



Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

**Previsão da Geração de Resíduos na
Construção Civil por meio da Modelagem
BIM**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fabriccio de Almeida Oliveira

2019

Fabriccio de Almeida Oliveira

**Previsão da Geração de Resíduos na Construção Civil por
meio da Modelagem BIM**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués

Belém, 13 de dezembro de 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Fabriccio de Almeida Oliveira

TÍTULO: Previsão da Geração de Resíduos na Construção Civil por meio da Modelagem BIM.

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Fabriccio de Almeida Oliveira
Tv. Do Chaco pass. 27 de Abril n° 29.
Marco.
66.093-670 Belém – PA – Brasil.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D278p de Almeida Oliveira, Fabriccio.
Previsão da Geração de Resíduos na Construção Civil por meio
da Modelagem BIM / Fabriccio de Almeida Oliveira. — 2019.
102 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Mauricio Furtado Maués
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil, Belém, 2019.

1. Sustentabilidade. 2. RCC. 3. PGRCC. 4. Quantificação.
5. BIM. I. Título.

CDD 624



PREVISÃO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL POR MEIO DA MODELAGEM BIM

AUTOR:

FABRICCIO DE ALMEIDA OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 13 / 12 / 2019.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador (UFPA)

Profa. Dra. Débora de Góis Santos
Membro Externo (UFS)

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Fabriccio de Almeida Oliveira

Título

Previsão da Geração de Resíduos na Construção Civil por meio da Modelagem BIM

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Belém, 13 de dezembro de 2019.

Prof. Dr. Luiz Maurício Furtado Maués
Orientador
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Banca Examinadora

Profª. Dra. Débora de Gois Santos
Examinadora Externa
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Profº. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Examinador Interno
Faculdade de Engenharia Civil – UFPA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus e a minha família, em especial,

A minha mãe Carmen Barros.

A minha esposa Marilene Oliveira.

As minhas filhas Manuela e Fernanda.

Ao meu irmão Gilberto Junior.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por não deixar eu esquecer que Ele me habita e é a força que dá vida a minha alma.

Quero agradecer profundamente a minha mãe Carmen Barros de Almeida, mulher guerreira, que sempre está ao meu lado me incentivando, apoiando e ajudando a superar os obstáculos que a vida me apresenta.

A minha esposa Marilene Nunes Oliveira, por todo o apoio, paciência, incentivo, força e principalmente pelo carinho, amor e dedicação a nossa família.

Agradeço às minhas filhas Manuela e Fernanda que sempre me alegraram nos momentos de estresse e dificuldades nestes últimos anos.

Obrigado ao meu irmão Gilberto Junior, meu melhor amigo nesta vida e que nunca negou uma palavra de apoio.

Ao professor Luiz Maurício Furtado Maués, pela dedicação, paciência, acolhimento e principalmente pela confiança depositada em mim para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à UFPA, particularmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e a todos que contribuíram nesta etapa da minha formação.

À arquiteta Carolina Caldas Neves, pela contribuição no desenvolvimento da parte da modelagem utilizada neste trabalho.

Aos amigos Wylliam Santana, Felipe Moreira e Renato Seixas, pelo incentivo, pelas conversas e discussões ao longo desta jornada.

RESUMO

O crescimento da indústria da construção civil é de grande importância para a manutenção e sustentação da economia brasileira, contribuindo expressivamente com o Produto Interno Bruto (PIB) do país. No entanto, a indústria explora grande quantidade de recursos naturais e traz consigo ampla produção de resíduos, sendo os resíduos de construção civil (RCC) responsáveis por aproximadamente 50% dos resíduos sólidos urbanos produzidos no Brasil. Nesse cenário, a caracterização e a quantificação são vistas como fundamentais para o gerenciamento eficaz dos resíduos de construção civil (RCC). A tecnologia BIM (Building Information Modelling) desponta no setor como uma importante ferramenta, integrando o ciclo de vida das edificações e a avaliação da sustentabilidade e possibilitando melhor análise e controle da geração de resíduos na obra. Este trabalho tem como objetivo propor um modelo para estimar o RCC e o custo de disposição na fase de projeto, utilizando a tecnologia BIM. Para isso, utilizou-se de etapas como revisão sistemática da literatura (RSL), índices de perdas e métodos BIM de estimativa de RCC. Na primeira etapa da construção do modelo, foi realizada a modelagem do projeto em 3D. Na segunda etapa, foram levantados todos os quantitativos de materiais do projeto. Nas duas etapas finais, foram obtidas as estimativas por tipo e o custo de disposição dos RCCs. Os resultados das estimativas da habitação modelada revelaram que 10% dos RCCs pertencem à classe B e 90% à classe A. O material com o maior potencial de desperdício foi a argamassa, com 56% em relação à estimativa total. O custo de disposição apresentou o valor de R\$ 382,78 (trezentos e oitenta e dois reais e setenta e oito centavos). Como contribuição, a modelagem por meio da obtenção de dados estatísticos e indicadores possibilita ajudar os construtores na elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (PGRCC) em relação à caracterização, aperfeiçoando, desta forma, o planejamento e a redução do RCC.

Palavras-chave: Sustentabilidade. RCC. PGRCC. Quantificação. BIM.

ABSTRACT

Development of Construction Industry in Brazil is extremely important to the country's economy, as it is a sector that contributes significantly to Brazil's Gross Domestic Product (GDP). However, large consumption of raw material and the consequent waste generation have had a negative impact on environment, as this sector accounts for an estimate of 50% of urban solid waste produced in Brazil. Therefore, construction waste sorting and quantification are crucial for implementing efficient Construction Waste (CW) management policies. Building Information Modelling (BIM) technology has proved an important tool that enables the integration of buildings' lifecycle with sustainability appraisal, providing the means to monitor and control construction waste generation at the jobsite. In this paper, BIM technology is proposed to estimate, prior to actual building of a project, the expected volume of CW and respective disposal cost. Systematic Literature Review (SLR) provided relevant information on construction materials waste factors and BIM methods to estimate CW generation. First, a 3D model of the project was created. Next, construction materials were listed and quantified. Then an estimate of waste volume was obtained as per material type, along with disposal cost. BIM calculation for one sample dwelling revealed that 10% of CW is class B and 90% is class A. Mortar was found as the material with the highest waste rate, 56% of total waste volume estimate. Waste proper disposal cost for one dwelling was calculated at R\$ 382,78. BIM-based waste management will help contractors to improve CW planning and reduction and develop a Construction Waste Management Plan (CWMP), as legally required.

Keywords: Sustainability. CW. CWMP. Quantification. BIM.

...Eu não perdi o controle da tua vida, está tudo no meu tempo, não há nada atrasado. “Aquietai-vos e sabeis que eu sou DEUS”
(Salmo 46:10)

Sumário

Capítulo	Página
1. INTRODUÇÃO	177
1.1. Justificativa e problema de pesquisa	199
1.2. Questões da pesquisa.....	222
1.3. Objetivos	222
1.3.1. Objetivo Geral	222
1.3.2. Objetivos Específicos.....	233
1.4. Estrutura do Trabalho.....	233
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	244
2.1. Construção Sustentável	244
2.2. Gestão de Resíduos de Construção Civil	266
2.2.1 O Resíduos de Construção Civil.....	288
2.2.2 Classificação dos Resíduos de Construção Civil.....	299
2.2.3 Aspectos legais e normativos	31
2.2.4 Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC.....	34
2.2.5 A Importância da Quantificação de RCC.....	29
2.3. BIM na Construção Civil	43
2.3.1 Visão geral dos níveis de desenvolvimento BIM.....	477
2.3.2 Oportunidades BIM para resolver as limitações relacionadas ao processo e à tecnologia no gerenciamento e minimização de RCC.	511
2.3.3 Potencial BIM para a redução de resíduos de construção.....	588
3. MÉTODO DE PESQUISA	60
3.1. Pesquisa Científica	60
3.2. Desenvolvimento da Revisão Sistemática.....	652
3.3. Delineamento da pesquisa	675
3.4. ETAPA 1: Seleção dos índices de perdas	677
3.5. ETAPA 2: Métodos BIM de estimativa de RCC.....	70
Passo 1 – Escolha do projeto utilizado na modelagem	751
Passo 2 – Escolha do software para a realização da modelagem.....	753
Passo 3 – Um sistema integrado de classificação por tipo de RCC	753
3.6. ETAPA 3: Modelagem BIM - Estimativa e custo de disposição de RCCs	744
Passo 1 – Modelando o projeto adotado em 3D.....	755

Passo 2 – Levantamento quantitativo de materiais via <i>software</i>	766
Passo 3 – Estimativa de RCC por tipo	766
Passo 4 – Estimativa de custo de disposição do RCC.....	766
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	777
4.1. Resultados da Etapa 3	777
Passo 1 – Modelando o projeto adotado em 3D.....	777
Passo 2 – Levantamento quantitativo de materiais via <i>software</i> Revit®	799
Passo 3 – Estimativa de RCC por tipo	811
Passo 4 – Estimativa de custo de disposição do RCC.....	855
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	888
5.1. Principais Conclusões	888
5.2. Contribuições Metodológicas.....	899
5.3. Sugestões para Novas Pesquisas	899
REFERÊNCIA	90
APÊNDICE A – DADOS DA MODELAGEM.....	988

Lista de Tabelas

Tabela	Página
Tabela 2.1 – Índice de resíduos para a indústria de construção de Hong Kong.....	39
Tabela 2.2 – Resumo dos novos resíduos de construção gerados em um determinado local usando o método “Índice Global”	40
Tabela 2.3 - Folha detalhada do componente de construção de 1 m ² de fundação.....	41
Tabela 3.1 - Média dos índices de perdas dos materiais.....	74
Tabela 4.1 - Resumo do levantamento quantitativo de materiais.....	89
Tabela 4.2 - Resumo da estimativa de RCC por tipo.....	91
Tabela 4.3 - Conversão de materiais para (m ³).....	94
Tabela 4.4 – Resumo da estimativa de custo de disposição de RCC por tipo.....	95

Lista de Figuras

Figura	Página
Figura 2.1- Resíduos de forma de estoque	41
Figura 2.2 – Estrutura conceitual do uso atual do BIM	43
Figura 3.1 - Representação do modelo da RSL	61
Figura 3.2 - Delineamento da pesquisa	65
Figura 4.1 – Projeto Arquitetônico – sem escala.....	71
Figura 4.2 - Sistema Integrado de Classificação por Tipo de RCC.....	73
Figura 4.3 (a) - Projeto modelado em 3D.....	79
Figura 4.3 (b) - Corte modelado em 3D	77
Figura 4.4 - Levantamento quantitativo concreto viga e pilar.....	79
Figura 4.5 - Modelagem BIM para estimativa de RCC por tipo.....	81
Figura 4.6 - Porcentagem de RCC por classe.....	83
Figura 4.7 - Porcentagem de RCC por aterial.....	83
Figura 4.8 - Custo de disposição, viga de concreto.....	85

Lista de Quadros

Quadro	Página
Quadro 2.1 – Níveis de desenvolvimento BIM.....	50
Quadro 4.1 – Informações iniciais relacionadas aos Índices de RCC.....	67
Quadro 4.2 – Pesquisas relacionadas a estimativa de RCC utilizando a modelagem BIM.....	69

Lista de Abreviaturas e Siglas

Neste item são apresentados alguns dos símbolos utilizados nesta dissertação. Aqueles que não estão aqui apresentados têm seu significado explicado assim que mencionados ao longo do texto desta pesquisa.

Símbolo	Significado
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Architecture, Engineering & Construction
AECO	Architecture, Engineering, Construction and Operation
BCCA	Banco de Dados de Custo de Construção da Andaluzia
BIM	Building Information Model ou Modeling
BRE	Building Research Establishment
CERF	Civil Engineering Research Foundation
GEE	Gases de Efeito Estufa
GFA	Gross Floor Área
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NIBS	National Institute of Building Sciences
PGRS	Plano de Gerenciamento de Resíduos
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
RIBA	Royal Institute of British Architects
RCC	Resíduo de Construção Civil
SMARTWaste™	Site Methodology to Audit Reduced Target Waste
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UFPA	Universidade Federal do Pará
VUP	Vida Útil de Projeto

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, os temas sustentabilidade e meio ambiente vêm ocasionando grande interesse de chefes de estados, de organismos internacionais e de empresas de todos os portes, visando à maior conscientização da sociedade, no que diz respeito à necessidade do uso sustentável dos recursos naturais, não só em relação aos aspectos ambientais, mas inclusive no que diz respeito aos aspectos sociais e econômicos (SEBRAE, 2012). Com esse reconhecimento, os problemas com os Resíduos de Construção Civil (RCC) têm recebido atenção crescente de profissionais e pesquisadores de todo o mundo (LU; YUAN, 2011). No entanto, a quantidade de RCC ainda está crescendo continuamente e não é gerenciada de maneira eficaz na maioria dos países do mundo.

Os RCCs consistem em resíduos gerados durante o processo de uma nova construção, demolição e reforma de edifícios, estradas, pontes e outras instalações de infraestrutura. Em muitas regiões desenvolvidas, a quantidade de construções que envolvem serviços de demolição e reforma, bem como a quantidade de resíduos gerados, está crescendo rapidamente. Por exemplo, o valor bruto de obras de demolição e reforma superou o de novas obras em Hong Kong entre 2006 e 2008, de acordo com a pesquisa trimestral de Hong Kong sobre o produto de construção (CIC, 2011). Portanto, é vital que a indústria se esforce para reduzir e gerenciar efetivamente os RCCs com a finalidade de realizar uma gestão sustentável de resíduos.

Desta forma, a indústria da construção vem explorando e desenvolvendo abordagens para minimizar a geração de resíduos ao longo das etapas do ciclo de vida do projeto, empregando o projeto de construção sustentável e reduzindo o desperdício durante o processo de elaboração do projeto (IWARO *et al.*, 2014).

No Reino Unido, o *Green Overlay* é uma ferramenta importante e foi introduzida ao Plano de Trabalho do *Royal Institute of British Architects* (RIBA), para auxiliar arquitetos e partes interessadas do projeto a incorporar estratégias de sustentabilidade (por exemplo, eficiência energética e hídrica e redução de carbono e resíduos) na concepção de seus projetos (LIU *et al.*, 2015). No entanto, a minimização de resíduos de construção tem recebido pouca atenção desta ferramenta e, segundo Osmani (2013), não há ferramentas suficientes para a tomada de decisões voltadas à avaliação e à implementação eficaz da minimização de resíduos de construção ao longo dos estágios de desenvolvimento de um projeto.

Do mesmo modo, Cheng e Ma (2013) também mencionam em suas pesquisas, a falta de ferramentas disponíveis para estimativa de RCC. Para os autores, as ferramentas e os métodos existentes não são convenientes o suficiente para os contratantes estarem dispostos a utilizar sem gastar muito tempo e esforço, uma vez que informações como volume de material precisam ser medidas ou recuperadas manualmente dos documentos disponíveis. Segundo os mesmos autores, a modelagem de informações de construção, no entanto, oferece a oportunidade de preencher essa lacuna.

Embora muitas pesquisas tenham sido realizadas para melhorar os processos de gestão de resíduos e de minimização de RCC, ainda existem muitas limitações nesta área a serem vencidas, como a má qualidade do projeto, manipulação ineficiente de material, erros na aquisição e falta de planejamento na entrega de materiais (FORMOSO et al., 2002). A tomada de decisão inadequada e as mudanças inesperadas de projeto evidenciaram um aumento de 33% no volume de RCC no Reino Unido (WON; CHENG, 2017). Portanto, essas questões devem ser corrigidas ou eliminadas para uma gestão e minimização mais eficientes de RCC.

Já Yuan e Shen (2011) em seus estudos, afirmaram que a falta de *benchmarking* irá dificultar a implementação de práticas mais sustentáveis e inovadoras na indústria e a tomada de decisões deverá ser baseada em medições quantificadas e estimativas expressas em termos numéricos. Nesse contexto, a quantificação é vista como essencial para o gerenciamento eficaz de RCC. Os resultados das estimativas podem fornecer dados fundamentais para os profissionais avaliarem a quantidade dos resíduos e, assim, tomarem a decisão adequada para sua minimização e gestão sustentável (PETROV; MELEHIN; LIPOVSKII, 2012).

Desta forma, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), como tecnologias espaciais, tecnologias de identificação, aquisição de dados e tecnologias de comunicação de dados, podem aperfeiçoar a coleta de informações ou reduzir as falhas de concepção e gestão de projeto. Especialmente as tecnologias espaciais podem ser usadas para otimização de roteamento e agendamento, estimativa de geração de resíduos, desenvolvimento integrado do sistema de gerenciamento de resíduos, avaliação de risco e seleção de locais de descarte (HANNAN et al., 2015).

A modelagem de informações de construção BIM é uma das tecnologias espaciais, bem como tecnologias de comunicação de dados comumente usadas na indústria da AEC, e pode ser sistemática e eficientemente integrada com tecnologias de identificação e aquisição de dados.

De acordo com Eastman et al. (2011, p.13), o BIM é uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção.

Como os modelos BIM contêm uma riqueza de informações, como recursos de materiais e geometria, e podem ser integrados ao cronograma, informações de custos, quantitativos, etc., o BIM fornece planejamento e cronograma aprimorados e ajuda a garantir a chegada no tempo certo de mão de obra, equipamentos e materiais (EASTMAN et al.,2011).

O projeto de construção integrada por meio do BIM pode evitar problemas de mudança de projeto, melhorando a coordenação entre as partes interessadas do projeto, reduzindo a geração de RCC (WON; CHENG, 2017).

Os autores Ahankoob *et al.* (2012) e Liu *et al.* (2011) introduziram usos potenciais da tecnologia BIM para minimizar o desperdício de RCC. Pode-se também destacar a pesquisa realizada por Liu *et al.* (2015), em que foi proposta uma estrutura de tomada de decisão de projeto para melhorar o desempenho de minimização de resíduos de construção, o qual pode ser usado na fase de projetos de AEC. Esses estudos não consideraram todo o potencial de utilização do BIM nos processos de planejamento, projeto, construção e demolição.

Um melhor planejamento e gerenciamento da construção usando BIM pode reduzir significativamente a geração de RCC, evitando assim retrabalhos e manuseio desnecessário de materiais, promovendo a utilização eficiente de matérias-primas com base em medições precisas de materiais, *layout* e corte. Isso foi verificado por Porwal e Hewage (2012), que demonstraram redução nos resíduos do vergalhão em 1,6% com a implementação do BIM.

1.1. Justificativa e problema de pesquisa

A indústria da construção vem procurando desenvolver novas formas de evitar, minimizar, reutilizar, reciclar e manusear resíduos de construção civil (RCC). O relatório de construção para excelência do comitê de revisão da indústria da construção (TANG, 2001), recomendou que os resíduos de construção fossem minimizados na fonte. Isso significa que, se o objetivo for reduzir significativamente o nível de resíduos de construção, todos os envolvidos na indústria da Arquitetura Engenharia e Construção (AEC), devem considerar a redução de resíduos durante todo o ciclo de vida de um projeto.

Os problemas enfrentados com a produção de resíduos sólidos de construção e demolição são o desconhecimento dos volumes gerados e dos impactos que causam, os custos envolvidos e quais as possibilidades de reaproveitamento (PINTO, 1999). Sendo então a correta gestão destes resíduos o principal problema enfrentado pela maioria das cidades.

