ÁGUAS SERVIDAS</b>	O esgoto e águas pluviais devem ser coletados separadamente, por meio de sistemas próprios independentes. Sempre que possível, todo esgoto gerado pelo canteiro será coletado por intermédio de ligação provisória à rede pública realizada no início da obra pela concessionária, conforme suas normas. Os vasos sanitários, lavatórios, mictórios e ralos precisam ser ligados diretamente à rede do esgoto com interposição de sifões hídricos, atendendo as especificações da concessionária.
--------------------------------	---

---

Fonte: Yazigi (2009).

Tendo em vista que grande parte da geração dos RCC provém de pequenos geradores, o sistema de gestão sustentável de RCC e volumosos da Prefeitura Municipal de São Carlos/SP possui uma rede de pontos de entrega para pequenos volumes de RCC e resíduos volumosos (Ecoponto), além de serviço disque coleta para pequenos volumes, direcionado a pequenos transportadores privados, e uma rede de áreas para recepção de grandes volumes (áreas de transbordo e triagem, áreas de reciclagem e aterros de RCC).

A Lei Municipal nº 13.867/2006 (SÃO CARLOS, 2006), que “Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e o Sistema para a Gestão destes resíduos [...]”, estabelece como prioridade a reciclagem dos RCC Classe A. O município possui usinas de processamento, promovendo a reciclagem e o reaproveitamento, sendo: Usina de Reciclagem de resíduos Sólidos da Construção Civil da PROHAB (autarquia municipal) e duas empresas privadas, Dutra Entulhos e AMX Ambiental.

Porém, em relação aos pequenos geradores, a Lei nº 14.480/2008 (SÃO CARLOS, 2008) estabelece o sistema de Ecopontos para recebimento dos RCC em pequenos volumes. Além disso, define os resíduos da construção de pequenos geradores como integrantes do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos.

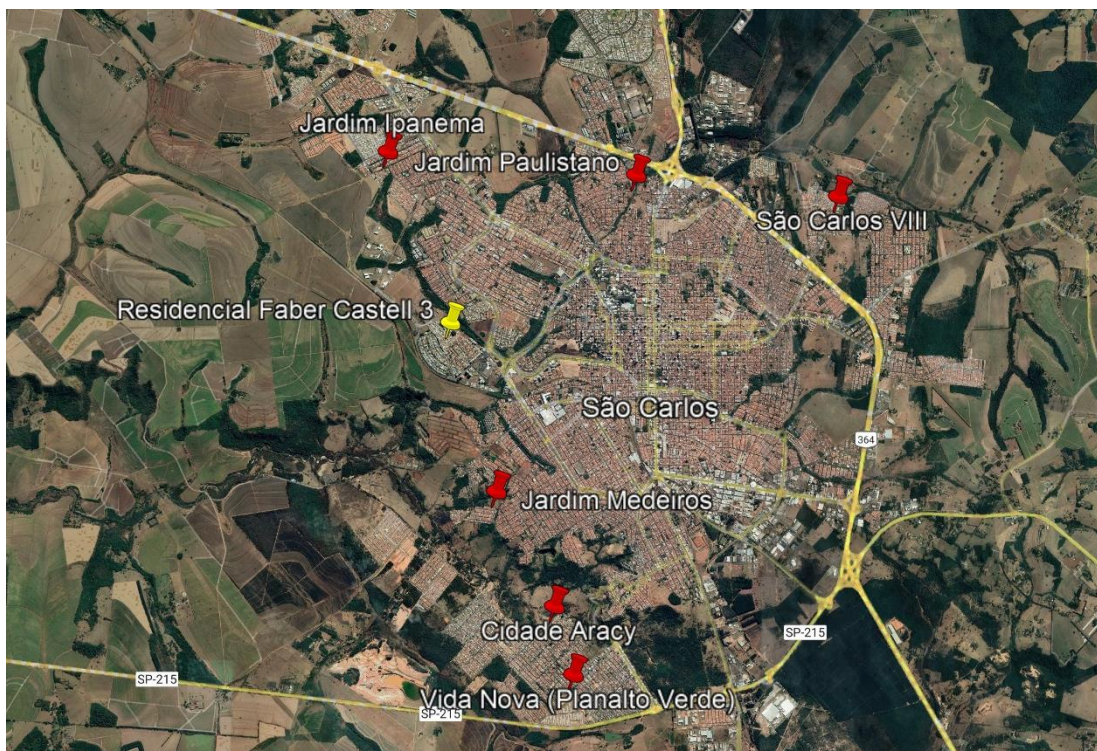
O município possui atualmente 6 (seis) Ecopontos, distribuídos na cidade conforme Tabela 5-30 e Figura 5-18.