A quantificação da geração de RCC prova ser um pré-requisito para o controle de resíduos e fornece uma referência para a formulação de políticas adequadas que visem aprimorar a gestão de RCC (PARISI KERN *et al.*, 2015). Portanto, a previsão do volume potencial de RCC é essencial para configurar e implementar sistemas de gerenciamento de resíduos.

No Brasil, destaca-se o método proposto por Pinto (1999), para estimar a quantidade de resíduos gerados em municípios, e observa-se que um grande número de trabalhos realizaram estimativas de RCC baseados nesse método, tais como: os trabalhos de Sardá (2003), Marques (2007), Tessaro, Sá e Scremin (2012), entre outros.

Também se destaca o estudo realizado por Formoso *et al.* (2002), que teve como objetivo investigar as principais causas de geração e quantificação de perdas (dentre as quais os resíduos) em canteiro de obras. Em suma, esse trabalho conclui que a maioria das empresas pesquisadas desconhecia a magnitude das perdas em seu canteiro, o que implica na falta de transparência sobre o desempenho de seus sistemas de produção.

Dias (2013), por sua vez, investigou a influência do projeto em sistemas construtivos, analisando o índice de geração dos resíduos da construção civil por meio de modelo estatístico. Dentre as variáveis encontradas em sua pesquisa, as maiores influências na geração de resíduos estão relacionadas ao tipo/total de pavimentos; reaproveitamento de resíduos no canteiro; índice de compactação; sistema produtivo e área do pavimento tipo. Estas variáveis estão relacionadas diretamente à elaboração do projeto, portanto concluiu-se que a geração de resíduos na fase de produção da obra tem uma forte relação com o projeto da edificação (tipologia, coordenação modular), sistema construtivo (racionalização), gerenciamento (planejamento, controle, gestão), organização de canteiro e capacitação da mão de obra.

Leis e regulamentações rigorosas com aplicações firmes e bem fiscalizadas são uma das estratégias que contribuíram na redução da quantidade de resíduos gerados e na destinação final irregular em diversos países. Punições severas e o apoio da sociedade em exigir de empresas que atuem de maneira responsável com o meio ambiente possibilitaram que em países

como Bélgica, Japão, Holanda e Dinamarca, a reciclagem e o reaproveitamento fossem priorizados em suas agendas políticas. Já no Reino Unido, houve diminuição significativa da quantidade de resíduos de concreto gerados por meio da cobrança de taxas sobre a disposição. Esta ação incentivou usinas de concreto pré-misturado a controlar e reduzir o volume de resíduos (BUTTLER; CORREA; RAMALHO, 2009).

Segundo a resolução nº 307 (CONAMA, 2002), a segregação e destinação dos resíduos da construção civil é de obrigação do empreendedor, e o Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) deve ser elaborado anteriormente ao início das obras e executado durante toda a construção do empreendimento. O Relatório de Gerenciamento de Resíduos de Construção Civil (RGRCC) deve ser apresentado no final da obra como condicionante da Licença de Operação ou de Habitação.

Segundo Martins (2012), um bom planejamento dos empreendimentos, seguido por gerenciamento e controle adequados da obra, pressupõe separação dos RCC na fonte, ou seja, triagem por tipos durante os processos construtivos. Segundo a autora, a separação dos resíduos é fator essencial para viabilizar a implantação de práticas de reutilização e reciclagem, conforme diretrizes propostas pela Resolução CONAMA nº 307.

De acordo com Júnior (2005), a distinção dos tipos de RCC por classes, conforme classificação proposta pela Resolução CONAMA nº307, permitiu ressaltar a importância da segregação ou triagem dos resíduos nos locais de geração, assim como apresentar formas de acondicionamento diferenciadas para valorização desses resíduos. Assim, a possibilidade de reutilização de resíduos durante a execução dos empreendimentos depende do modo como os RCCs são triados, acondicionados e manejados nos canteiros.

Porém, no Brasil, ainda é incipiente a quantidade de empresas de construção civil que realizam gestão de resíduos em canteiro de obra e desenvolvem ações planejadas para redução da geração de resíduos. A segregação, acondicionamento e disposição final qualificada dos resíduos ainda não são realizados de forma adequada e integrada às atividades produtivas do canteiro de obra (BARRETO, 2005).

Nas usinas brasileiras de reciclagem em geral é comum a entrada de resíduos mistos, que costumam ser diferenciados por uma classificação visual básica entre cinzas (de maior composição cimentício e de concreto) e vermelhos (de maior composição cerâmica). Quando é

observada grande quantidade de materiais das classes B e C (CONAMA, 2002) a carga é rejeitada (BRUNO, 2016).

Em contrapartida, no exterior, o RCC é taxado na entrada da usina de reciclagem em faixas de preços proporcionais à heterogeneidade das fases, recebendo severa penalidade a presença de materiais contaminantes e indesejáveis, induzindo assim à máxima homogeneização da composição dos resíduos. Na Espanha, por exemplo, para ser considerado resíduo de concreto é necessário no mínimo 95% do volume deste material no resíduo, enquanto na Alemanha esse índice chega a 99%. Tal diferencial ocorre como resultado da coleta e Demolição Seletiva (LIMA, 2013).

O gerenciamento adequado dos RCC ainda encontra obstáculos pelo desconhecimento da natureza dos resíduos, pela ausência de cultura de separação e pela falta de informações sobre sua quantidade, entre outros. Dessa forma, conhecer e diagnosticar os resíduos gerados possibilitará o melhor encaminhamento para o plano de gestão e o gerenciamento dos RCC.

1.2. Questões da pesquisa

As principais questões que nortearam a pesquisa consistem em:

- 1) Quais os índices de perdas para os tipos de resíduos de construção civil (RCC) na indústria da construção civil?
- 2) Quais os principais métodos utilizados para estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC)?
- 3) É possível por meio da modelagem BIM estimar o volume de RCC por tipo nas etapas iniciais do projeto como também realizar uma previsão quanto ao seu custo de disposição?

1.3. Objetivos

Tendo em vista a problemática descrita e as questões de pesquisa apresentadas anteriormente, este trabalho possui os objetivos gerais e específicos descritos a seguir:

1.3.1. Objetivo Geral

Propor um modelo para estimar o RCC e o custo de disposição na fase de projeto utilizando a tecnologia BIM.

1.3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Selecionar indicadores de perdas associadas aos resíduos de construção civil (RCC) na indústria da construção civil.
- Levantar os métodos de utilização do BIM com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC).
- Realizar via modelagem BIM a caracterização para estimar os RCCs (volume de RCC estimado por classe, tipo e etapa da obra) conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC) e prevê o custo de sua deposição de um estudo de caso.

1.4. Estrutura do Trabalho

Este trabalho apresenta sua estrutura constituída de cinco capítulos, além das referências bibliográficas.

O capítulo 1 apresenta a introdução, na qual é realizada a apresentação do objeto de estudo, justificativa e questões da pesquisa, os objetivos do trabalho divididos em geral e específicos e a estrutura do trabalho.

No capítulo 2 apresenta-se a revisão conceitual sobre Construção Sustentável, Gestão de Resíduos de Construção Civil além da revisão sobre o BIM na Construção Civil.

O capítulo 3 aborda o delineamento da pesquisa e a metodologia utilizada neste trabalho.

No capítulo 4 são realizadas a apresentação e a discussão dos resultados obtidos com a criação da modelagem BIM para a quantificação de RCC por tipo.

No capítulo 5 são apresentadas as principais conclusões gerais do trabalho, contribuições metodológicas assim como as sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo destina-se a um aprofundamento teórico sobre os seguintes assuntos: construção sustentável, gestão de resíduos de construção civil e BIM na construção civil.

2.1. Construção Sustentável

A mudança climática é hoje reconhecidamente um grande problema enfrentado pela humanidade (HUISINGH *et al.*, 2015). Governos de todo o mundo têm lutado para equilibrar o crescimento econômico com seus efeitos negativos sobre o meio ambiente, tanto no mundo desenvolvido quanto no mundo em desenvolvimento (LEWIS; CONATY, 2012).

A população mundial está se urbanizando rapidamente, com previsão de atingir 70% do total até 2050 (UNEP 2014; ANNUAL REPORT, 2015). O progresso da economia e da sociedade de uma nação tem relação próxima com a indústria da construção. Cerca de 380 milhões de toneladas de materiais e recursos são consumidos anualmente pela indústria da construção no Reino Unido (BRE, 2012). A indústria também gera mais de 100 milhões de toneladas de resíduos por ano, sendo que esse número inclui aproximadamente 13 milhões de toneladas de materiais não utilizados (LIU *et al.*, 2011).

Além disso, Rockstrom *et al.* (2009) concluíram que as atividades humanas atuais transgrediram muitos dos limites planetários. A construção tem impactos específicos por meio de: emissões de carbono; alterações climáticas; geração de resíduos; mudança de uso da terra; e perda de biodiversidade. Isso coloca uma questão crítica sobre quais são os limites dos sistemas biofísicos da Terra, antes que as atividades humanas danifiquem irreversivelmente a biosfera. Portanto, é vital que a indústria de arquitetura, engenharia e construção empreenda esforços para reduzir e gerenciar os RCC de forma mais eficaz (CHENG; MA, 2013).

A quantidade de resíduos gerados nos processos de construção, reforma e demolição é enorme. Os resíduos de construção representaram 26% dos resíduos sólidos nos Estados Unidos em 2007 (USEPD, 2019), e 48% dos resíduos sólidos na Coreia do Sul em 2013 (MINISTRY OF ENVIRONMENT OF THE REPUBLIC OF KOREA 2014, 2018). Esses resultados lamentavelmente demonstram um descaso sobre a visão de sustentabilidade apresentada pela Comissão Brundtland (BRUNDTLAND, 1987).

A Brundtland (1987, p.1) definiu sustentabilidade como “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades”. Sua base está fundamentada em três princípios, identificados pela Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Social (UN, 2000). Estes são geralmente referidos como os pilares da sustentabilidade, a saber:

- Ambiental: Proteção e restauração de recursos naturais, habitats e ecossistemas;
- Social: Responsabilidade social ética e promoção da igualdade, bem-estar e justiça social;
- Econômico: Distribuição equitativa e justa dos recursos econômicos.

Kibert (1994, p.1), por sua vez, definiu a construção sustentável como “criação e gestão de um ambiente construído saudável, seguindo princípios ecológicos e o uso eficiente de recursos”. A construção sustentável tem sido geralmente descrita como um processo que começa antes da construção em si (nas fases de planejamento e projeto) e continua depois que a equipe de construção deixa o local (HILL; BOWEN, 1997).

Wolstenholme, A. *et al* (2009), enfatizaram que a indústria da construção deve ser modernizada com a adoção de práticas de construção eficientes, integradas, inovadoras e sustentáveis. Aumentar a conscientização sobre sustentabilidade no início de um projeto é altamente encorajado para otimizar o potencial de determinar o curso do empreendimento.

Foram exigidas das nações estratégias, com a intenção de intensificar o compromisso global para atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável. Ações específicas já foram recomendadas, levando à criação de legislação mais severa e à regulamentação de setores que podem efetivamente contribuir para a consecução desses objetivos. A indústria da construção é um desses setores, devido à sua influência direta no consumo intenso de recursos naturais, bem como nos impactos ambientais e humanos (HILL; BOWEN, 1997).

Várias estratégias direcionadas à implementação da construção sustentável surgiram nas últimas duas décadas. As principais recomendações para a indústria da construção evoluir para práticas sustentáveis incluem: aumento da lucratividade e competitividade; garantir a satisfação e o bem-estar do usuário; respeito pelas pessoas; proteger o ambiente natural; e reduções na dependência de energia não renovável e recursos naturais (MAHAMADU; BAFFOUR AWUAH; BOOTH, 2016). A consecução desses objetivos requer uma verdadeira

revolução na maneira em que a construção é gerenciada e entregue. A necessidade de tais abordagens sustentáveis resulta dos seguintes fatores:

- a) Maior conscientização: O aquecimento global é agora bem reconhecido, especialmente após os esforços globais em direção à redução das emissões de gases de efeito estufa, desde o acordo sobre o Protocolo de Kyoto (HILL; BOWEN, 1997);
- b) Legislação e regulamentação: Políticas mundiais notáveis dentro da União Europeia e em certa medida dos Estados Unidos, promoveram a incorporação de práticas sustentáveis na indústria da construção, sendo o foco principal a redução do desperdício, reciclagem de material e abastecimento responsável (ZHAO *et al.*, 2012).
- c) Demanda por práticas sustentáveis: A crescente conscientização e a legislação levaram ao aumento da demanda por práticas sustentáveis de construção. Isso inclui esforços de instituições profissionais para aumentar a conscientização e a competência dos membros por meio de publicações de documentos sobre políticas e guias de melhores práticas. Isso também contribuiu para a evolução de padrões, critérios e esquemas particulares para avaliar e certificar processos e produtos de construção (DICKIE; HOWARD, 2000).

Lowe (2003) destaca que embora o reconhecimento da necessidade de construção sustentável tenha surgido globalmente, a demanda ainda é baixa ou até mesmo incipiente devido à falta de consciência, equívocos do que é necessário e o que implica e, mais importante, as barreiras econômicas que impedem as partes interessadas e contratadas de adotarem a construção sustentável.

Portanto, é necessário que sejam estabelecidos mais esforços em conceitos, princípios e técnicas comuns relativos à construção sustentável e encorajar empresas e profissionais individuais a tornar suas atividades sustentáveis (OFORI, 1998).

2.2. Gestão de Resíduos de Construção Civil

De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), a análise do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil no 3º trimestre de 2019 indicou um crescimento de 1,2% da economia brasileira em relação ao mesmo trimestre do ano anterior. Nesta base de comparação, a construção civil foi o setor que registrou o maior incremento, com 4,4%, a segunda alta da atividade após cinco anos consecutivos de queda. Em relação a geração de

emprego, o saldo líquido de contratações foi de 841 mil no acumulado do ano de 2019, sendo que a construção civil foi responsável por 124 mil delas (CBIC, 2019).

E segundo Fraga (2006), a cadeia produtiva do setor da construção civil é uma das maiores economias e conseqüentemente é uma das atividades que causam o maior impacto ambiental. O autor também afirma que a construção civil é a principal consumidora de matéria-prima da economia brasileira, sendo um dos setores que mais geram resíduos.

O aumento da geração dos RCC gerados pela sociedade urbana têm-se convertido num problema de difícil solução para as entidades governamentais e municipais. Estes resíduos, conforme Costa (2010), representam aproximadamente 20% a 30% do volume de resíduos sólidos gerados pelas cidades dos países mais desenvolvidos e, muitas vezes, esse potencial pode chegar a mais de 50% do total de resíduos sólidos produzidos. E segundo Pinto (1999) nas cidades brasileiras de médio e grande porte, os resíduos provenientes de construções representam 40% a 70% da massa total dos resíduos sólidos urbanos.

Diante disso, Pinto (1999) define a Gestão dos Resíduos Sólidos da Construção e da Demolição como sendo um processo composto por ações que promovem uma nova roupagem ao serviço público, pois este passa a promover a captação máxima dos resíduos gerados, por meio da constituição de redes de áreas de atração diferenciadas para pequenos e grandes geradores; reciclagem dos resíduos captados em áreas de disposição irregular; alteração de procedimentos e culturas no tocante à intensidade da geração, à correção da coleta e disposição e às possibilidades de reutilização dos resíduos reciclados.

Já os autores Maria, Branco e Barreto (2005), concebem a Gestão dos RCCs como o estabelecimento de diretrizes, critérios e procedimentos por parte dos municípios que sejam capazes de desenvolver ações que visem minimizar os impactos ambientais gerados por estes resíduos e que proporcionem benefícios de ordem social, econômica e ambiental aos municípios.

Por sua vez, Galbiati (2005) define a Gestão de Resíduos Sólidos como a adoção de modelos e sistemas integrados que possibilitem a redução dos resíduos gerados pela população, por meio da implantação de programas que permitam a reutilização desse material como matéria-prima em outros processos e, por conseguinte, a geração de renda.

Santos (2008) afirma que um modelo de Gestão dos RCCs deve ser composto por instrumentos legais e por um plano de diretrizes do município, os quais devem levar em

consideração a organização, a orientação do setor quanto à melhor destinação destes resíduos e à melhor forma para reciclar e reaproveitá-los, de acordo com as peculiaridades dos municípios.

Um fator que contribuiu sensivelmente para intensificar a preocupação sobre gestão eficiente dos RCCs nos municípios brasileiros foi a criação da resolução nº 307, de julho de 2002 pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA.

Segundo a resolução 307 do CONAMA (2002), a gestão integrada de resíduos sólidos é definida como um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Esta resolução estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para que a gestão dos RCCs seja adotada pelos Municípios e o Distrito Federal. O ART. 5º desta resolução cita que a implementação da gestão dos resíduos sólidos da construção e da demolição ocorre por meio da elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção e Demolição pelos Municípios e pelo Distrito Federal, o qual deverá incorporar: Programa Municipal de Gerenciamento destes resíduos e Projetos de Gerenciamento dos RCCs. Vale ressaltar a importância de os gestores dos municípios brasileiros fazerem uso deste instrumento de Gestão de Resíduos Sólidos da Construção e da Demolição (GRCC) para que consigam promover a gestão eficiente dos RCCs, diminuindo assim os impactos ambientais causados nos municípios do Brasil pela falta desta gestão.

De acordo com as definições citadas, pode-se conceber a gestão de Resíduos Sólidos da Construção Civil (RCCs) como um processo constituído por uma configuração administrativa funcional, por ações articuladas com a participação dos agentes envolvidos no processo de geração destes resíduos e do poder público, e por diretrizes gerais que estabelecem as políticas e regulamentam a triagem dos RCCs, a disposição final, a reciclagem e a reutilização dos mesmos após passar pela triagem e reciclagem.

2.2.1 O Resíduos de Construção Civil

Conforme Philippi Jr. (2005), está associado ao cotidiano do ser humano produzir resíduos e é difícil imaginar um modo de vida sem essa geração. Face ao contínuo crescimento populacional e sua concentração cada vez maior nos centros urbanos e o modo de vida baseado no consumo cada vez mais rápido de bens, os problemas acarretados pelos resíduos tendem cada vez mais a tornarem-se visíveis e preocupantes.

Boa parte dos processos construtivos no Brasil são essencialmente manuais e a execução se dá praticamente nos canteiros de obras. Os RCCs além de serem potencialmente degradadores do meio ambiente também causam problemas de logística e prejuízos financeiros (NAGALLI, 2014).

Segundo Souza *et al.* (2004), os resíduos de construção representam uma das parcelas do excesso de consumo de materiais nos canteiros de obras. Ao se comparar a quantidade de material teoricamente necessária com a quantidade realmente utilizada, determinam-se as perdas de materiais. Essa quantidade de material utilizada em excesso pode acontecer sob a forma de entulho e consiste no “lixo que sai”, ou seja, é a parcela mais visível das perdas de materiais. Conforme Marques Neto e Schalch (2010), a questão dos RCCs tem sido amplamente discutida no Brasil, em virtude da alta taxa de geração, representando cerca de 51% a 70% dos resíduos sólidos urbanos coletados.

De acordo com Blumenschein (2007), para se compreender o mecanismo da geração de resíduos, é necessário que se analise o processo construtivo de edificações ou de obras de infraestruturas. O mesmo autor ainda aponta os fatores que mais influenciam na geração de resíduos, tais como: a escolha da tecnologia (que influenciará na maior ou menor geração de perdas); falhas de projeto; a não compatibilização de projetos; a falta de procedimentos padronizados de serviços e o armazenamento e transporte inadequados de materiais no canteiro.

Para Baniyas *et al.* (2011), o volume de RCC causa grande preocupação por ser o maior dentre todos os resíduos gerados em áreas urbanas. Para reduzir esses impactos negativos é imprescindível compreender como são gerados os RCCs e como realizar seu gerenciamento com eficiência (YUAN *et al.*, 2011).

2.2.3 Classificação dos Resíduos de Construção Civil

Os resíduos de construção civil não permitem um padrão de estudo mundial sobre a composição, devido à heterogeneidade dos materiais que compõem a classe. Portanto, não é possível generalizar os RCCs como se fossem apenas um tipo de material, mas sim classificá-los e destiná-los corretamente.

O RCC possui características bastante peculiares por ser produzido num setor onde há uma gama muito grande de diferentes técnicas e metodologias de produção. Características como quantidade produzida e composição dependem diretamente do estágio de

desenvolvimento da indústria local de construção, qualidade da mão de obra, técnicas construtivas utilizadas e adoção de programas de qualidade (KARPINSKI et al., 2009).

A classificação destes resíduos é determinada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) por meio da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002 (BRASIL, 2002). Esta resolução sofreu algumas modificações com o passar dos anos como, por exemplo, o gesso, alterado da classe C para a classe B, deste modo, a classificação dos RCCs é dividida em quatro grupos, sendo eles:

- 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 - Compreendendo os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papelão, metais, vidros, papel, madeiras, gesso, entre outros;
- Classe C - São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam sua reciclagem ou recuperação como, por exemplo, vidros, espelhos, telhas termoacústicas;
- Classe D - Sendo os resíduos perigosos, tais como tintas, solventes, óleos, amianto, entre outros, ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde.

De acordo com a classificação da (ABNT, 2004) os RCCs se enquadram na classe II B – Resíduos Inertes, e são definidos como quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

Conforme Degani (2003), o entulho classe A da CONAMA 307/2002 (argamassa, tijolo, telha, cerâmica, concreto e solo de escavação) é caracterizado como resíduo Classe II B.

No entanto, no Brasil é comum depositarem resíduos domiciliares em caçambas estacionárias, assim, muitas vezes, o material coletado não é constituído apenas por resíduo Classe II B (DEGANI, 2003).

Para Schalch e Córdoba (2009), é evidente a preocupação atual com administração e destinação final dos resíduos provenientes da construção civil, no entanto, o ideal seria a redução dos RCC na fonte geradora. O setor da construção civil, embora utilize grandes quantidades de recursos naturais não renováveis, possui amplo potencial para reutilizar os resíduos gerados nos canteiros de obras por meio da incorporação dos rejeitos na confecção de novos materiais construtivos (SANTOS *et al.*, 2011).

Desse modo, é imprescindível que construções de grande porte evitem a geração de resíduos, adotando uma postura de redução no canteiro de obras. No entanto, em casos onde a geração se torna inevitável, deve-se priorizar a redução ou reciclagem dos mesmos, visando ainda à sua correta destinação final (TESSARO; SÁ; SCREMIN, 2012).

2.2.2 Aspectos legais e normativos

Considerando que os resíduos da construção civil representam um significativo percentual dos resíduos sólidos produzidos nas áreas urbanas dos municípios, a resolução CONAMA nº 307/02 surge para estabelecer diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos RCCs, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais (BRASIL, 2002).

Esta resolução surgiu em 05 de julho 2002, por meio do Conselho Nacional do Meio Ambiente, mas somente entrou em vigor a partir de 02 de janeiro de 2003. Somente após esta publicação, o país iniciou uma mudança mais enérgica em sua cultura com relação ao tratamento dos resíduos da construção dentro dos canteiros de obras.

A resolução deixa claro que a gestão dos RCCs é um dos desafios ambientais fundamentais para o futuro da indústria da construção civil. Desta forma, mostra-se necessário e em caráter de urgência adotar providências que minimizem a produção desses resíduos e que procurem a reutilização, reciclagem ou regeneração daqueles cuja produção seja inevitável.

Em seu artigo 1º, estão definidas as características dos principais elementos que compõem o processo produtivo, que são: Geradores, Transportadores, Gerenciamento de

Resíduos, Áreas de Destinação de Resíduos, Aterro de Resíduos da Construção Civil, Agregado Reciclado, Reutilização, Reciclagem e Beneficiamento (BRASIL, 2002).

A Resolução CONAMA 307/2002 em seu Artigo 2º define que, os geradores são todas as pessoas jurídicas ou físicas, públicas ou privadas, que são responsáveis pelas atividades e empreendimentos que gerem resíduos da construção civil. Estes podem ser classificados, como:

- Pequenos geradores: geram até 5 m³ de resíduos;
- Grandes geradores: geram mais de 5 m³ de resíduos.

Em seu Artigo 5º, os municípios são declarados responsáveis pela elaboração do Plano Integrado de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PIGRCC), o qual deve incorporar o Programa Municipal de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PMGRCC) e o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) (BRASIL, 2002).

O PIGRCC deve conter informações relativas ao cadastramento de áreas públicas ou privadas, dispostas para o recebimento, triagem e armazenamento temporário de pequenos volumes, possibilitando a captação dos resíduos dos pequenos geradores e posterior destinação às áreas de beneficiamento. Também irá estabelecer informações de licenciamento de áreas de beneficiamento e disposição final de resíduos, proibir a disposição em áreas não licenciadas e orientar, fiscalizar e controlar os agentes envolvidos (BRASIL, 2002).

Fica também estabelecido que os municípios são os responsáveis pelo desenvolvimento do PMGRCC. Eles devem elaborar, implementar e coordenar diretrizes técnicas para o exercício das responsabilidades dos pequenos geradores, de acordo com o sistema de limpeza urbano local.

Por fim, o PGRCC deverá ser elaborado pelos grandes geradores em seus canteiros de obras e devem estabelecer procedimentos necessários para o manejo e destinação ambientalmente adequada dos resíduos (BRASIL, 2002).

Nos últimos anos, a Resolução CONAMA 307/2002 passou por quatro revisões até a versão atual. A primeira revisão ocorreu em 16 de agosto de 2004, sendo alterado o inciso IV do Artigo 3º, por meio da Resolução CONAMA 348. Com esta mudança, os resíduos de Classe D passaram a ser definidos como 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 (BRASIL, 2004).

A segunda revisão ocorreu em 24 de maio de 2011, sendo alterados os incisos II e III do Artigo 3º por meio da Resolução CONAMA 431. Foi considerado que os resíduos provenientes do gesso não seriam mais classificados como resíduos da Classe C, mas sim pertencentes à Classe B, resíduos recicláveis para outra destinação (BRASIL, 2011).

Em 18 de janeiro de 2012 a Resolução CONAMA 307 sofreu a sua terceira revisão, surgindo a Resolução CONAMA 448. Na ocasião, foram alterados os Artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º, além da revogação dos Artigos 7º, 12º e 13º (BRASIL, 2012). Esta revisão se realizou considerando a necessidade de adequação da Resolução CONAMA 307/2012 ao disposto na Lei Federal nº 12.305, que institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).

Por último, em 30 de julho de 2015, a Resolução nº 469 sofreu a sua quarta alteração, passando a incluir na Classe B embalagens vazias de tintas imobiliárias, considerando que estas apresentem apenas filme seco de tinta dentro do recipiente, bem como a submissão de embalagens com tinta líquida ao sistema de logística reversa de acordo com a PNRS.

Após essas revisões, o PIGRCC foi alterado, passando a ser denominado de Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil. Desta forma, o PIGRCC e o PMGRCC se tornaram um único instrumento, o Plano Municipal de Gestão de Resíduos da Construção Civil.

Foram mantidas as suas diretrizes e responsabilidades quanto ao Município e Pequenos Geradores. Além disso, este novo Plano deve estar em consonância com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos; este último previsto pela Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010). Já o PGRCC passa a ser denominado de Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil, porém preservando as suas diretrizes e responsabilidades quanto aos Grandes Geradores.

A implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada pela Lei nº 12.305, de 2010 e regulamentada pelo Decreto nº 7.404, de 2010, representa o maior avanço em relação à gestão de resíduos sólidos no país. Na lei são considerados importantes princípios como, por exemplo: do “poluidor-pagador”; do desenvolvimento sustentável; da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; do reconhecimento do resíduo

sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania; do respeito às diversidades locais e regionais; e o direito da sociedade à informação e ao controle social (BRASIL, 2010).

Destacam-se ainda as normativas técnicas instituídas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), as quais estabelecem normas específicas aos projetos, implantação e gestão de resíduos (ABNT, 2004):

- NBR 10.004/2004: Resíduos sólidos – classificação;
- NBR 15.112/2004: RCC e resíduos volumosos - áreas de transbordo e triagem (diretrizes para projetos, implantação e operação);
- NBR 15.113/2004: RCC e resíduos inertes - aterros (diretrizes para projetos, implantação e operação).
- NBR 15.114/2004: RCC - áreas para reciclagem (diretrizes para projetos, implantação e operação).
- NBR 15.115/2004: Agregados reciclados de RCC - execução de camada de pavimentação (procedimentos).
- NBR 15.116/2004: Agregados reciclados de RCC - utilização em pavimentação e preparo de concreto sem função estrutural (requisitos).

2.2.4 Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil – PGRCC

O 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 (BRASIL, 2002).

Segundo Nagalli (2014, p. 59), “gerenciar resíduos para a sustentabilidade não é simples”. Praticamente todas as atividades desenvolvidas no setor da construção civil são geradoras de RCC.

A Resolução CONAMA nº 307 traz a seguinte orientação em seu artigo 4º: “Os geradores deverão ter como objetivo prioritário a não geração de resíduos e, secundariamente, a redução, a reutilização, a reciclagem, o tratamento dos resíduos sólidos e a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos” (BRASIL, 2002).

Por sua vez, e em acordo com a Resolução CONAMA nº 307, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, 2010) regulamenta em seu artigo 9º que “no gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”.

Para Júnior (2005), é muito importante ressaltar que a gestão dos resíduos deve ser iniciada na fase de concepção do empreendimento, possibilitando assim maior interface entre os projetos, os processos construtivos, o gerenciamento e o manejo do RCC. O autor também ressalta que, dentre as diretrizes a serem alcançadas pelo setor da construção civil com o gerenciamento e o manejo do RCC, em ordem de prioridades, deve-se:

- Reduzir o desperdício e o volume de resíduos gerados;
- Segregar os resíduos por classe e tipo;
- Reutilizar materiais, elementos e componentes que não requeiram transformações, e;
- Reciclar resíduos, transformando em matéria-prima para a produção de novos produtos.

Dentre as vantagens da redução da geração dos resíduos, têm-se:

- Diminuição do custo de produção;
- Diminuição da quantidade de recursos naturais e energia;
- Diminuição dos impactos no meio ambiente;
- Diminuição dos gastos com a gestão dos resíduos.

Blumenschein (2007) considera que a gestão responsável dos resíduos gerados em canteiros de obras requer a compreensão das complexidades do processo de construção e das dificuldades em combinar as formas de disposição dos resíduos.

Entre as complexidades e os desafios do gerenciamento dos resíduos sólidos gerados em canteiros de obras, citam-se:

- O volume do resíduo produzido, que justifica todo o esforço para a redução de sua geração;
- O número de participantes no processo construtivo, que torna falho o controle do fluxo de informação;
- O número de agentes do setor produtivo, setor público e terceiro setor que compartilham a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos, quando o setor público não

cumprir com a sua responsabilidade, enfraquece as ações e os esforços do setor produtivo e do terceiro setor;

- Os recursos escassos para financiamento de projetos de pesquisa de novos materiais produzidos pela reciclagem de resíduos;
- Os recursos escassos dos municípios para enfrentarem os problemas de gestão ambiental;
- O potencial de reciclagem (desperdiçado) dos resíduos sólidos oriundos do processo construtivo, em torno de 80% dos resíduos de uma caçamba são recicláveis;
- A necessidade e responsabilidade do setor público de instituir instrumentos que controlem e estimulem a gestão dos resíduos gerados em canteiros de obras;
- A responsabilidade e o compromisso do setor produtivo em cumprir as legislações referentes ao tema.

Em vigor desde janeiro de 2003, a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) obriga o gerador a elaborar o Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC) para cada empreendimento. Posteriormente, em 2010, a publicação da Lei Federal nº 12.305 - Política Nacional dos Resíduos Sólidos, em seu Art. 20, veio reforçar a responsabilidade e a obrigatoriedade pela elaboração do Plano de Gerenciamento para as empresas de construção civil, que devem implantá-los nos canteiros das obras nos termos do regulamento ou de normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA).

O PGRCC deve considerar as atividades que vão ser desenvolvidas dentro dos canteiros de obras, associadas diretamente com a redução, manejo e destinação final dos resíduos. Já para as demais atividades pertencentes ao PGRCC, o art. nº 9º da Resolução CONAMA nº 307 e alterações (BRASIL, 2002) preconiza que o PGRCC deve contemplar a caracterização, triagem, acondicionamento, transporte e destinação dos resíduos. Para Lima e Lima (2009), estas atividades são definidas da seguinte forma:

- Caracterização: Identificar e quantificar todo resíduo gerado pela obra, objetivando planejar qualitativa e quantitativamente sua redução, reutilização e reciclagem. É importante que a caracterização dos resíduos gerados seja feita ao longo das etapas da obra, onde ao final se obtêm dados estatísticos e indicadores que ajudam no planejamento e na redução dos resíduos nas construções. Essa etapa deve ser auxiliada

pela classificação de resíduos, apontada na Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002);

- Triagem ou segregação: Trata-se da separação dos resíduos, preferencialmente nos locais de origem, de forma a evitar sua contaminação e viabilizar processos de reutilização e reciclagem;
- Transporte interno: Prevê o transporte interno dos resíduos até os locais de acondicionamento, o qual geralmente é realizado por guinchos, gruas, elevadores de carga ou carrinhos de mão;
- Acondicionamento: Passada a etapa de segregação, os resíduos devem ser acondicionados em recipientes apropriados até serem transportados ao local de destinação final. Os dispositivos de armazenamento mais utilizados são baias, bombonas, bags e caçambas, as quais devem ser sinalizadas, indicando o tipo de resíduo a ser acondicionado;
- Transporte externo: O transporte dos resíduos dos canteiros de obras deve ser realizado por empresas licenciadas, as quais geralmente utilizam caminhões com equipamento poliguindaste ou caminhões com caçamba basculante, devendo ser cobertos com lonas para evitar derramamento em vias públicas. A obra deve ter o controle desta ação por meio de uma ficha contendo dados do gerador, quantidade e tipo de resíduo, dados do transportador e local de disposição final dos resíduos. Este controle é importante para a sistematização das informações da geração de resíduos da obra;
- Destinação dos resíduos: A destinação deve ser feita em função do tipo de resíduo. O de Classe A deve ser encaminhado para as áreas de transbordo e triagem, centrais de reciclagem ou aterros da construção civil. O de Classe B pode ser comercializado com empresas, cooperativas ou associações de coleta seletiva, ou até ser usado como combustível para fornos e caldeiras. Já os de Classe C e D devem contemplar o envolvimento dos fornecedores para proceder à corresponsabilidade de sua destinação.

Neste sentido, cabe ressaltar que a adoção de metodologias de gestão dos RCCs no canteiro de obra é um meio para conquistar melhores desempenhos em relação ao adequado manejo dos resíduos e sua correta destinação. Este é um passo inicial para que o resíduo da construção civil deixe de se tornar um agente negativo para a sociedade, a economia e o meio ambiente dos centros urbanos.

2.2.5 A Importância da Quantificação de RCC

A quantificação dos diferentes resíduos provenientes de atividades da construção civil é uma ferramenta significativa para promover o gerenciamento de resíduos de forma eficaz. Sendo usada para prever a quantidade aproximada de resíduo que um projeto gerará, antes de ser executado, a quantificação se torna ainda mais importante e se alia ainda mais ao gerenciamento de RCC (LU *et al.*, 2011; WU *et al.*, 2014).

De acordo com os autores Hobbs, Adams e Blackwell (2011) e Lage *et al.* (2010), o primeiro passo em qualquer esforço de minimização de resíduos é a capacidade de prever o montante de resíduos a ser gerado.

A quantificação, a medição e a previsão dos resíduos são uma área de gestão de resíduos que tem recebido a atenção dos pesquisadores ao longo dos anos (Adjei, 2016) e esses itens tornam-se ferramentas cruciais para a tomada de decisões no âmbito ambiental e econômico, e tais decisões se tomam progressivamente baseadas em dados quantitativos bem fundamentados para cada atividade em uma construção (JALALI, 2007).

Uma previsão eficiente do volume de resíduos permite não só o controle dos resíduos gerados, mas também maior eficiência na gestão dos canteiros de obra (SOLÍS-GUZMÁN *et al.*, 2009).

Diversos autores em diferentes países buscam implementar metodologias mais precisas para quantificar e usar tais informações nas estratégias de gerenciamento dos RCC. A seguir, são apresentados métodos típicos e suas limitações para a estimativa de RCC.

a) Estimativa baseada em área construída

Poon *et al.* (2001) introduziram o método de “Índice de Resíduos” para estimar a quantidade total de novos resíduos de construção em um projeto. O “Índice de Resíduos” foi definido como a quantidade (em unidade de volume ou peso) de resíduos de construção gerados por m² de Área Bruta (GFA) ou área de atividade. A Tabela 2.1 apresenta os índices de resíduos para a indústria de construção de Hong Kong.

Tabela 2.1 – Índice de resíduos para a indústria de construção de Hong Kong

Projeto	Índice de resíduos de construção (m ³ / m ² GFA)
Residencial público	0,175
Residencial privado	0,25
Escritório comercial	0,2

Fonte: Poon *et al.* (2001).

b) Estimativa baseada por índice global

Sugerida por Jalali (2007), o “Índice Global” fornece o indicador necessário para determinado tipo de edifício que pode ser usado para projetos futuros semelhantes e facilita a estimativa geral de resíduos em quantidade unitária e área de atividade, ver Tabela 2.2. Os resultados gerados são categorizados por tipos de resíduos de materiais. Portanto, é relativamente mais engenhoso e específico do que o índice de resíduos de Poon *et al.* (2001). No entanto, sua estimativa ainda gera informações de resíduos de uma maneira geral e o banco de dados de índices global que eles configuram requer atualização contínua.

Tabela 2.2 – Resumo dos novos resíduos de construção gerados em um determinado local usando o método “Índice Global”.

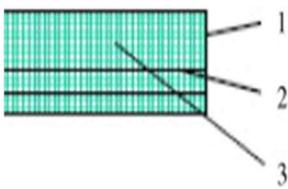
Tipo de resíduo	Quantidade (m ³)	Quantidade (toneladas)	Densidade (toneladas / m ³)
Madeira	1,4	0,22	0,15
Folha	0	0	-
Metal	0,6	0,12	0,2
Concreto	176	0,04	-
Resíduos de construção mista	1215	194	0,25
Resíduos perigosos	0	0,02	-
Embalagem de papel	73	0,15	0,02
Pacote de plástico	58	0,09	0,02
Outras embalagens	0	0	-
Outras	1800	30.600	170
Total	3184	30.858	

Fonte: Jalali (2007).

c) Estimativa baseada nos componentes de um edifício

Jalali (2007) introduziu uma abordagem de “Índice de Componentes” que estima a quantidade de RCC com base no tipo e na quantidade de componentes de construção em uma instalação de construção. Um componente de construção é definido como a unidade mínima que pode ser considerada como uma parte específica e independente da construção para coleta de dados e quantificação de resíduos. Exemplos de componentes de construção especificados em Jalali (2007) são 1 m² de fundação e 1 m² de telhado (Tabela 2.3). Para cada componente de construção, um “índice de componentes” é usado para estimar a quantidade de resíduos de diferentes tipos (por exemplo, madeira, concreto e aço de reforço). No entanto, essa abordagem depende muito do uso de planilhas detalhadas e de medições e atualizações manuais com uso intensivo de mão-de-obra, dificultando a implementação na prática.