**Tabela 5-30: Relação e localização dos Ecopontos do município de São Carlos/SP**

<b>ECOPONTOS</b>	
<b>Unidade</b>	<b>Endereço</b>
I. São Carlos VIII	Rua Capitão Luiz Brandão, 1847 - esquina com Av. Cônego A. Volpe
II. Jardim Paulistano	Rua Indalécio de Campos Pereira, 1120 - esquina com Rua Américo J. Canhoto
III. Jardim Ipanema	Rua Renato Talarico Lima Pereira, 299 - esquina com Rua Miguel Petrucelli
IV. Cidade Aracy	Av. Arnaldo Almeida Pires, 1.507 (inauguração dia 21/09) - somente resíduos da construção civil e volumosos (galhos/poda e móveis);
V. Jardim Medeiros	Rua Aristodemo Pelegriani, s/n (esq. com Rua João Genovez)
VI. Vida Nova (Planalto Verde)	Avenida Regit Arab, 1205

Fonte: [www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/meio-ambiente/163876-relacao-eco-pontos-em-sao-carlos.html](http://www.saocarlos.sp.gov.br/index.php/meio-ambiente/163876-relacao-eco-pontos-em-sao-carlos.html).

**Figura 5-18: Localização dos Ecopontos no município de São Carlos/SP.**



Fonte: elaborado pela autora via *Google Earth*.

### 5.6.5 ESTIMATIVA DE CAÇAMBAS ESTACIONÁRIAS

Com base nas estimativas de RCC quantificadas durante a etapa de projeto em BIM (Tabela 5-31), estima-se a quantidade de caçambas estacionárias que serão necessárias na obra para a fase de Arquitetura.



Tabela 5-31: Estimativa de RCC (m<sup>3</sup>) na fase de Arquitetura para consumo “médio” e “máximo”

Etapas		Estimativa de RCC	
		MÉD.	MÁX.
		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
<b>PISOS</b>	REVESTIMENTO	1,38	2,21
	ALVENARIA	26,09	33,33
<b>PAREDES</b>	REVESTIMENTO	8,23	15,96
	ACABAMENTO	0,02	0,02
<b>TETOS</b>	REVESTIMENTO	0,67	0,67
<b>Total</b>		<b>36,38</b>	<b>52,20</b>

Fonte: elaborado pela autora.

Adotando caçambas estacionárias de 5 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) e prevendo consumo “médio” serão necessárias aproximadamente 8 caçambas estacionárias, conforme exemplificado abaixo:

$$Estimativa_{C.E} = \text{Volume de RCC} / \text{Volume C.E}$$

$$Estimativa_{C.E} = 36,38 \text{ m}^3 / 5 \text{ m}^3$$

$$Estimativa_{C.E} \cong 8 \text{ caçambas estacionárias}$$

Prevendo consumo “máximo” serão necessárias aproximadamente 14 caçambas estacionárias apenas na fase de Arquitetura:

$$Estimativa_{C.E} = \text{Volume de RCC} / \text{Volume C.E}$$

$$Estimativa_{C.E} = 52,20 \text{ m}^3 / 5 \text{ m}^3$$

$$Estimativa_{C.E} \cong 11 \text{ caçambas estacionárias}$$

Posto isto, na fase de Arquitetura estima-se a necessidade de 8 a 11 caçambas estacionárias de 5 metros cúbicos (m<sup>3</sup>).