Tabela 2.3 – Folha detalhada do componente de construção de 1 m² de fundação.

Esquema de fundação	Índice de composição e resíduos	Características técnicas
	1 - Cofragem (desperdício de madeira): 0,39 kg	Grau de trabalho: 0,5 m ² de trabalho por m ³ de concreto.
	2 - Blindagem (desperdício de metal): 1,00 kg	Grau de blindagem: 30 kg de aço por m ³ de concreto.
	3 - Concreto (resíduo de entulho de concreto): 24,92 kg	

Fonte: Jalali (2007).

d) Estimativa de RCC em uma região por meio de estoques e fluxo de materiais

A quantidade de RCC esperada em uma região pode ser estimada pelo estudo da dinâmica de coleta e fluxo de materiais de construção. Uma abordagem típica de fluxo de material foi sugerida por Cochran e Townsend (2010).

Para a região dos Estados Unidos, essa abordagem utiliza o volume total de materiais de construção consumidos nos EUA ao longo do tempo, a vida útil média desses materiais e a parte dos materiais descartados durante a construção. Usando a abordagem, os dados históricos de consumo de material são usados para estimar os resíduos de demolição com base na vida útil do material, enquanto os dados do novo consumo de material no ano alvo são usados para estimar o novo resíduo de construção com base em determinados índices experimentais. No entanto, as fontes de grande parte dos dados dependiam de pesquisas do setor. Portanto, a

precisão da estimativa depende muito da precisão dedicada pelos entrevistados a essas pesquisas.

- e) Estimativa baseada em quantidades obtidas de bancos de dados de construção relacionados:

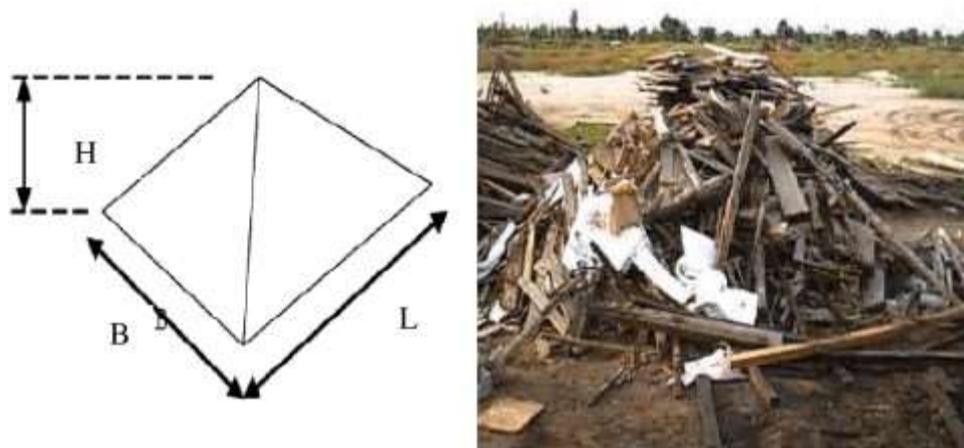
Existem vários modelos em diferentes regiões usando banco de dados de custo de construção como a fonte para obter quantidades de resíduos. Um representante é um modelo espanhol de Solís-Guzmán et al. (2009). O modelo é um método quantitativo de RCC baseado no Banco de Dados de Custos de Construção da Andaluzia (BCCA) (Conselho de Habitação do Governo da Andaluzia, 2010) na Espanha.

O modelo pode ser usado para estimar o volume de resíduos das atividades de construção e demolição relacionadas ao edifício. O modelo baseia-se em quatro parâmetros: Volume de Construção Aparente (VAC), Volume Demolido Aparente (VAD), Volume de Resíduos Aparente de Destroços (VAR) e Volume de Resíduos de Embalagens Aparentes (VAE). Ao estudar mais de 100 projetos de habitação, as relações entre os quatro parâmetros foram resumidas estaticamente. Por exemplo, o VAC de cada item pode ser convertido no VAD com um coeficiente CT para considerar o aumento do volume de material após a demolição. A CT das portas de madeira é de 1,15, o que significa que as portas aumentam seus volumes em 15%, em média, após serem demolidas e não podem ser perfeitamente acondicionadas.

- f) Estimativa de acordo com formulário de *layout* físico

Lau et al. (2008) sugeriram um método único para estimar o volume de resíduos de construção, de acordo com as formas físicas de disposição dos resíduos no local na Malásia. Quatro formas de *layout* (armazenadas, agrupadas, espalhadas e empilhadas) foram sugeridas para registrar a quantidade de resíduos em diferentes estágios do projeto. Por exemplo, para resíduos estocados, supõe-se que permaneçam na forma de uma base retangular em forma de pirâmide (Figura 2.1). O peso do resíduo gerado para um *layout* específico é calculado multiplicando o volume estimado e o peso unitário estimado. No entanto, este método só pode obter dados aproximados que não sejam suficientes para estratégias detalhadas de planejamento de resíduos.

Figura 2.1 – Resíduos de forma de estoque (B e L representando os comprimentos laterais da base retangular; H representando a altura da pirâmide).



Fonte: Lau et.al. (1999).

g) Ferramentas contábeis para estimar a quantidade de resíduos

Atualmente, existem ferramentas de *software* para contabilização e estimativa de resíduos de construção. Uma famosa ferramenta de contabilidade de resíduos é a Metodologia do Local para Auditar os Resíduos Alvos Reduzidos (*SMARTWaste*™), desenvolvida pela equipe de Eficiência de Recursos do UK Building Research Establishment (BRE). Com base nos dados estatísticos de projetos anteriores no Reino Unido, a *SMARTWaste*™ calcula e estima os volumes de resíduos em 13 categorias, incluindo paletes de cerâmica, concreto e madeira (BRE, 2008). No entanto, como o *SMARTWaste*™ é baseado nos dados do Reino Unido, o uso dessa ferramenta é limitado a projetos somente em determinadas regiões. Essa ferramenta também requer uma boa manutenção de registros e contabilidade de resíduos para coletar dados confiáveis e precisos. No entanto, a principal desvantagem desta ferramenta é que normalmente não fornece metodologia de quantificação, portanto, não é viável para outros locais onde os edifícios são construídos usando tecnologia diferente (LLATAS, BIZCOCHO, HUETE, 2010).

Os métodos de estimativa de resíduos de RCC mencionados anteriormente têm várias limitações. Alguns exigem medições precisas dos componentes do edifício, enquanto outros exigem uma boa contabilidade de dados relacionados a resíduos. Alguns fornecem estimativa

apenas aplicável a determinadas regiões, enquanto outros fornecem apenas uma estimativa aproximada para um tipo específico de edifício.

Para fornecer uma estimativa de resíduos mais precisa, conveniente e amplamente aplicável, os autores Cheng e Ma (2013) sugeriram a tecnologia BIM para desenvolver um sistema para estimativa de resíduos de demolição e reforma. Como exemplo, o cálculo da taxa de cobrança de descarte e o planejamento da coleta e transporte, que são práticas comuns de gerenciamento de RCC em Hong Kong, também estão integrados no sistema.

Por fim, o gerenciamento adequado dos resíduos da construção civil nos canteiros de obras de pequeno, médio e grande portes é indispensável para a qualidade ambiental nos centros urbanos.

Atualmente a tecnologia que está se mostrando promissora na gestão de projetos e está evoluindo na área de gestão de resíduos é o *Building Information Modeling* (BIM). Esta plataforma permite melhor análise e controle dos projetos, oferecendo suporte aos processos e fases durante todo o ciclo de vida da construção, inclusive acrescentando ferramentas para o controle da geração de resíduos na obra (LU *et al.*, 2017). Com os índices de geração corretos, essas ferramentas de controle podem extrair dados de geração de resíduos do projeto.

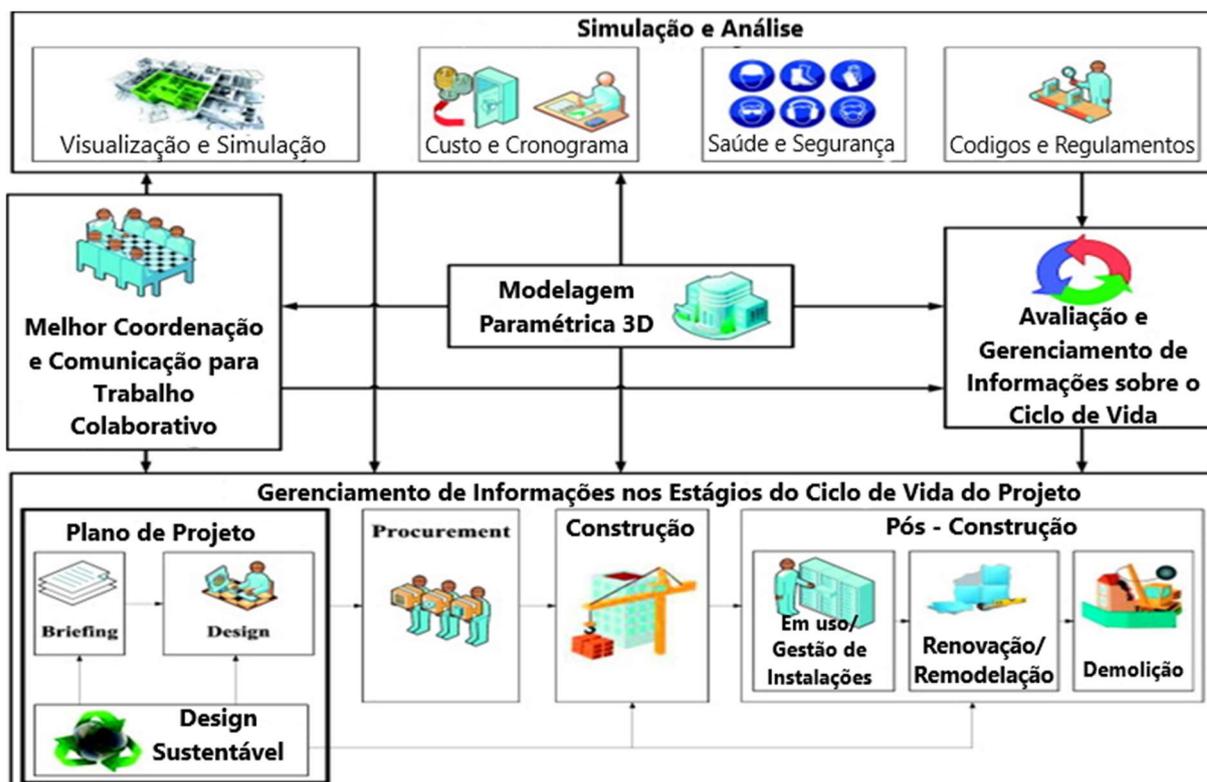
2.3. BIM na Construção Civil

Tecnologias emergentes relacionadas à gestão de informações, como sistemas de código de barras, Sistema de Posicionamento Global (GPS), simulação de sistemas de comércio eletrônico e Sistemas de Informações Geográficas (GIS) estão sendo adotadas para a construção. Mais recentemente, Liu et al. (2011) sugeriram que a tecnologia BIM pode ser usada pela indústria AEC como uma plataforma para minimizar o desperdício de construção em seus projetos.

O BIM não é apenas uma inovação tecnológica, mas também uma mudança significativa nos processos globais de AEC. Atualmente, está sendo gradualmente usado para atingir várias metas de desempenho de gerenciamento de projeto, construção e instalações (DENG *et al.*, 2019; LAGÜELA *et al.*, 2013; RAZAVI; HAAS, 2010; SHEN; HAO; XUE, 2012). Isso inclui aprimoramento de simulação e análise, coordenação e comunicação para trabalho colaborativo, avaliação e gerenciamento de informações de ciclo de vida e projeto

sustentável em todos os estágios que compõem o ciclo de vida do projeto, como mostra a Figura 2.2.

Figura 2.2 – Estrutura conceitual do uso atual do BIM.



Fonte: Liu *et al.* (2015)

O BIM não apenas fornece um conjunto de informações inter-relacionadas e cruzadas, mas também cria uma interface visual 3D a partir de um desenho 2D e integra o tempo com o 4D, bem como custos como informações 5D, auxiliando as decisões de gerenciamento de diferentes partes interessadas e necessidades.

No BIM, o projeto arquitetônico é integrado com simulações de energia para aplicar de forma eficiente e precisa a entrada de simulação (YAN *et al.*, 2013). A informação geométrica também é integrada em simulações estruturais para analisar a segurança estrutural. São produzidos modelos detalhados que refletem a singularidade e autenticidade de um edifício sem excessivas simplificações geométricas (BARAZZETTI *et al.*, 2015).

O BIM está impulsionando a indústria da construção para um processo baseado em modelo e longe do processo de “modelo baseado em 2D” (AGC, 2005).

Para criar um modelo BIM, é necessário um *software* BIM, e atualmente existem diversas empresas que fornecem programas para a modelagem em BIM, como Autodesk®, Bentley Systems®, Nemetschek® e Graphisoft®, entre outros.

Conforme Gaspar e Manzione (2015), é de fundamental importância entender cada programa sob sua perspectiva histórica. Isto se faz necessário para compreender como se faz a criação e gestão de seus próprios objetos. Em sua pesquisa, os autores realizaram um roteiro para verificar que qualificação teria um *software* BIM com relação à criação de objetos paramétricos. Os resultados identificaram pontos fortes e fracos dos *softwares* analisados por meio de um Índice de Parametrização de Objetos em BIM (IPO-BIM), sendo que o *software* Revit® obteve uma elevada avaliação do IPO-BIM.

Melhorias rápidas na tecnologia BIM tornaram as avaliações de desempenho de edifícios mais fáceis e rápidas de concluir. Por exemplo, análises do consumo de energia Yan *et al.* (2013); Azhar e Brown (2009), as análises de projeto estrutural (Barazzetti *et al.* (2015) e as avaliações estruturais durante a construção Hu e Zhang (2011) usam dados do BIM para obter os detalhes necessários para uma investigação completa do desempenho de um edifício.

Segundo Rajendran e Pathrose G. (2012), os desperdícios de materiais de construção civil poderiam ser minimizados por meio da projeção dos resíduos, usando ferramentas BIM, as quais podem também ser utilizadas no gerenciamento de construção para auxiliar na comunicação visual entre todas as partes principais, na integração necessária para obter novos conhecimentos gerenciais e na automação que melhora a eficiência gerencial.

No entanto, apesar desses usos importantes no campo de gerenciamento de construção, os dados do BIM continuam a ser utilizados apenas para fins simples e parciais. Por exemplo, de acordo com um estudo sobre programação de projetos por meio da integração de BIM com simulações de processos de construção (Abourizk; Mohamed, 2002; Wang *et al.*, 2014), os pesquisadores usaram dados BIM apenas para obter as quantidades de materiais necessários.

Embora a quantidade de dados de partida do BIM seja necessária ao determinar a duração do processo de construção (König *et al.*, 2012), por si só não é suficiente para um planejamento de construção confiável. Especificamente, são necessários dados operacionais e gerenciais, como horas de trabalho, quantidade de mão de obra qualificada, nível de dificuldade e assim por diante.

BIM foi proposto pela primeira vez durante o final dos anos oitenta para início dos anos noventa do século passado (EASTMAN, 1992). O seu impacto na indústria de AEC é imenso, embora a adoção tenha sido consideravelmente mais lenta do que o esperado.

Pesquisas recentes revelam que a taxa de adoção do setor varia geograficamente. O relatório *SmartMarket Report* sugere que há um forte crescimento da taxa de adoção de 28% em 2007 para 48% em 2009 na comunidade de AEC dos EUA (McGraw Hill Construction, 2014).

Uma pesquisa semelhante realizada pela *building SMART Australasia*[®] também revela altas taxas de adoção entre vários interessados na Austrália, mas o resultado foi considerado fortemente tendencioso e as taxas reais de adoção foram recomendadas para ser muito menores pelos especialistas (ALLEN CONSULTING GROUP, 2010). Uma pesquisa diferente da *National Building Specification* (SUCCAR, 2010), olhando para os profissionais de construção no Reino Unido, predominantemente arquitetos de pequenas e médias empresas (PMEs), revelou que apenas 13% dos entrevistados estão atualmente usando o BIM.

Em 2016, o governo brasileiro iniciou as discussões sobre BIM e em 17 de maio de 2018, publicou o Decreto nº 9.377 que oficializou a Estratégia Nacional para a Disseminação do BIM ou Estratégia BIM BR, colocando BIM como tema prioritário para o Brasil (BRASIL, 2016).

Segundo (BROCARDO; SCHEER, 2017), apesar de o Brasil ter iniciado sua adoção desde o começo dos anos 2000 e de uma série de entidades e instituições como Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) estarem trabalhando, o estágio brasileiro, ainda é inicial (CHECCUCCI, 2019; RUSCHEL, ANDRADE e MORAES, 2013; CASTELO, MARCELLINI e VIANNA, 2018; LEUSIN, 2018). A difusão, adoção e implantação de BIM tem sido apoiada por meio de seminários e publicações elaboradas por instituições de representatividade do setor.

Apesar dos esforços, entretanto, um percentual de apenas 7,5% de empresas brasileiras que fazem parte da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) reportaram o uso de BIM e 21,7% assinalaram que desconhecem se a empresa faz uso da tecnologia (CASTELO, MARCELLINI e VIANNA, 2018).

As principais barreiras potenciais para adoção foram identificadas na literatura, incluindo: a falta de padrões; presença de lacunas de habilidades; hesitação em abraçar mudanças tecnológicas dentro das organizações; presença de externalidades; ambiguidade na posse de dados e riscos legais; e alto custo de investimento, (ALLEN CONSULTING GROUP, 2010; AZHAR, 2011; GU; LONDON, 2010).

Embora em outros países seja evidente que a taxa de adoção está aumentando, muitos argumentam que apenas projetos de grande escala implementam o BIM e o uso por parte das PMEs permanece limitado (ALLEN CONSULTING GROUP, 2010; ARAYICI *et al.*, 2011).

BIM faz parte de uma tendência global e já é, por si só, o caminho para preencher as lacunas relacionadas à melhoria na produtividade do setor. Seguindo as metas da Estratégia BIM BR, a previsão é de que haja um aumento de 10% na produtividade, bem como uma redução nos custos de produção de 9,7% para as empresas que adotarem BIM, além da projeção de um aumento de dez vezes no número de empresas que utilizam BIM entre 2018 e 2028, o que tem impacto direto no aumento do PIB setorial. São de suma importância, portanto, a caracterização e os níveis de adoção BIM pela indústria da construção civil brasileira, para que sejam identificadas as lacunas e as reais necessidades de apoio e atendimento ao setor (MAGALHÃES, 2019).

2.3.1 Visão geral dos níveis de desenvolvimento BIM

Reconhecida (o) internacionalmente como *Level of Development* (LOD) os níveis de desenvolvimento fornecem uma estrutura conceitual para nortear coordenadamente o processo de desenvolvimento do projeto e a evolução de seu detalhamento de informações. Cada etapa do projeto é definida sucintamente, permitindo que diferentes membros da equipe de trabalho entendam o nível de desenvolvimento que precisam trabalhar e a hierarquia de decisões (MANZIONE, 2013).

De acordo com Ferreira (2015), é usual confundir-se nível de desenvolvimento com nível de detalhe, porém há diferenças que não podem ser ignoradas, pois são conceitos importantes da tecnologia BIM. Nível de detalhe é a representação gráfica (visual) inclusa, ou a ser inclusa, no elemento do modelo. Já nível de desenvolvimento representa o grau de informações que os elementos apresentam e serão usados pelos *stakeholders* envolvidos na construção.

Conforme o trabalho realizado por Silva (2013), em relação aos níveis de desenvolvimento, conclui-se em um de seus resultados que o aumento dos níveis de desenvolvimento traduz fundamentalmente em um aumento da quantidade de informação relativa ao projeto e seus elementos, não significando necessariamente que o detalhe geométrico tenha que ser cada vez mais elevado. Por exemplo, no caso da modelação de um elevador, o nível de desenvolvimento LOD 500 correspondente à fase de exploração e manutenção poderá não incluir a modelagem de todos os pormenores necessários ao fabrico e montagem do elevador, ou seja, não são necessários todos os seus atributos geométricos. Nesta fase, o fundamental a incluir é a informação sobre os planos de manutenção previstos ao longo do seu ciclo de vida, podendo a sua representação geométrica vir a ser reduzida a um paralelepípedo genérico.

O *Structural Engineering Institute - Council of American Structural Engineers* publicou um documento (SEI-CASE, 2011), onde estabelece e enquadra os cinco LOD definidos pelo Instituto Americano de Arquitetos (AIA) Document E202, que se apresentam nos pontos seguintes (SILVA, 2013):

- LOD 100 – Este modelo básico pode ser adotado ao nível do Projeto Esquemático que fornece informação sobre as massas e volumes. Com apenas a informação mais básica disponível, o uso prático deste tipo de modelo é limitado à revisão da disposição básica dos espaços, cálculo de volumes e áreas e orientação dos espaços. Pode ainda existir informação suficiente para uma estimativa geral do planeamento do projeto e a sua duração. Os engenheiros de estruturas podem preparar os modelos em LOD 100 usando massas básicas apenas, como lajes uniformes com uma espessura genérica que represente as vigas suportadas por paredes e pilares genéricos;
- LOD 200 – Este modelo é um pouco mais desenvolvido. Tem, em geral, informação suficiente para permitir uma análise básica do sistema estrutural, nomeadamente por meio da exportação para ferramentas específicas de cálculo automático de estruturas. Alguns elementos do modelo podem incluir informação não geométrica que possa ser usada para a estimativa de custos. O modelo pode incluir uma aparência escalada no tempo dos elementos principais com o intuito de assistir o faseamento e planeamento da obra;
- LOD 300 – Neste nível de desenvolvimento deve existir informação suficiente para a preparação dos documentos tradicionais da construção ao nível de

projeto de execução. Os elementos podem incluir informação adicional não geométrica que pode ser usada pela equipe de projeto ou construção. Este modelo pode ser usado para criar modelos analíticos para o projeto de estruturas, podendo também ser usado como base para a preparação de desenhos para fornecedores, e para a compilação de mapas de trabalhos e quantidades da obra e estimativa de custos para a construção;

- LOD 400 – Neste nível, o modelo deve incluir detalhes adicionais e todas as estruturas primárias e secundárias de suporte. Deve conter informação completa sobre a fabricação, montagem e construção. Deve ser uma representação virtual da estrutura, a qual pode ser usada durante a construção. É possível fazer uma estimativa de custos detalhada, baseada nos elementos do modelo. Planejamento detalhado pode ser conseguido mostrando uma aparência escalada de elementos específicos;
- LOD 500 – Todos os elementos e sistemas são modelados de acordo com a construção e precisos em todos os detalhes. Este modelo tem os mesmos propósitos de LOD 400, mas pode ser usado para a manutenção quando assim autorizado. Alguns clientes podem exigir modelação para COBie no LOD 500 para a gestão e manutenção de edifícios, mas este normalmente não é requerido para o sistema estrutural.

Os níveis de desenvolvimento do BIM ou LODs BIM, são utilizados para visualizar com eficiência grandes dados 2D e para simplificação de objetos. Isso evita a degradação da eficiência do trabalho causada por cálculos desnecessários e reduz a complexidade na expressão de objetos 3D. Além disso, explicam o alcance do método da tecnologia BIM, ou seja, as informações derivadas de um modelo podem ser aplicadas ao longo de todo o ciclo de vida do projeto.

Guota (2014), classifica as seis principais dimensões do BIM, conforme apresentadas a seguir:

- 2D Gráfico: representação gráfica planificada, plantas do empreendimento;
- 3D Modelo: acrescenta dimensão espacial à representação plana, permite visualizar os objetos em perspectiva. Nessa dimensão é possível que sejam realizadas simulações como de iluminação, carga térmica, eficiência energética, entre outros. Ainda é possível realizar por meio do modelo a

detecção de interferências e conflitos entre as várias disciplinas de um projeto de edificação;

- 4D Planejamento: informações referentes ao tempo são adicionadas. Permite definir quando um elemento será comprado, armazenado, preparado, instalado, utilizado, etc. Permite ainda planejar o canteiro de obras quanto à movimentação das equipes de trabalho, equipamentos e outros aspectos relacionados cronologicamente;
- 5D Orçamento: essa dimensão trata de informações de custo de cada etapa da obra, alocação de recursos e o impacto no orçamento;
- 6D Gestão: adiciona a dimensão de pós ocupação ao modelo, o que permite o usuário do empreendimento extrair informações de funcionalidade e características dos elementos para eventuais manutenções.

Manziona (2013) relaciona no Quadro 2.1 os níveis de desenvolvimento em virtude de alguns usos do BIM, como planejamento, custos, sustentabilidade e outros, segundo as diretrizes definidas pela AIA.

Quadro 2.1 – Níveis de desenvolvimento BIM

Níveis de Desenvolvimento (especificações e usos do BIM)					
Níveis	100	200	300	400	500
Conteúdo do modelo	Conceitual	Geometria aproximada	Geometria precisa	Execução-fabricação	As-built
Projeto e Coordenação	Estudos de massa, volumes, zonas, modelados em 3 dimensões ou representados por outros dados	Os elementos são modelados de forma genérica e aproximadas de suas dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo	Os elementos são modelados de forma precisa e exata de suas dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo	Os elementos são modelados com o objetivo de montagem, de forma precisa e exata de suas dimensões, peso, quantidades, orientações e localização contendo o detalhamento completo de fabricação e montagem. Informações não geométricas podem ser anexadas	Os elementos são modelados conforme construídos com informações precisas e exatas das dimensões, peso, quantidades, orientação e localização. Informações não geométricas podem ser anexadas ao modelo
Usos Recomendados					
Planejamento	Duração global da obra; Macroplanejamento; Fases e maiores elementos.	Escala de tempo, apresentação ordenada dos elementos principais.	Apresentação ordenada pelo tempo das atividades principais e de conjuntos detalhadas	Fabricação e detalhes de montagem, incluindo meios e métodos de construção	
Estimativa de Custos	Custos estimados; Ex. R\$/m ² de área de construção, R\$/quarto de hotel.	Custo estimado baseado em dimensões de elementos genéricos	Custos baseados em dimensões precisas e especificações completas e detalhadas	Preços confirmados em propostas de fornecedores	Custos realizados
Cumprimento de programa de necessidades	Áreas brutas dos diversos setores	Requisitos específicos de cada um dos ambientes	Casos específicos, instalações e conexões.		
Materiais sustentáveis	Estratégias para atendimento dos requisitos LEED	Quantidades aproximadas de materiais organizados pelas categorias	Quantidades precisas de materiais com a porcentagem de materiais reciclados	Seleção dos fornecedores específicos	Documentação das compras e especificações
Análises e simulações de iluminação; uso de energia, fluxos de ar	Estratégias e critérios de desempenho baseado em áreas e volumes	Projeto conceitual baseado na geometria aproximada e em predefinições de sistemas	Simulação aproximada baseada em sistemas projetados	Simulação precisa baseada nas especificações do fabricante e em detalhes dos sistemas	Comissionamento e registro dos resultados obtidos

Fonte: Manzione (2013)

2.3.2 Oportunidades BIM para resolver as limitações relacionadas ao processo e à tecnologia no gerenciamento e minimização de RCC

Embora muitos estudos anteriores tenham sido realizados para minimizar e gerenciar eficientemente os RCC, ainda existem muitas limitações a serem resolvidas.

A pesquisa realizada por Won e Cheng (2017) identificou, por meio de uma revisão profunda da literatura, oportunidades potenciais da utilização do BIM para resolver as limitações relacionadas ao processo e à tecnologia no gerenciamento e minimização de resíduos de construção civil. Os autores relatam em seu trabalho que, resolvidas as limitações relacionadas ao processo e à tecnologia pelas abordagens propostas baseadas em BIM, políticas e diretrizes mais apropriadas podem ser estabelecidas e aplicadas no setor de AEC no futuro. As limitações relacionadas ao processo e à tecnologia no gerenciamento e minimização de RCC estão categorizadas em nove grupos de acordo com as causas da geração de RCC introduzidas em estudos anteriores. Os nove grupos classificados são os seguintes:

- a) Geração adicional de resíduos de construção, devido a compras e planejamento deficientes

É importante quantificar com precisão os materiais de construção necessários no local para a realização de cada atividade, a fim de eliminar uma das principais causas da geração de resíduos de construção, que são as compras e o planejamento deficientes (POON; YU; JAILLON, 2004; YEHEYIS et al., 2013). Se o cronograma do projeto não for considerado em quantidade e entrega de materiais de construção necessários no local, isso poderá levar à geração de resíduos de construção. Por exemplo, estima-se que cerca de 1,6% do volume total de concreto misturado acabe como lixo de construção devido às imprecisões nas quantidades solicitadas de materiais e ao momento inadequado das entregas (TOMMELEIN; LI, 1999).

Além disso, falhas nas compras e no planejamento podem levar à geração adicional de resíduos de construção, devido a longos períodos de armazenamento de materiais e resíduos de matérias-primas no local. Ao integrar as quantidades de materiais de construção, que podem ser extraídos dos modelos BIM, com o cronograma do projeto, a quantidade de materiais de construção necessária em atividades específicas pode ser medida sistemática e rapidamente. A programação precisa, usando o BIM, permite a entrega *just-in-time* de materiais e equipamentos. Conseqüentemente, a retirada de quantidade com base no tempo, usando o BIM, pode impedir longos períodos de armazenamento no local.

- b) Quantificação demorada e não sistemática de RCC

Em muitos estudos anteriores, a quantidade de RCC gerada em projetos reais de AEC foi medida por meio de estudos de caso (COELHO; DE BRITO, 2011; KATZ; BAUM, 2011;

KOFOWOROLA; GHEEWALA, 2008; LU; YUAN, 2011; TAM, 2008; VILLORIA SÁEZ; DEL RÍO MERINO; PORRAS-AMORES, 2012).

Tam (2008) analisou os níveis de desperdício de quatro tipos de resíduos de construção em edifícios residenciais e não residenciais em Hong Kong, por meio de entrevistas com profissionais da indústria de AEC. Katz e Baum, (2011) analisaram os resíduos de RCC quantificados gerados em edifícios residenciais em Israel, monitorando os locais de construção reais. No entanto, esses estudos se concentraram em casos específicos individuais e não puderam gerar uma metodologia genérica para estimar a quantidade de resíduos de RCC em projetos de AEC. Para abordar essa limitação, vários métodos e ferramentas foram propostos (COCHRAN et al., 2007; JALALI, 2007; SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009).

Cochran et al. (2007) definiram equações que incorporavam o nível de atividades e a geração média de resíduos por unidade de área para projetos residenciais e não residenciais nos EUA.

Poon *et al.* (2001) introduziram um índice de resíduos de materiais para calcular o total de RCC. No entanto, como a quantificação de RCC fornecida nesses estudos anteriores utilizou taxas de geração de RCC por unidade de área útil ou área de superfície, os resultados não foram precisos. Para quantificar com mais precisão os RCCs, Jalali (2007) introduziu o índice de componentes e o índice global. O índice global forneceu a quantificação de resíduos por unidade de área, enquanto o índice de componentes determinou a quantidade de RCC classificados por diferentes componentes do edifício.

No entanto, ainda era difícil medir sistemática e rapidamente o volume de cada componente a partir de um conjunto de desenhos. Além disso, os métodos existentes de quantificação de resíduos de C&D não foram integrados ao cronograma do projeto para prever a quantidade de resíduos de C&D e não forneceram dados detalhados de custos sobre estratégias de gerenciamento de resíduos de C&D, como materiais auxiliares e mão-de-obra (GANGOLELLS et al., 2014).

Usando modelos BIM, a quantidade e as informações semânticas de cada componente podem ser extraídas rápida e sistematicamente nas fases de planejamento, design e construção. Com base na decolagem em quantidade baseada em BIM e nos índices de resíduos de materiais, a quantidade certa de RCC pode ser medida e o momento certo da geração de RCC e os dados detalhados de custos sobre o gerenciamento de RCC, como mão de obra, transporte e descarte custos e impostos (CHENG; MA, 2013; WON; CHENG; LEE, 2016), também podem ser analisados integrando-o ao cronograma do projeto e aos bancos de dados de

custos (LU; WON; CHENG, 2016), respectivamente. Além disso, um planejamento de espaço apropriado no local para armazenamento e gerenciamento de resíduos de C&D, por meio de planejamento de retirada de quantidade e utilização do local com base em BIM, permite reduzir o número de manuseio de material desnecessário e inadequado.

c) Baixas taxas de reutilização e reciclagem de RCC

Para reduzir a carga para aterros, os RCCs devem não apenas ser reduzidos, mas também reutilizados e reciclados (BEGUM et al., 2009; EIKELBOOM; RUWIEL; GOUMANS, 2000; ESIN; COSGUN, 2007; FATTA et al., 2003; LU; YUAN, 2010; POON, 2007; POON; YU; JAILLON, 2004; QI et al., 2012; SAEZ et al., 2013; TAM; TAM, 2006). Para maximizar as taxas de reutilização e reciclagem de resíduos de RCC, as atividades de construção, alternativas de projetos e sistemas construtivos, que possam admitir materiais reutilizáveis ou recicláveis, devem ser detectados e usados nos projetos de AEC.

Portanto, atividades de construção, alternativas de projeto e sistemas capazes de admitir materiais reutilizáveis ou recicláveis devem ser considerados seriamente na fase de projeto. O BIM pode apoiar técnica e economicamente processos para detectar e comparar várias alternativas confiáveis para atividades de construção, projeto de construção e sistemas construtivos na perspectiva de gestão e minimização de RCD.

Os componentes do edifício que podem ser feitos de materiais reutilizados ou reciclados podem ser visualmente revisados e a quantidade de materiais de construção reciclados e virgens também pode ser rapidamente extraída de um modelo BIM. Consequentemente, as taxas de reutilização e reciclagem podem ser aumentadas por essa revisão de projeto alternativa.

d) Geração de resíduos de construção causada por gestão deficiente do projeto

Projeto inadequado e mudanças inesperadas no projeto são as principais causas da geração de resíduos de construção (POON; YU; JAILLON, 2004; YEHEYIS et al., 2013). Como podem levar a um aumento de até 33% no volume de resíduos de construção, as alterações de projeto ocorridas na fase de construção devem ser eliminadas (LU; YUAN, 2010; POON; YU; JAILLON, 2004; SAEZ et al., 2013). O BIM pode reduzir eficientemente o número de alterações no projeto, melhorando a comunicação entre os participantes do projeto e a qualidade dos projetos da AEC. Por exemplo, Khanzode et al. (2008) relataram que um projeto do Camino Medical Group, nos EUA, conduzindo uma coordenação 3D baseada em

BIM não lidava com nenhuma alteração de projeto relacionada aos sistemas MEP. Por outro lado, um projeto semelhante normalmente gasta 1% a 2% do custo total do MEP devido a alterações no projeto. Além disso, o projeto deve ser otimizado para reduzir a quantidade de materiais de construção (OSMANI; GLASS; PRICE, 2008; VILLORIA SÁEZ; DEL RÍO MERINO; PORRAS-AMORES, 2012; WANG *et al.*, 2014; ZHANG; WU; SHEN, 2012). A revisão de projeto baseada em BIM pode otimizar o projeto, analisando rapidamente alternativas e resolvendo questões de construtibilidade nas fases iniciais dos projetos da AEC. A quantidade de materiais de construção necessária em cada alternativa pode ser extraída rápida e automaticamente dos modelos BIM. O BIM também permite que os participantes do projeto minimizem a geração de RCC, melhorando a qualidade do projeto, reduzindo assim o número de erros de projeto e retrabalho, que podem levar à geração de resíduos de construção.

- e) Falta de padronização e pré-fabricação, devida a dimensões imprecisas dos componentes na fase inicial do projeto

A pré-fabricação foi identificada como um dos métodos mais recomendados para minimizar o desperdício de concreto no local. Por exemplo, Zhang *et al.* (2012) estimaram uma redução de 70% nos resíduos de concreto por meio de pré-fabricação. Jaillon *et al.* (2009) relataram uma redução média de 52% no volume de resíduos de construção que poderia ser alcançado por meio da pré-fabricação em Hong Kong. Apesar do alto impacto da pré-fabricação na redução de resíduos de construção, muitos artigos anteriores consideraram a falta de pré-fabricação ou sistemas industrializados (Lu e Yuan, 2010; SAEZ *et al.* 2013; Tam 2008; Tam e Tam, 2006), e dimensão imprecisa dos elementos de construção na fase de projeto (Gangoells *et al.*, 2014; Poon; Yu e Ng, 2003; Tam e Tam, 2006), como as principais limitações no gerenciamento e minimização de resíduos de construção.

As dimensões exatas dos componentes pré-fabricados são necessárias no início do processo de projeto e a instalação adequada é indispensável. Os resíduos de construção são gerados quando aparecem inconsistências nos conjuntos de desenho dos fabricantes.

No entanto, conjuntos de desenhos sem erros são raros em projetos de AEC, apesar de vários métodos de controle de qualidade (WANG, 2012). O custo para resolver inconsistências de trefilação na indústria de concreto pré-moldado é responsável por aproximadamente 0,46% dos custos totais do projeto. No entanto, com o BIM digitalmente é fornecida uma representação geométrica detalhada e precisa de cada componente do edifício e isso permite que as informações geométricas sejam exportadas rapidamente para os formatos de

dados usados nos desenhos da oficina de fabricação , o BIM pode enfrentar esses desafios com eficiência. Além disso, os fabricantes podem gerenciar e automatizar um processo de fabricação usando as informações extraídas dos modelos BIM.