## 6. CONCLUSÃO

Atualmente, os resíduos da construção têm causado um grande impacto ambiental. Grande parte do lixo gerado na construção civil é descartado em aterros sanitários devido à falta de gerenciamento adequado por parte dos geradores, à infraestrutura insuficiente das cidades e à falta de informação e conscientização social. A melhor maneira de evitar a geração desses resíduos é adotando novas técnicas de concepção de projeto e gestão. Observa-se que uma grande parte dos resíduos gerados durante a fase de construção resulta de erros de projeto, falta de coordenação e entendimento do projeto pela equipe, o que leva a erros na construção, ocasionando retrabalho e, conseqüentemente, a geração de resíduos.

Os métodos tradicionais de desenvolvimento de projeto não são eficazes para lidar com as fases iniciais de planejamento, concepção e viabilização de projetos. O BIM é uma modelagem que colabora no processo e construção de um projeto, permitindo que a equipe coordene os processos virtualmente por meio do *feedback* entre as equipes dos diversos projetos e construção antes do início do processo real de construção. A modelagem permite a visualização do projeto em um ambiente 3D, permitindo que os membros da equipe visualizem de forma realista e sugiram as mudanças necessárias antes da finalização da documentação.

Por estes motivos, estudos comprovam que a utilização da modelagem BIM durante a fase de concepção de projeto auxilia na minimização de resíduos da construção civil, pois além da visualização realista e interoperabilidade de projetos, a modelagem proporciona a compatibilização dos projetos complementares, evitando possíveis erros de interferência durante a construção. Porém, apesar de inúmeros benefícios e ferramentas, a modelagem não possui um sistema próprio para a gestão dos resíduos da construção, e pesquisadores apontam que as ferramentas existentes no mercado não são compatíveis com a modelagem, dificultando o seu uso e adoção.

Em muitos países, o plano de gerenciamento de resíduos já se tornou obrigatório para novos edifícios. No entanto, não basta que o plano expresse os objetivos abstratos e boas intenções ou proponha medidas sem meios para efetivar e validar sua implementação. Essas medidas também devem ser aplicadas não apenas

na construção, mas também em todo o ciclo de vida de um edifício, no entanto, ainda estão afastadas do projeto e da construção.

O BIM é um meio promissor para a gestão de RCC, devido às suas capacidades de representação, análise e integração, prometendo controle total dos fluxos de materiais no ciclo de vida das edificações e incorporação do processamento de RCC nos processos produtivos convencionais. A base dessa promessa é a identificação de elementos de construção relevantes e seu contexto, permitindo uma estimativa confiável e precisa dos RCC e a inclusão do gerenciamento dos resíduos no planejamento da construção, demolição e reforma.

A estimativa precisa de resíduos de diferentes tipos de projetos de construção e demolição é um pré-requisito para uma gestão eficaz de resíduos da construção em um ambiente urbano construído. É preciso conhecer a qualidade, a quantidade e o contexto do possível desperdício do material utilizado.

Com base nisso, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a utilização da modelagem BIM na gestão de resíduos da construção civil na fase de projeto e para isso foi necessário modelar por meio da modelagem BIM um projeto já existente e elaborado de forma tradicional para entender a diferença e visualizar os benefícios e as contribuições do BIM.

A modelagem permitiu a extração dos quantitativos dos elementos utilizados no modelo de maneira fácil, rápida e objetiva, com o software gerando tabelas com os quantitativos de cada elemento adicionado. Durante o processo de projeto, alterações nos modelos entre as diversas disciplinas que compõem o empreendimento são comuns. Em processos tradicionais de levantamento de quantitativos em CAD, o orçamentista refaz o trabalho quantas vezes forem necessárias para o seguimento do projeto. Com o uso do BIM, a atualização dos quantitativos é mais rápida e simples, dada a integração entre os modelos e planilhas de levantamentos, sem a necessidade de refazer os cálculos.

Porém, a modelagem não dispõe nos quantitativos os insumos de acordo com o serviço que será executado, sendo necessária a adaptação do quantitativo por meio de tabelas de composição de serviços externas, o que dificulta a objetividade do projeto e retorna à forma tradicional.