- f) Geração desnecessária de resíduos de construção, devida ao duplo manuseio de material

O manuseio inadequado de materiais é uma das principais causas da geração de resíduos de construção. Embora estudos anteriores tenham tentado aprimorá-lo, a redução do número de manuseio de materiais (LU; YUAN, 2010; SAEZ *et al.*, 2013) ainda é um desafio na indústria de AEC. Para resolver esse problema, um *layout* do local e o planejamento de distribuição de materiais de construção devem ser realizados adequadamente. O BIM pode suportar um melhor planejamento do *layout* do local, integrando informações de quantidade extraídas de um modelo BIM, cronograma do projeto e espaços livres no local. Portanto, o planejamento adequado do *layout* do local usando BIM melhora o movimento de materiais e reduz o número de manuseio duplo de materiais, e o desperdício inesperado de materiais no local (AHANKOOB *et al.*, 2012).

A entrega pontual de materiais de construção pode evitar longos períodos de armazenamento no local. Para isso, a quantidade certa de materiais de construção deve ser precedida. A quantidade de materiais de construção, extraídos de um modelo BIM, pode ser rápida e sistematicamente integrada ao cronograma do projeto. Consequentemente, a programação usando o BIM permite a entrega *just-in-time* de materiais de construção no local (KUMAR; CHENG, 2015).

- g) Gerenciamento inadequado de resíduos de C&D no local

Várias limitações identificadas estavam relacionadas a processos inadequados de gerenciamento de RCC no local, incluindo a falta de rastreamento do movimento de RCC Gangolells *et al.* (2014), Lu e Yuan, (2010), Poon (2007), planejamento inadequado de espaço para gerenciamento de RCC, armazenamento de material Fatta *et al.* (2003), e triagem tardia no local (GANGOLELLS *et al.*, 2014; LU; YUAN, 2010; POON; YU; JAILLON, 2004; SAEZ *et al.*, 2013). Essas limitações relacionadas ao processo podem ser aprimoradas com base na quantificação de RCC, considerando o cronograma detalhado do projeto. Com base no tempo e na quantidade estimados de geração de resíduos de C&D, é possível rastrear continuamente o movimento desses resíduos, planejar o espaço para armazenar e gerenciar adequadamente os

resíduos gerais e perigosos e a rápida classificação no local. Isso acontece, para o planejamento eficiente do espaço de RCC, a quantidade de materiais de construção, o cronograma do projeto, o planejamento do caminho, os espaços livres no local dos projetos da AEC etc. devem ser considerados simultaneamente.

No entanto, a integração dessas informações é complicada e demorada. Com a implementação do BIM, a quantidade de materiais de construção extraídos dos modelos BIM pode ser rápida e sistematicamente integrada ao cronograma do projeto e análises de espaço livre no local. Portanto, os benefícios existentes do planejamento de utilização do local baseado em BIM e do controle e processo de planejamento 3D podem ser estendidos para processos eficientes de gerenciamento e minimização de RCC em projetos de AEC. A implementação do BIM na correção de erros de projetos e na redução de retrabalho podem levar à minimização de RCC.

Em outro ponto de limitação e gerenciamento inadequado de resíduos de C&D no local, foi observado que pequenos contêineres para coletar resíduos de C&D (Moreira, 2010; Saez et al., 2013), e equipamentos para classificar, reciclar e reutilizar resíduos de C&D raramente eram usados (GANGOLELLS *et al.*, 2014; SAEZ et al., 2013). Infelizmente essas limitações não podem ser resolvidas diretamente pela implementação do BIM.

h) Falta de participação ativa dos profissionais envolvidos na gestão de RCC

As limitações associadas à baixa participação no gerenciamento e minimização de resíduos de C&D foram as seguintes: ausência de um coordenador do plano de gerenciamento de resíduos de C&D (GANGOLELLS *et al.*, 2014); participação passiva de todas as partes interessadas no plano de minimização e gerenciamento de resíduos de C&D (PR16) (GANGOLELLS *et al.*, 2014; WANG *et al.*, 2010); falta de comunicação entre os participantes do projeto (LU; YUAN, 2010); falta de reuniões de coordenação e revisão (FORMOSO *et al.*, 2002; LU; YUAN, 2010); e planos quebrados de gerenciamento de RCC (PR19) (GANGOLELLS *et al.*, 2014; LU; YUAN, 2010; TAM, 2008). Embora a maioria das limitações desse grupo não possa ser diretamente aprimorada por meio da implementação do BIM, os processos de gerenciamento de RCC aprimorados pela implementação do BIM ajudam os participantes do projeto a planejar e executar ativamente o gerenciamento de RCC.

Muitos estudos relataram que o BIM tem sido eficiente para melhorar a comunicação entre os participantes do projeto, segundo Wang (2012), melhorando assim os processos de gerenciamento e minimização de RCC e alavancando a BIM tecnologia também.

i) Diversos

Limitações diversas incluem canteiros de obras sujos e mal organizados, processos ineficientes de construção; falta de um sistema integrado de gerenciamento de RCC; e métodos de demolição não inovadores. Embora o BIM possa melhorar os processos de construção convencionais, ele não pode manter diretamente os locais de construção limpos e bem organizados, nem apoiar métodos inovadores de demolição.

Por outro lado, os sistemas de gerenciamento de RCC podem ser aprimorados por meio da integração de informações extraídas dos modelos BIM com os sistemas de gerenciamento de RCC existentes e considerando ciclos de vida completos dos projetos da AEC, sob a perspectiva de um gerenciamento eficiente de RCC. Consequentemente, os sistemas de gerenciamento e minimização de RCC baseados em BIM permitem a quantificação de RCC com base no tempo, o gerenciamento e a minimização eficientes de RCC.

2.3.3 Potencial BIM para a redução de resíduos de construção

O projeto de construção com base em BIM fornece aos profissionais de construção oportunidades para implementar o planejamento e gerenciamento proativos em relação ao uso de materiais de construção e, segundo os autores Cash (2011) e O'reilly (2017), é particularmente durante os estágios de projeto que a redução da geração de resíduos de construção poderia ser apoiada e aprimorada por meio do seu uso.

Deste modo, cada vez mais pesquisadores buscam investigar o impacto da adoção de técnicas e ferramentas relacionadas à comunicação da informação, como o BIM, com o propósito de ajudar a combater o desperdício durante as fases de projetos de construção (SACKS et al., 2010; WHYTE, 2012).

Diante disso, foram realizadas diversas pesquisas que evidenciam ações em que o BIM pode intervir para aperfeiçoar a minimização de RCC, e algumas podem ser observadas a seguir.

Manrique *et al.* (2009) integraram um algoritmo combinatório com um modelo CAD 3D para otimizar o corte de madeira e materiais de revestimento para paredes em edifícios residenciais. Seu trabalho concentrou-se principalmente na minimização de resíduos de materiais para um modelo de projeto 3D pré-determinado.

Porwal e Hewage (2011) propuseram uma abordagem de análise de otimização de vergalhões baseada em BIM (isto é, unidimensional reduzindo a otimização de resíduos) para facilitar a tomada de decisões de baixo custo durante a fase de projeto.

Cheng e Ma (2013) desenvolveram um sistema baseado em BIM para estimar e planejar resíduos provenientes de reformas e demolição.

Won e Cheng e Lee (2016) quantificaram o desperdício de construção ocasionado por erros de projeto que poderiam ser evitados usando um processo de validação de projeto baseado em BIM. Os autores relatam que a validação de projeto baseada em BIM poderia eliminar 4,3% a 15,2% dos resíduos de construção provocados por erros de projeto.

Liu et al. (2015) em sua pesquisa, trazem vários estudos realizados em todas as etapas do ciclo de vida de projetos de construção para examinar e avaliar abordagens, técnicas e ferramentas atuais para a redução de resíduos de construção. Os principais resultados obtidos foram:

- As abordagens atuais da minimização de resíduos de construção enfocam principalmente a visão estratégica para questões relacionadas a problemas de projeto, logística e cadeia de suprimentos e resíduos no local.
- As atuais técnicas de minimização de resíduos de construção desenvolvidas pela indústria estão preocupadas principalmente com questões de localidade, fora do local e logística.
- As ferramentas atuais utilizadas para redução da geração de resíduos de construção, estão relacionadas às práticas de auditoria de resíduos e melhores práticas no local para cumprir as regulamentações de resíduos, como os Planos de gerenciamento de resíduos.

Os autores avaliam que as abordagens, técnicas e ferramentas para a minimização de resíduos de construção estão, na maioria das vezes, direcionadas aos estágios de construção e não ao estágio de aquisição e projeto, sendo que estes dois últimos, segundo McKechnie (2007), oferecem oportunidades substanciais na redução da geração de resíduos. Diante disso, Liu et al. (2015) identificaram que a modelagem da informação BIM pode ser usada como um sistema de comunicação colaborativo, com potencial para auxiliar projetistas e *stakeholders* a atingirem de forma mais precisa a minimização de resíduos de construção em seus projetos.

Baldwin et al (2008) investigaram a modelagem de informações de projeto para avaliar as opções para reduzir o desperdício na construção de prédios residenciais altos, ou seja, pré-fabricação e pré-moldados. Eles concluíram que o BIM representa uma boa plataforma para

desenvolver a análise de resíduos de construção e as implicações das decisões de projeto. Além disso, o BIM possibilita reunir uma equipe de projeto para avaliar o impacto das decisões de projeto no processo de construção geral com o auxílio da ferramenta VirtualPrototyping®. Por outro lado, é amplamente reconhecido que associar BIM ao desenvolvimento e uso de técnicas e tecnologias de modelagem virtual 3D pode render resultados muito produtivos.

Em resumo, o BIM na maioria dos casos é usado para facilitar atividades relacionadas ao projeto, como coordenação e comunicação de projetos, e para fornecer informações quantitativas de um projeto pré-determinado como entrada para análise de resíduos de materiais, com o objetivo de reduzir o desperdício na construção.

Esforços anteriores foram realizados com base na premissa de que o BIM deve ser desenvolvido com antecedência como insumo para tarefas correspondentes, como coordenação de projetos e análise de resíduos.

Em contraste, a incorporação de otimização de materiais relacionados aos RCCs no desenvolvimento de modelos BIM direcionados para construção automatizada, ainda não foi abordada. Tal abordagem maximizará os benefícios do BIM e da tecnologia de otimização para o setor de construção.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo serão expostos os conceitos metodológicos e o delineamento da pesquisa, e como o estudo desenvolvido se enquadra nos mesmos.

3.1. Pesquisa Científica

De acordo com Alves (1993), a ciência é uma especialização, um refinamento de potenciais comuns a todos. O autor também afirma que a ciência não é diferente do senso comum, mas diferencia-se deste, devido à especialização e controle disciplinado do seu uso. Nesse caso, o termo especialização refere-se à necessária capacitação que o pesquisador deve possuir sobre o assunto em questão, e o controle está relacionado ao nível de rigor, exatidão ou precisão da pesquisa.

O termo pesquisa deriva do latim “perquirere” que significa perquirir, buscar com cuidado, informar-se de” (SILVA, 2004). Na concepção da língua portuguesa, pesquisa é

entendida como “ação de pesquisar, buscar, investigar; trabalho científico que registra os resultados de uma investigação” (BORBA, 2004).

Segundo Ander-Egg (1978), pesquisa consiste em um “procedimento reflexivo sistemático, controlado e crítico que permite descobrir novos fatos ou dados, relações ou leis, em qualquer campo do conhecimento”. Deste modo, a pesquisa trata-se de algo próprio da natureza humana (Barros, Lehfeld, 1990), que compreende a tarefa de reunir informações pertinentes para a resolução de um problema previamente estabelecido (BOOTH, COLOMB, WILLIAMS, 2000).

Rudio (1999) afirma que a pesquisa científica se distingue de qualquer outra modalidade de pesquisa pelo método, pelas técnicas, por estar voltada para a realidade empírica, e pela forma de comunicar o conhecimento obtido.

Para que a pesquisa receba o qualificativo de “científica”, é necessário que seja desenvolvida de maneira organizada e sistemática, seguindo um planejamento previamente estabelecido pelo pesquisador. É no planejamento da pesquisa que se determina o caminho a ser percorrido na investigação do objeto de estudo (HEERDT; LEONEL, 2007).

Segundo Barros e Lehfeld (1990), a finalidade da pesquisa é resolver problemas e solucionar dúvidas, mediante a utilização de procedimentos científicos e a partir de interrogações formuladas em relação a pontos ou fatos que permanecem obscuros e necessitam de explicações plausíveis e respostas que venham a elucidá-las.

Já para Gil (1999), um bom pesquisador precisa, além do conhecimento do assunto, ter curiosidade, criatividade, integridade intelectual e sensibilidade social. São igualmente importantes a humildade para ter atitude autocorretiva, a imaginação disciplinada, a perseverança, a paciência e a confiança na experiência.

Além dessas características, o pesquisador precisa conhecer a metodologia específica, que para Fonseca (2002), é o estudo da organização dos caminhos a serem percorridos ou utilizados para a realização de uma pesquisa científica.

Para Quivy e Campenhoudt (1995), a elaboração da pesquisa científica está dividida em sete diferentes etapas compostas dos seguintes elementos: formulação da questão inicial; exploração da questão inicial (por meio de leitura e de coleta de dados exploratória); elaboração da problemática; construção de um modelo de análise; coleta de dados; análise das informações e as conclusões.

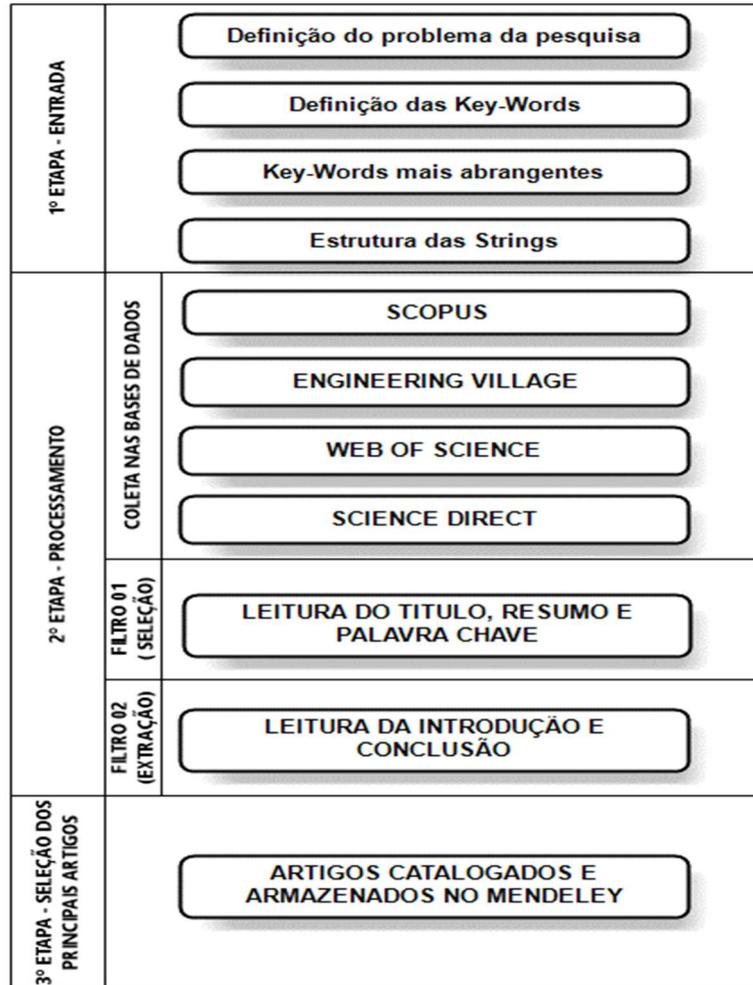
Além das etapas de elaboração da pesquisa científica, Vergara (2007) define a pesquisa científica por dois critérios básicos: quanto aos fins e quanto aos meios. Com base em Miguel (2010) e Ganga (2012), os principais tipos de pesquisa quanto aos fins são: descritiva, explicativa, exploratória, aplicada, intervencionista e metodológica. Quanto aos meios, os mesmos autores classificaram a pesquisa em: de campo, bibliográfica, estudo de caso, levantamento (*survey*), de laboratório; documental, pesquisa-ação, pesquisa *ex-post-facto*, experimental; de participante, de modelagem, de simulação.

3.2. Desenvolvimento da Revisão Sistemática

O referencial teórico, base do desenvolvimento deste estudo, foi elaborado a partir da técnica da Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Para a sua realização foram seguidas as diretrizes propostas por Conforto, Amaral e Silva (2011).

A RSL desenvolvida no presente trabalho deu-se a partir de um modelo estruturado por meio das seguintes etapas: entrada, processamento e seleção dos principais artigos. A partir das etapas da técnica de RSL mencionada, e para auxiliar no desenvolvimento da pesquisa, utilizou-se uma ferramenta denominada StArt (State of the Art, por meio de Revisão Sistemática), desenvolvida pelo LAPESUFSCAR (Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* da Universidade Federal de São Carlos) para dar suporte à aplicação da técnica. A Figura 3.1 representa um esquema do modelo para a RSL descrita.

Figura 3.1 - Representação do modelo da RSL.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Segundo os autores Conforto, Amaral e Silva (2011), a definição do problema é o ponto de partida da revisão bibliográfica sistemática. Busca-se responder uma ou mais perguntas com a revisão bibliográfica. Assim, para a elaboração do objeto de estudo, foram idealizados questionamentos que nortearam a presente investigação, já apresentados, tais como:

- a) Quais os índices de perdas para os tipos de resíduos de construção civil (RCC) na indústria da construção civil?
- b) Quais os principais métodos para estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC)?
- c) É possível por meio da modelagem BIM estimar o volume de RCC por tipo nas etapas iniciais do projeto, como também realizar uma previsão quanto ao seu custo de disposição?

Após as definições dos questionamentos, buscou-se fontes primárias a partir de uma revisão bibliográfica preliminar, sem o rigor de uma revisão sistemática, fazendo leituras de artigos, periódicos e base de dados acerca de temas que tivessem relação ao objeto de estudo. Com o resultado dessa busca, foi possível desenvolver um quadro de palavras-chaves que representem o tema e que possibilitem retornar na busca artigos relevantes para a pesquisa.

O passo seguinte foi organizar as palavras-chaves selecionadas em grupos por área independente, e realizar combinações entre cada grupo com o objetivo de encontrar as combinações com o maior retorno de artigos referentes ao tema. Para que isso fosse possível, a base *Web of Science*[®] foi adotada neste trabalho pelo fato de possibilitar a realização das combinações, além de apresentar os quantitativos de artigos encontrados referentes a essas *strings*.

Com a obtenção das palavras-chaves mais abrangentes, iniciou-se a construção da *string* que representasse os termos de busca, utilizando-se, para isso, da lógica booleana com os conectivos “AND” e “OR”, normalmente aplicados em buscas avançadas ou buscas booleanas, procurando assim possibilitar a replicagem nas diversas bases de dados de maneira semelhante com a finalidade de retornar a maior quantidade de trabalhos relevantes sobre o tema estudado.

Uma vez estruturadas, as *strings* de busca foram aplicadas às bases de dados *Scopus*[®], *Engineering Village*[®], *Web of Science*[®] e *Science Direct*[®], selecionadas pelo pesquisador, obtendo-se assim um banco de dados a partir dos artigos encontrados em cada base. Estes artigos foram salvos em formato *Bib Tex* e, em seguida, exportados para a ferramenta *Start* onde foram aplicados filtros com o objetivo de refinar cada vez mais os resultados da RSL.

Paralelamente a este procedimento, fez-se uso da ferramenta *StArt*, onde primeiramente foi preenchido o protocolo encontrado no campo denominado “*planning*”, com as seguintes informações: objetivos da pesquisa, pergunta problema, as palavras chaves usadas na criação da *string* de pesquisa, os critérios de inclusão e exclusão, as línguas dos trabalhos, quais as bases de dados e o classificador qualitativo (ruim, regular, bom e ótimo).