Por outro lado, a partir de um modelo de estimativa existente foi possível estimar a quantidade de resíduos gerados durante a fase de construção, proporcionando maior controle do projeto e auxiliando na elaboração do plano de gerenciamento. Esse modelo de estimativa de resíduos permite às empresas de construção identificar as categorias de resíduos, determinar os tipos mais significativos de fluxos de resíduos e rastrear suas origens.

Conclui-se que a presente pesquisa contribui para a utilização da modelagem BIM no mercado de gestão de resíduos, permitindo identificar quais processos construtivos necessitam de maior atenção e a adoção de tecnologias e métodos construtivos adequados para melhorar o desempenho na gestão de resíduos da construção.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a utilização do BIM em outros projetos complementares como forma de avaliar, de maneira completa, a geração de resíduos na fase de projeto. Além de utilizar a modelagem BIM como ferramenta de avaliação da gestão de RCC em canteiros, a partir dos dados que a modelagem oferece, discutidas nesse trabalho.

Ademais, aconselha-se o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de estimar a taxa de geração de resíduos de forma automática por meio das tabelas de levantamento de quantitativo geradas pelo *Revit*, tornando o processo de caracterização de resíduos no plano de gerenciamento de RCC mais ágil, eficiente e confiável.

# REFERÊNCIAS

ABANDA, F. H.; TAH, J. H. M.; CHEUNG, F. K. T. BIM in off-site manufacturing for buildings. **Journal of Building Engineering**, [S. l.], v. 14, p. 89–102, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.10.002>. Acesso em: 15 maio. 2020.

AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (ABDI). **Processo de Projeto BIM: Coletânea Guias BIM ABDI-MDIC**. Brasília, DF: ABDI, 2017. v. 1 *E-book*.

AHUJA, R. *et al.* Factors influencing BIM adoption in emerging markets – the case of India. **Int J Constr Manage.**, [S. l.], v. 20, n. 1, p. 65–76, 2020.

AJAYI, S. .. *et al.* Waste effectiveness of the construction industry: understanding the impediments and requisites for improvements. **Resour Conserv Recycl.**, [S. l.], v. 102, p. 101–112, 2015.

AKINADE, Olugbenga O. *et al.* Evaluation criteria for construction waste management tools: Towards a holistic BIM framework. **International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 3–21, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/2093761X.2016.1152203>. Acesso em: 21 maio. 2020.

AKINADE, Olugbenga O. *et al.* Designing out construction waste using BIM technology: Stakeholders' expectations for industry deployment. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], v. 180, p. 375–385, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.022>. Acesso em: 21 maio. 2020.

ANDRADE, Artemária C. *et al.* Estimativa da quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios. *In*: 2001, São Paulo. **Anais IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil - Materiais Reciclados e suas Aplicações**. São Paulo: IBRACON, 2001. p. 65–74.

ARIF, M. *et al.* Construction waste management in India: an exploratory study. **Construction Innovation**, [S. l.], v. 12, p. 133–155, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos Resíduos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004 a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004 b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15112: Resíduos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas de transbordo e triagem.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004 c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15113: Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004 d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15114: Resíduos sólidos da Construção civil - Áreas de reciclagem.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004 e.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15115: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004 f.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR 15116: Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004 g.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Construção de edificação — Organização de informação da construção. Parte 2: Estrutura para classificação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA RECICLAGEM DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CÍVIL E DEMOLIÇÃO (ABRECON). **Mercado.** [s. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://abrecon.org.br/entulho/mercado/>. Acesso em: 5 fev. 2021.

BATISTA, Vera. **Pandemia puxa venda de casas em condomínios no Distrito Federal.** Brasília, DF, 2020. Disponível em: [https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2020/06/29/internas\\_economia,867681/pandemia-puxa-venda-de-casas-em-condominios-no-distrito-federal.shtml](https://www.correiobraziliense.com.br/app/noticia/economia/2020/06/29/internas_economia,867681/pandemia-puxa-venda-de-casas-em-condominios-no-distrito-federal.shtml). Acesso em: 19 mar. 2021.

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. Brasília: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 21 jun. 2020.

BRASIL. **Decreto Nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022.** Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2022.

BRASIL, Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 307 de 5 de julho de 2002.** Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasília: 2002. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=307>. Acesso em: 20 jun. 2020.