Após o recebimento das informações pela ferramenta e as definições dos critérios de inclusão e exclusão, os artigos retornados das bases de dados são submetidos aos filtros de leitura encontrados na ferramenta *StArt* chamados “*selection*” e “*extraction*” sucessivamente.

No primeiro filtro (*selection*), foram realizadas somente as leituras de título, resumo e palavras-chaves dos artigos, com a finalidade de conferir as palavras-chaves definidas pelos

autores dos artigos e sua aderência com aquelas utilizadas na construção da *string*. Os artigos alinhados com os objetivos da pesquisa e que atenderam aos critérios de inclusão foram selecionados para o próximo filtro. Já o segundo filtro (*extraction*) consistiu na leitura da introdução e conclusão dos artigos e os que não atenderam aos objetivos de busca e aos critérios de inclusão foram eliminados da revisão. Por sua vez, os artigos selecionados neste filtro foram lidos de forma completa.

No final do processo de filtragem a ferramenta *StArt* gera informações úteis para análises do desempenho da RSL e servem como embasamento para síntese dos resultados e compreensão do estado da arte no tema pesquisado. Além disso, possibilita a identificação de trabalhos relevantes para a pesquisa que não foram encontrados pelas bases de pesquisa e *strings* utilizadas, chamados de amostragem em bola de neve.

Os artigos que foram selecionados no segundo filtro e irão embasar a pesquisa, serão armazenados com o apoio de um *software Mendeley*[®] para gerenciamento de referências, permitindo ao pesquisador a marcação no texto, o registro e anotações como resultado da leitura dos artigos.

3.3. Delineamento da Pesquisa

A estrutura metodológica inicialmente utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa está classificada em relação aos seus fins e aos seus procedimentos metodológicos e dá-se, em consequência de:

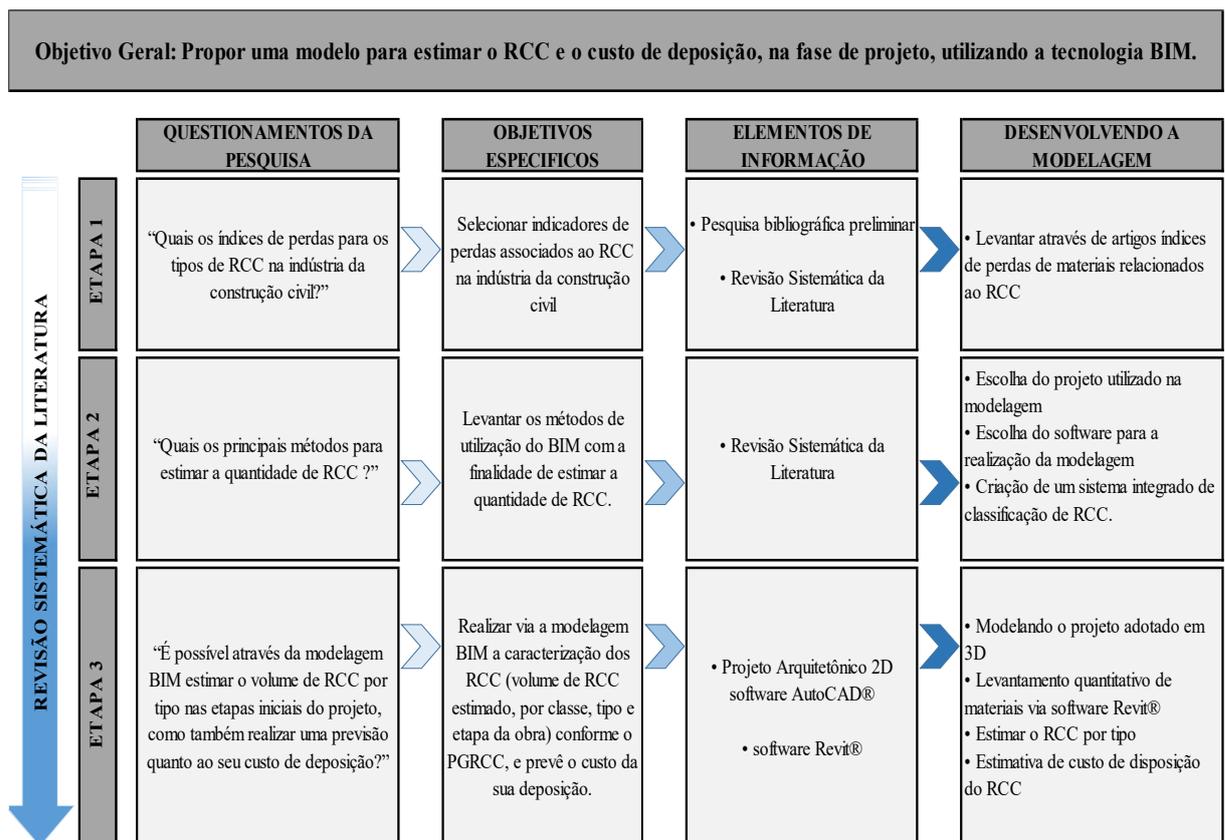
- a) Classificação em relação aos seus fins: A pesquisa é exploratória e descritiva, foi assim classificada em função da necessidade de levantar informações sobre indicadores de perdas de matérias relacionados ao RCC e métodos de utilização do BIM, com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil e, com isso, obter a familiarização do pesquisador com o objeto que está sendo investigado durante a pesquisa.
- b) Classificação em relação aos procedimentos metodológicos: A pesquisa bibliográfica foi utilizada com a finalidade de adquirir conhecimento da produção científica existente sobre o tema da pesquisa e a modelagem foi empregada com o propósito de quantificar os RCCs, utilizando-se para isso de um modelo parametrizado em indicadores. Simulações foram aplicadas ao

modelo, utilizando-se o *software* Revit®, com o objetivo de alcançar o objeto de estudo do presente trabalho.

A pesquisa iniciou-se por meio da elaboração da técnica chamada de revisão sistemática da literatura (RSL), com o objetivo de buscar evidências na literatura que servissem de base para o desenvolvimento do tema proposto para esse trabalho.

Após a elaboração da RSL, desenvolveu-se o delineamento da pesquisa para ajudar a entender os caminhos percorridos pelo pesquisador para alcançar o objetivo geral deste trabalho. O delineamento encontra-se dividido em três etapas, e cada etapa é desenvolvida de acordo com os seguintes itens: questionamentos da pesquisa, objetivos específicos, elementos de informação e, por último, o desenvolvimento da modelagem, conforme mostra a Figura 3.2.

Figura 3.2 – Delineamento da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

3.4. Etapa 1: Seleção dos índices de perdas

A questão que norteou a realização da primeira etapa da pesquisa consistiu em verificar os índices de perdas para os RCCs na indústria da construção civil, e esse questionamento trouxe como objetivo específico selecionar indicadores de perdas associados aos RCCs na indústria da construção civil.

Assim, a primeira iniciativa do pesquisador foi identificar índices de perdas de materiais que poderiam ser utilizados na elaboração da modelagem BIM a ser construída para estimar a geração de RCC.

Portanto, para que ocorra esta identificação, foi realizado, por meio do levantamento bibliográfico preliminar e posteriormente da revisão sistemática da literatura, artigos que apresentaram em suas pesquisas índices de perdas de materiais relacionados ao RCC, os quais foram processados para coordenar as informações dos índices de perdas encontrados a nível nacional e internacional.

Os resultados iniciais trouxeram particularidades em relação aos índices, conforme observado no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Informações iniciais relacionadas aos Índices de RCC.

Autores	Ano	País	Nº de Canteiros	Nº de Materiais	Perdas Física
SKOYLES	1976	REINO UNIDO	114	22	ENTULHO
PINTO	1989	BRASIL	1	10	ENTULHO/ INCORPORADO
HONG KONG POLYTECHNIC	1993	HONG KONG	13	8	ENTULHO
SOIBELMAN	1993	BRASIL	5	7	ENTULHO/ INCORPORADO
SANTOS	1995	BRASIL	1	4	ENTULHO/ INCORPORADO
ENSHASSI	1996	ISRAEL	86	4	ENTULHO/ INCORPORADO
MACDONALD E SMITHERS	1998	AUTRÁLIA	2	8	ENTULHO/ INCORPORADO
FORMOSO	1998	BRASIL	5	7	ENTULHO/ INCORPORADO
ANDRADE E COLABORADORES	2001	BRASIL	100	12	ENTULHO
ESPINELLI	2005	BRASIL	1	10	ENTULHO
JALALI	2007	PORTUGAL	1	4	ENTULHO
TCPO	2013	BRASIL	100	8500	ENTULHO/ INCORPORADO

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Foram encontrados 41 materiais de construção com os seus respectivos índices de perdas, e importados para o software (Microsoft Office Excel®) onde foram organizados e formatados, e posteriormente foi calculada a média aritmética dos índices de perdas de cada um dos materiais. Os resultados serviram de base para a criação da modelagem BIM e a compilação dos mesmos está demonstrado na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Média dos índices de perdas dos materiais

MATERIAIS	SKOYLES (1976)	PINTO (1999)	HONG KONG POLYTECHNIC (1993)	SOIBELMAN (1993)	SANTOS (1995)	ENSHASSI (1996)	MACDONALDE SMITHERS (1998)	FORMOSO (1998)	ANDRADE (2001)	ESPINELLI (2005)	JALALI (2007)	TCPO (2018)	MÉDIA	UNID.
Concreto Usinado		0,0134	0,11	0,129			0,067	0,1318	0,014	0,09	1,76	0,33	0,294	m³/m³
Concreto em Infraestrutura	0,08		0,11										0,095	m³/m³
Concreto em Superestrutura	0,02		0,11										0,065	m³/m³
Cimento		0,33		0,826				0,8413					0,666	kg/kg
Areia		0,39		0,444				0,4576					0,431	kg/kg
Cal Hidratada		1,02											1,020	kg/kg
Aço	0,05	0,26		0,19		0,021	0,085	0,1907	0,077	0,11	0,6	0,16	0,174	kg/kg
Tijolos Furados	0,08	0,13	0,11	0,5	0,054	0,032		0,2764	0,13	0,13			0,160	m²/m²
Tijolos à Vista	0,12					0,049							0,085	m²/m²
Tijolos Estruturais Maciços	0,1			0,54	0,255			0,2694					0,291	m²/m²
Tijolos Estruturais Vazados	0,05												0,050	m²/m²
Blocos Leves	0,09												0,090	m²/m²
Blocos de Concreto	0,07	0,13	0,11						0,13	0,13			0,114	m²/m²
Telhas (Inclusive de Cumeeira)	0,1											0,1	0,100	m²/m²
Madeira em Geral	0,15	0,475	1				0,138				1,4		0,633	m³/m³
Chapisco Interno			0,03									0,1	0,065	m³/m²
Chapisco Externo			0,05									0,1	0,075	m³/m²
Argamassa Alvenaria			0,05	0,936				0,9125	0,002				0,475	m³/m²
Argamassa Paredes	0,05		0,15	0,936					0,002				0,285	m³/m²
Argamassa Tetos	0,03												0,030	m³/m²
Argamassa Fachada			0,15	0,936					0,001				0,362	m³/m²
Argamassa Contrapiso			0,15	0,936					0,001				0,362	m³/m²
Argamassa Colante Piso		0,865		0,936									0,901	m³/m²
Placas Cerâmicas Fachada	0,03	0,095	0,15						0,13	0,14			0,109	m²/m²
Placas Cerâmicas Piso	0,03	0,075	0,15						0,13	0,14			0,117	m²/m²
Placas Cerâmicas piso									0,13	0,14			0,135	m²/m²
Revestimento Têxtil							0,067			0,14			0,104	m²/m²
Gesso - Paredes									0,001	0,3			0,151	m³/m²
Gesso – Teto									0,001	0,3		0,1	0,134	m³/m²
Painéis de Gesso Acartonado							0,196						0,196	m³/m²
Eletrodutos										0,15			0,150	m/m
Tubos – PVC	0,03									0,15			0,090	m/m
Tubos – Cobre	0,07												0,070	m/m
Conexões – Cobre	0,03												0,030	unid.
Tintas										0,17			0,170	m²/m²
Fios										0,27			0,270	m/m
Vidros – Chapa	0,09						0,04						0,065	m²/m²
Janelas Pré-Envidraçadas	0,16												0,160	unid.
Resíduos Misto							0,152						0,152	m³/m³
Embalagem – Papel							0,012				7,3		3,656	kg
Embalagem – Plástico							0,069				5,8		2,935	kg

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

3.5. Etapa 2: Método BIM de estimativa de RCC

A questão da pesquisa que conduziu à realização desta etapa compreende em verificar quais os principais métodos utilizados para estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC). A partir deste questionamento, foi proposto o objetivo específico, “levantar os métodos de utilização do BIM com a finalidade de estimar a quantidade de resíduos de construção civil (RCC)”.

Os levantamentos dos artigos foram realizados por meio dos resultados obtidos da RSL, e revelaram dez artigos que utilizaram em seus métodos a modelagem BIM para estimar os RCCs, conforme apresentado no Quadro 4.2.

Além de apresentarem métodos relacionados com a modelagem BIM, os resultados dos artigos encontrados na investigação trazem também, especificidades importantes em suas pesquisas, tais como: suas aplicações, estágios do ciclo de vida do projeto, o *software* utilizado na modelagem e também indicam, que 60% dos artigos levantados utilizam o software Revit® como ferramenta para a realização de suas modelagens.

Quadro 4.2 – Pesquisas relacionadas à estimativa de RCC utilizando a modelagem BIM

REFERÊNCIAS	ANO	PAÍS	MÉTODOS BIM DE ESTIMATIVA DE RESÍDUOS	APLICAÇÕES	ESTAGIO	SOFTWARE BIM UTILIZADO
Atul Porwal ; e Kasun N. Hewage	2012	Canadá	Análise Baseada em Modelagem de Informações da Construção para Minimizar a Taxa de Desperdício de Reforço Estrutural	Análise de otimização de vergalhão	Projeto	Autodesk Revit® Structure
Jack C.P.Cheng; e Lauren Y.H.Ma	2013	Hong Kong	Um sistema baseado em BIM para estimativa e planejamento de resíduos de demolição e renovação	Obras de demolição e Reforma	Projeto	Autodesk Revit® Structure
Jae Woo Park; Gi Wook Cha; Won Hwa Hong; e Hyun Cheol Seo	2014	Korea	Um Estudo sobre o Estabelecimento do Sistema de Banco de Dados de Demolição de Resíduos por Materiais de Construção Baseados em BIM	Obras de Demolição	Projeto	Archicad®
Won, J.; Cheng, JCP; Lee, G.	2016	Korea	Quantificação de resíduos de construção impedidos pela validação de projeto baseada em BIM: estudos de caso na Coréia do Sul	Erros de Projeto	Projeto, pré-construção e construção	Archicad® e Autodesk Revit®
Young-Chan Kim; Won-Hwa Hong; Jae-Woo Park; Gi-Wook Cha	2017	Korea	Uma estrutura de estimativa para resíduos de demolição baseados em modelagem de informações de construção (BIM) por tipo	Obra de Demolição	Projeto	Archicad®
Haitao Wei; Shunyi Zheng; Like Zhao; Rongyong Huang	2017	China	Cálculo baseado no método BIM de materiais auxiliares necessários na construção de moradias	Materiais auxiliares (Madeira)	Construção	SQLite®, OSG® (OpenSceneGraph), Visual C ++ 2010®

Weisheng Lu; Chris Webster; Ke Chen; Xiaoling Zhang; Xi Chen	2017	Hong Kong	Modelagem computacional de informações de construção para gerenciamento de resíduos de construção: movendo-se da retórica para a realidade	RCD	Projeto e construção	Autodesk Revit® e Archicad®
Xin Janet Ge; Peter Livesey; Jun Wang; Shoudong Huang; Xiangjian He; Chengqi Zhang	2017	Austrália	Desconstrução do gerenciamento de resíduos por meio da reconstrução 3d e bim: um estudo de caso	Deconstrução Resíduos de Demolição	Projeto	Autodesk Revit® Structure
Yiliao Song; Yong Wang; Feng Liu; Yixin Zhang	2017	China	Desenvolvimento de um modelo híbrido para prever resíduos de construção e demolição: a China como um estudo de caso	Previsões de RCD	Construção e Demolição	-
Hexu Liu; Gurjeet Singh; Ming Lu; Ahmed Bouferguen; Mohamed Al-Husseina	2018	Canadá	Projeto e planejamento automatizados baseados em BIM para embarque de edifícios residenciais com estrutura de luz	Estruturas Leves (Madeira, Driwall)	Projeto	Autodesk Revit® (Revit API)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Após a análise das características de cada um dos métodos levantados, o método proposto por Kim *et al.* (2017) foi selecionado, e serviu de base para o desenvolvimento da modelagem do presente trabalho, em função principalmente dos seguintes aspectos:

- A maior familiaridade inicial do pesquisador com o método proposto
- Por estar caracterizado como um método indireto, que utiliza índices obtidos em literaturas existentes para a realização de quantificações de resíduos.
- Apesar da aplicação do método do autor ser direcionada a obras de demolição, o processo de classificação e estimativa de resíduos baseados em BIM, pode ser adequado para alcançar os objetivos deste estudo.

Em seguida, passos baseados no modelo proposto por Kim *et al.* (2017) são apresentados, com a finalidade de favorecer o desenvolvimento de uma nova modelagem BIM que possibilite alcançar o objetivo deste trabalho.