BRASIL, Ministério das Cidades. **Resíduos sólidos: gerenciamento de resíduos da construção civil: guia do profissional em treinamento: nível 1**. Belo Horizonte: ReCESA, 2008. Disponível em: [https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/recesa/gestaoi ntegradaderesiduossolidosurbanos-nivel1.pdf](https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/recesa/gestaoi ntegradaderesiduossolidosurbanos-nivel1.pdf). Acesso em: 20 jun. 2020.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento-SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - 2019**. Brasília: SNS/MDR, 2020.

BRASIL, Ministério do Meio-Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação**. Brasília: ICLEI/MMA, 2012. Disponível em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/182/\\_arquivos/manual\\_de\\_residuos\\_solidos3003 \\_182.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003 _182.pdf). Acesso em: 18 jun. 2020.

BRITO, Douglas Malheiro de. **Fatores críticos de sucesso para implantação de Building Information Modelling (BIM) por organizações públicas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Bahia, Escola Politécnica, Salvador, 2019.

CARVALHO, Humberto; SOUZA, João Carlos; LIBRELOTTO, Lisiane Ilha. Benefícios da gestão de projetos e planejamento em relação ao impacto ambiental causado por desperdício em obras. *In*: 2014, **XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. : Marketing Aumentado, 2014. p. 2543–2552. Disponível em: <https://doi.org/10.17012/entac2014.473>

CATELANI, WILTON SILVA; SANTOS, EDUARDO TOLEDO. Normas brasileiras sobre BIM. **Revista Concreto & Construções**, [S. l.], p. 54–59, 2016. Disponível em: [http://ibracon.org.br/Site\\_revista/Concreto\\_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page54.html](http://ibracon.org.br/Site_revista/Concreto_Construcoes/ebook/edicao84/files/assets/basic-html/page54.html). Acesso em: 9 mar. 2021.

CHENG, Jack C. P.; MA, Lauren Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, [S. l.], v. 33, n. 6, p. 1539–1551, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.001>. Acesso em: 18 jun. 2020.

CHENG, Jack CP; WON, Jongsung; DAS, Moumita. Construction and demolition waste management using BIM technology. *In*: 23RD ANN. CONF. OF THE INTERNATIONAL GROUP FOR LEA 2015, Perth, Australia. **Anais [...]**. Perth, Australia: [s. n.], 2015. p. 381–390.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA. **Resolução CONAMA nº 275, de 25 de abril 2001**. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. 2001. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=291#:~:text=Estabelece o código de cores,informativas para a coleta seletiva.>

EASTMAN, Chuck *et al.* **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors.** Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. *E-book*.

EKANAYAKE, L. L.; OFORI, G. Building waste assessment score: design-based tool. **Build Environ.**, [S. l.], v. 39, p. 851–861, 2004.

FONSECA, Regina Célia Veiga. **Metologia do trabalho científico.** Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

GE, Xin Janet *et al.* Deconstruction waste management through 3d reconstruction and bim: a case study. **Visualization in Engineering**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 1–15, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0050-5>. Acesso em: 21 maio. 2020.

GHAFFARIANHOSEINI, A. *et al.* Building Information Modelling (BIM) Uptake: Clear benefits, Understanding its implementation. **Renew Sustain Energy Rev.**, [S. l.], v. 75, p. 1046–1053, 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2007.

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**, [S. l.], p. 1–11, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil.** Brasília: IPEA, 2012.

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**, [S. l.], v. 21, n. 8, p. 784–801, 2021.

KHANH, H. ...; KIM, S. Y. I. Identifying causes for waste factors in high-rise building projects: a survey in Vietnam. **KSCE Journal of Civil Engineering**, [S. l.], v. 18, p. 865–874, 2014.

LIU, Z. *et al.* The potential use of BIM to aid construction waste minimalization. *In*: 2011, Sophia Antipolis, France. **Proc. The CIB W78-W102 Conf.** Sophia Antipolis, France: [s. n.], 2011. p. 26–28.

LIU, Zhen *et al.* A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 59, n. 2015, p. 1–23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.020>. Acesso em: 22 maio. 2020.

MAGALHÃES, Ruane Fernandes De *et al.* Reducing construction waste: A study of urban infrastructure projects. **Waste Management**, [S. l.], v. 67, p. 265–277, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.025>



MARQUES NETO, José da Costa. **Diagnóstico para estudo de gestão dos resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP**. 2003. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

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 (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

NAHMENS, I.; IKUMA, L. H. Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. **Journal of Architectural Engineering**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 155–163, 2012.

NEIVA, Leonardo. **Condomínios horizontais atraem moradores para a zona sul**. São Carlos, 2020. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/sobretudo/morar/2020/11/condominios-horizontais-atraem-moradores-para-a-zona-sul.shtml>. Acesso em: 19 mar. 2021.

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, [S. l.], v. 28, p. 1147–1158, 2008.

OXIGÊNIO CUIABÁ LTDA. **PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL - PGRCC**. Várzea Grande: [s. n.], 2014.

PORWAL, A.; HEWAGE, K. .. Building information modeling–based analysis to minimize waste rate of structural reinforcement. **J Constr Eng Manage.**, [S. l.], v. 138, n. 8, p. 943–954, 2012.

RAHMAN, I. A.; NAGAPAN, S.; ASMI, A. Initial PLS model of construction waste factors. **Procedia Social and Behavioral Sciences**, [S. l.], v. 129, p. 469–474, 2014.

RAJENDRAN, Punitha; PATHROSE, Christy Pathrose. Implementing BIM for waste minimisation in the construction industry. *In*: 2ND INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT 2012, Langkawi. **Anais [...]**. Langkawi: [s. n.], 2012. p. 557–570.

SACKS, R. *et al.* Analysis Framework for the Interaction between Lean Construction and Building Information Modelling. *In*: PROC. 17TH 2009, Taipei, Taiwan. **Anais [...]**. Taipei, Taiwan: [s. n.], 2009. p. 15–17.

SACKS, R.; TRECKMANN, M. ROZENFELD, O. Visualization of Work Flow to Support Lean Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, [S. l.], v. 135, n. 12, p. 1307–1315, 2009.

SÃO CARLOS. **Lei nº 13.867 de 12 de Setembro de 2006**. Institui o Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil e o Sistema para a Gestão destes resíduos e dá outras providências. 2006.

SÃO CARLOS. **Lei nº 14.480 de 27 de maio de 2008**. Dispõe sobre a Política Municipal de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos e dá outras providências. 2008.

SINGH, N.; CRANAGE, D.; LEE, S. Green strategies for hotels: estimation of recycling benefits. **International Journal of Hospitality Management**, [S. l.], v. 43, p. 13–22, 2014.

SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de *et al.* Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem... **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 33–46, 2004.

TCPO. **TCPO - Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos**. 15. ed. São Paulo: PINI Editora, 2017. *E-book*.

TEO, M. M. M.; LOOSEMORE, M. A theory of waste behaviour in the construction industry. **Construction Management and Economics**, [S. l.], v. 19, n. 7, p. 741–751, 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01446190110067037>

UMAR, Usman Aminu *et al.* A review on adoption of novel techniques in construction waste management and policy. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, [S. l.], v. 19, p. 1361–1373, 2017.

UNNIKRISHNAN, S.; SINGH, A. Energy recovery in solid waste management through CDM in India and other countries. **Resources, Conservation & Recycling**, [S. l.], v. 54, p. 630–640, 2010.

WANG, J.; LI, Z.; TAM, V. W. Critical factors in effective construction waste minimization at the design stage: a Shenzhen case study, China. **Resources, Conservation & Recycling**, [S. l.], v. 82, p. 1–7, 2014.

WON, Jongsung; CHENG, Jack C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automation in Construction**, [S. l.], v. 79, p. 3–18, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.002>. Acesso em: 18 jun. 2020.

WON, Jongsung; CHENG, Jack C. P.; LEE, Ghang. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste Management**, [S. l.], v. 49, p. 170–180, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.026>. Acesso em: 21 maio. 2020.

YAZIGI, Walid. **A técnica de edificar**. São Paulo: Pini:SindusCon, 2009. v. 10 *E-book*.

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste Management**, [S. l.], v. 31, p. 670–679, 2011.