Passo 1 - Escolha do projeto utilizado na modelagem

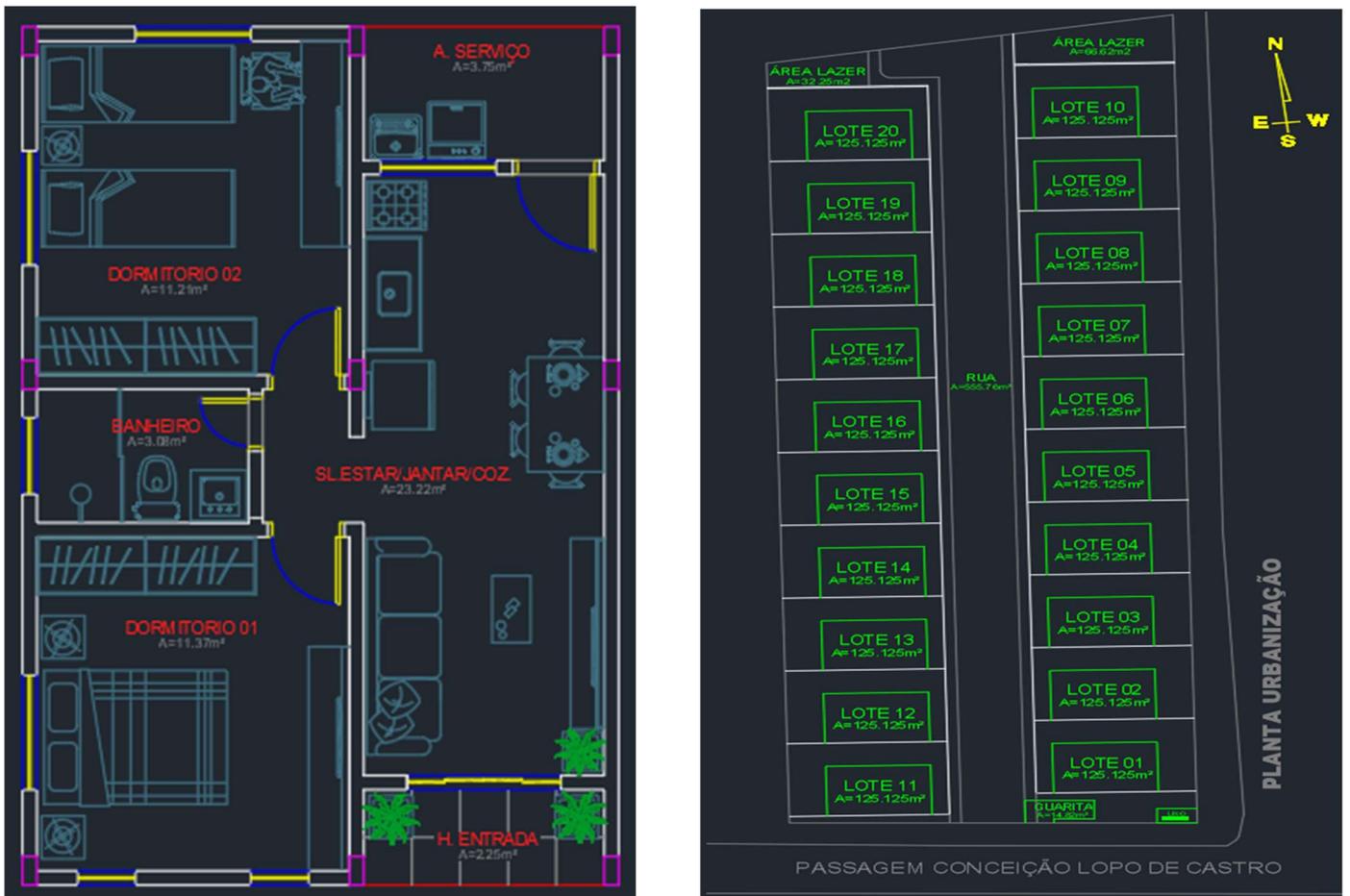
O projeto de estudo consiste na edificação de um condomínio que se encontra em fase de construção, localizado na região metropolitana de Belém, bairro Águas Lindas, Ananindeua - PA. A construção iniciou no segundo semestre de 2018 com previsão de término no primeiro semestre de 2019, e seu terreno possui 3.442,49m² de área, sendo que 1.137,00m² são de área construída.

O empreendimento é de uma empresa de pequeno porte (EPP) especializada no ramo de construção civil e reformas em geral, a qual constrói habitações visando à venda por meio do programa minha casa minha vida (MCMV), uma iniciativa do governo federal usada para

financiar moradias em áreas urbanas para famílias de baixa renda. Os imóveis estão sendo construídos objetivando os consumidores que estão inseridos dentro do programa na faixa 1,5 com renda familiar em até R\$ 2.600,00.

O residencial foi projetado para compor vinte unidades habitacionais (casas térreas), com parque infantil, área verde, via de acesso e passeios. Cada unidade é formada por um *hall* de entrada, sala integrada (estar, jantar e cozinha), dois dormitórios, um banheiro social, área de serviço e uma vaga de garagem. A Figura 4.1 representa o projeto arquitetônico e planta de localização do empreendimento no *software AutoCAD*® em formato dwg.

Figura 2 – Projeto Arquitetônico e Planta de Localização – sem escala.



Fonte: Construtora alvo da pesquisa (2019)

Os principais desafios nesta etapa foram: a dificuldade em encontrar empresas que colaborassem com o desenvolvimento e integração da pesquisa e a falta de informações

(memorial descritivo, orçamento e cronograma físico financeiro) relacionadas ao planejamento da obra. Tais informações facilitariam o desenvolvimento desta pesquisa, principalmente na fase de quantificação de materiais.

Passo 2 - Escolha do *software* para a realização da modelagem

A escolha do Autodesk Revit® como o software adotado para estruturar a modelagem BIM desta pesquisa deu-se pelos seguintes fatores:

- a) Devido ao elevado índice de parametrização de objetos apresentado pelo *software*, segundo a pesquisa realizada por Gaspar e Manzione (2015);
- b) Em razão dos resultados apresentados no Quadro 4.2, onde observou-se que 60% dos artigos encontrados utilizaram esse *software* em seus métodos;
- c) Da disponibilidade de recursos necessários, no que diz respeito à sua funcionalidade para a obtenção de um nível de desenvolvimento 3D BIM; e
- d) Sua capacidade de incorporar dimensões e propriedades aos objetos de entrada, tornando assim possível estimar a quantidade de RCC da edificação utilizada nesta pesquisa.

No *software* Revit®, esses objetos paramétricos (objetos de construção 3D), como paredes, pisos, telhados, estruturas, janelas, portas e outros objetos, conforme necessário, são chamados de “famílias”. As famílias do Revit® podem ser criadas como modelos paramétricos com dimensões e propriedades, permitindo assim que os usuários modifiquem um determinado componente, alterando parâmetros predefinidos, como altura, largura e tipo de material. Desta forma, uma família define uma geometria que é controlada por parâmetros, cada combinação de parâmetros pode ser salva como um tipo e cada ocorrência de um tipo também pode conter mais variações.

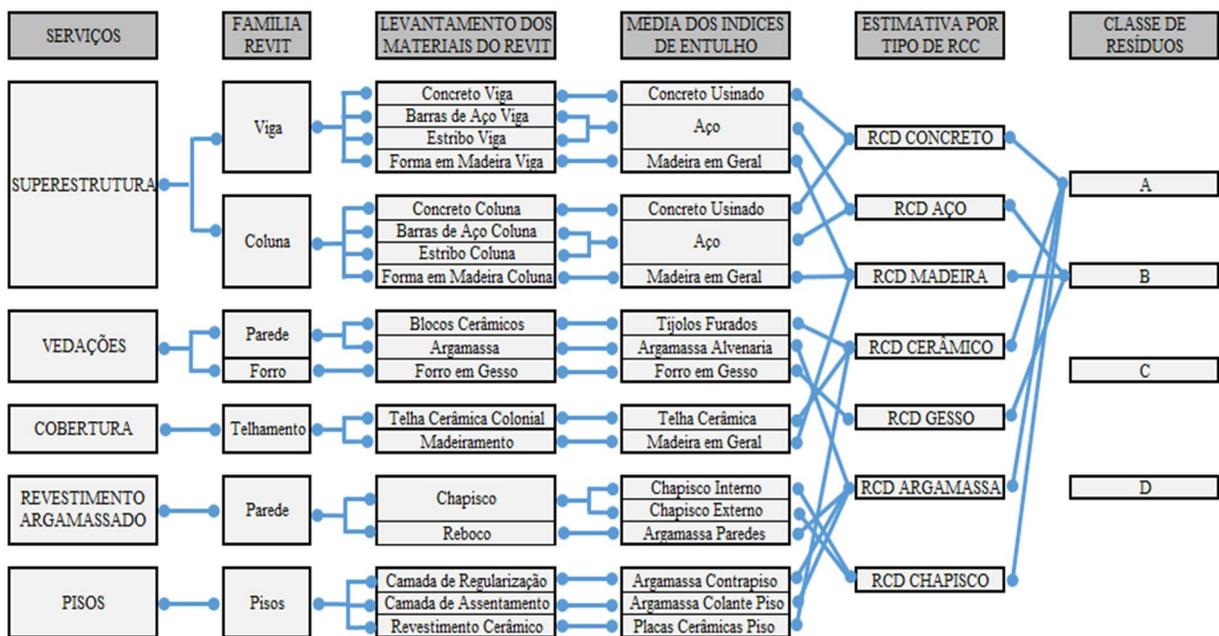
Passo 3 - Um sistema integrado de classificação por tipo de RCC

Durante a fase de construção de uma edificação, são utilizados vários materiais, porém é nessa fase de execução que muitos destes materiais são descartados sobre a forma de resíduos de construção. Assim, a primeira ação para a realização desta etapa foi escolher quais serviços seriam utilizados para o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que o empreendimento já se encontrava em fase de execução.

Foi realizada uma avaliação das informações contidas no projeto arquitetônico, e os serviços de execução de superestrutura (vigas e colunas), vedações (paredes e forro), cobertura (telhamento), revestimentos argamassados (parede) e pisos foram selecionados para a realização da estimativa de RCC, alvo desta pesquisa.

Assim, um sistema integrado de classificação dos RCCs por tipo de material, relacionados aos serviços escolhidos para a construção da modelagem foi criado, envolvendo os parâmetros das famílias do Revit® por serviço, os materiais necessários para cada família e os índices de perdas dos materiais relacionados ao entulho, apresentados no resultado da etapa 1 deste trabalho. O sistema integrado auxilia o desenvolvimento da modelagem BIM na obtenção da estimativa de RCC por tipo. Observa-se na Figura 4.2 o caminho traçado pelo pesquisador para alcançar a estimativa por tipo de RCC.

Figura 4.2 – Sistema Integrado de Classificação por Tipo de RCC



Fonte: O Autor (2019)

3.6. Etapa 3: Modelagem BIM - Estimativa e custo de disposição de RCC

A questão da pesquisa que conduziu a realização desta etapa consistiu em verificar a possibilidade de estimativa do volume de RCC por tipo, nas etapas iniciais do projeto como também realizar uma previsão quanto ao seu custo de disposição por meio da modelagem BIM.

A partir deste questionamento, foram propostos os objetivos específicos: “Realizar via a modelagem BIM a caracterização dos RCCs (volume de RCC estimado, por classe, tipo e etapa da obra) conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC)”, e “Realizar via modelagem BIM, a previsão do custo de disposição dos RCCs estimados”.

Portanto, foi criada uma modelagem BIM para quantificar os RCCs e prever o custo de sua disposição. Na trajetória da criação da modelagem BIM, o pesquisador fez uso dos resultados obtidos nas etapas 1 e 2 deste trabalho, referentes à seleção dos índices de perdas e adequações realizadas no método proposto por Kim *et al.* (2017), visando assim alcançar a minimização e o gerenciamento do RCC.

Desta forma, a criação da modelagem BIM proposta pelo pesquisador foi realizada em quatro passos conforme detalhado a seguir: Modelagem do projeto adotado em 3D; Levantamento quantitativo de material via *software* Revit®; Estimativa de RCC por tipo e Estimativa de custo de disposição do RCC.

Passo 1 – Modelagem do projeto adotado em 3D

Com os resultados adquiridos no passo 1 da etapa 2, relacionados à descrição do projeto e ao *software* (AutoCad®) utilizado para desenhar o projeto arquitetônico do empreendimento, o passo inicial realizado pelo pesquisador foi redesenhar o projeto em 3D, utilizando-se, para isso, de um *software* BIM.

Em seguida, foi definido o nível de desenvolvimento ou *LOD* (*Level of Development*) que o projeto deveria apresentar, com o objetivo de se identificarem informações detalhadas, que auxiliaram a pesquisa na criação da modelagem de quantificação proposta.

Após a definição do *LOD* e de posse das informações obtidas no projeto arquitetônico (AutoCad®), o próximo passo foi modelar em 3D (três dimensões) o projeto e, para isso, foi utilizado o *software* Autodesk Revit®, definido no resultado do passo 2 da etapa 2. O objetivo de se modelar o projeto é conhecer cada uma das famílias que formam a edificação e assim identificar informações que estejam relacionadas a seus parâmetros geométricos e não geométricos. Isso foi possível devido ao *software* Autodesk Revit® parametrizar as informações e, com isso, gerar uma modelagem em três dimensões, facilitando assim a percepção e verificação de possíveis inconformidades.

Passo 2 – Levantamento quantitativo de materiais via *software*.

Com o projeto modelado em 3D, o próximo passo realizado pelo pesquisador foi a obtenção do levantamento quantitativo de todos os materiais dos serviços apresentados nos resultados do passo 3 da etapa 2.

Para a execução desse passo, o pesquisador baseou-se no sistema integrado de classificação por tipo de RCC exibido no resultado do passo 3 da etapa 2, visando contribuir com a criação da modelagem BIM proposta por este trabalho.

Assim, após inserir os parâmetros geométricos e não geométricos de cada família dos serviços utilizados para modelar o projeto, as unidades de medidas (comprimento, altura, peso, área, volume etc.) de todos os materiais, que compõem a família de cada serviço, foram calculadas, usando a função de programação no menu Revit[®], obtendo-se assim um maior nível de detalhamento e precisão da quantificação.

Passo 3 – Estimativa de RCC por tipo

O próximo passo para o desenvolvimento da modelagem BIM, foi a caracterização dos RCCs (volume de RCC estimado por classe, tipo e etapa da obra), conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC) para cada um dos materiais pertencentes a suas famílias.

Para a execução desse passo, o pesquisador baseou-se no sistema integrado de classificação por tipo de RCC exibido no resultado do passo 3 da etapa 2, visando assim a criação da modelagem BIM proposta por este trabalho.

Deste modo, para alcançar a estimativa de RCC para cada material por meio da modelagem BIM, o pesquisador deverá inserir nas tabelas obtidas no resultado do passo 2 da etapa 3 as informações sobre a classificação de cada material, conforme a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) e as médias dos índices de perdas obtidas no resultado da etapa 1.

Passo 4 – Estimativa de custo de disposição do RCC

Com os resultados das estimativas de RCC por tipo, o próximo passo será estimar o custo de disposição dos resíduos por meio da modelagem BIM.

Inicialmente, deve-se fazer a conversão de todos os materiais obtidos na estimativa de RCC que não estão expressos em metro cúbico (m^3) e, para isso, foram utilizadas suas densidades.

Após a conversão, é necessário realizar uma pesquisa de mercado em empresas transportadoras de resíduos da construção na região do empreendimento, objetivando conhecer os valores cobrados para a disposição e a capacidade de transporte de suas caçambas.

Essas informações possibilitam ao pesquisador encontrar o valor médio do custo de disposição de RCCs por metro cúbico (custo/ m^3), por meio da razão entre os valores de disposição de RCC e a capacidade do volume da caçamba.

Portanto, ao inserir o valor médio encontrado para o custo de disposição nas tabelas utilizadas para estimar o RCC de cada material (passo 3 da etapa 3), o pesquisador obtém automaticamente o custo total de disposição de RCCs por meio da modelagem BIM.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No capítulo a modelagem será realizada, e simulada para prever a estimativa e o custo de disposição do RCC de um empreendimento.

4.1. Resultados da Etapa 3

Esta etapa teve como objetivo principal realizar via modelagem BIM a caracterização dos RCCs (volume de RCC estimado por classe, tipo e etapa da obra), conforme o plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC), e prevê o custo da sua disposição.

Assim, para alcançar este objetivo, uma modelagem BIM foi desenvolvida com auxílio das informações obtidas nos resultados das etapas 1 e 2 deste trabalho. A seguir são apresentados os resultados dos passos para o desenvolvimento da modelagem.

Passo 1 – Modelando o projeto adotado em 3D

A escolha do *software* Revit® para modelar o projeto arquitetônico selecionado está justificado no resultado da etapa 2 deste trabalho e o nível de desenvolvimento 3D ou *LOD 300 (Level of Development)* foi aplicado com a finalidade de se obter uma modelagem BIM precisa, juntamente com as famílias definidas, tais como: quantidades, tamanhos, formas, localização e

orientações. Além das informações geométricas, este nível de desenvolvimento proporciona também anexar informações não geométricas às famílias do modelo.

De posse dos serviços selecionados e apresentados no passo 3 da etapa 2, o projeto foi modelado em 3D por meio do *software* Revit®, inserindo-se na modelagem todas as informações geométricas e não geométricas, bem como os dados característicos de cada um dos principais materiais de construção contidos no projeto em 2D (AutoCad®).

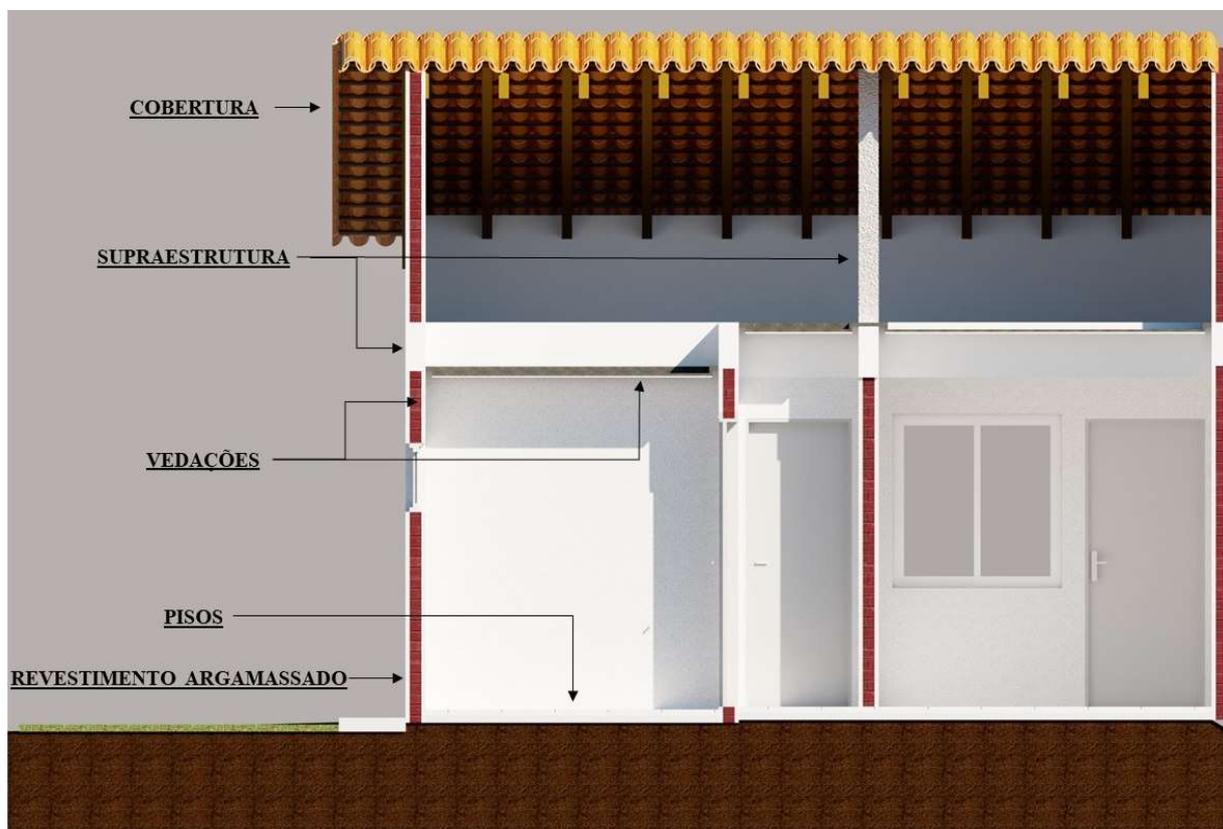
Além disso, quando vários materiais de construção são utilizados para um único serviço, os dados característicos de cada um dos materiais deste serviço devem ser inseridos na modelagem. As imagens apresentadas na Figura 4.3 (a) e (b) representam o projeto e seus respectivos serviços modelados em 3D por meio do *software* Revit®.

Figura 4.3 (a) - Projeto modelado em 3D



Fonte: O Autor (2019)

Figura 4.3 (b) - Corte modelado em 3D



Fonte: O Autor (2019)

Passo 2 – Levantamento quantitativo de materiais via *software* Revit®

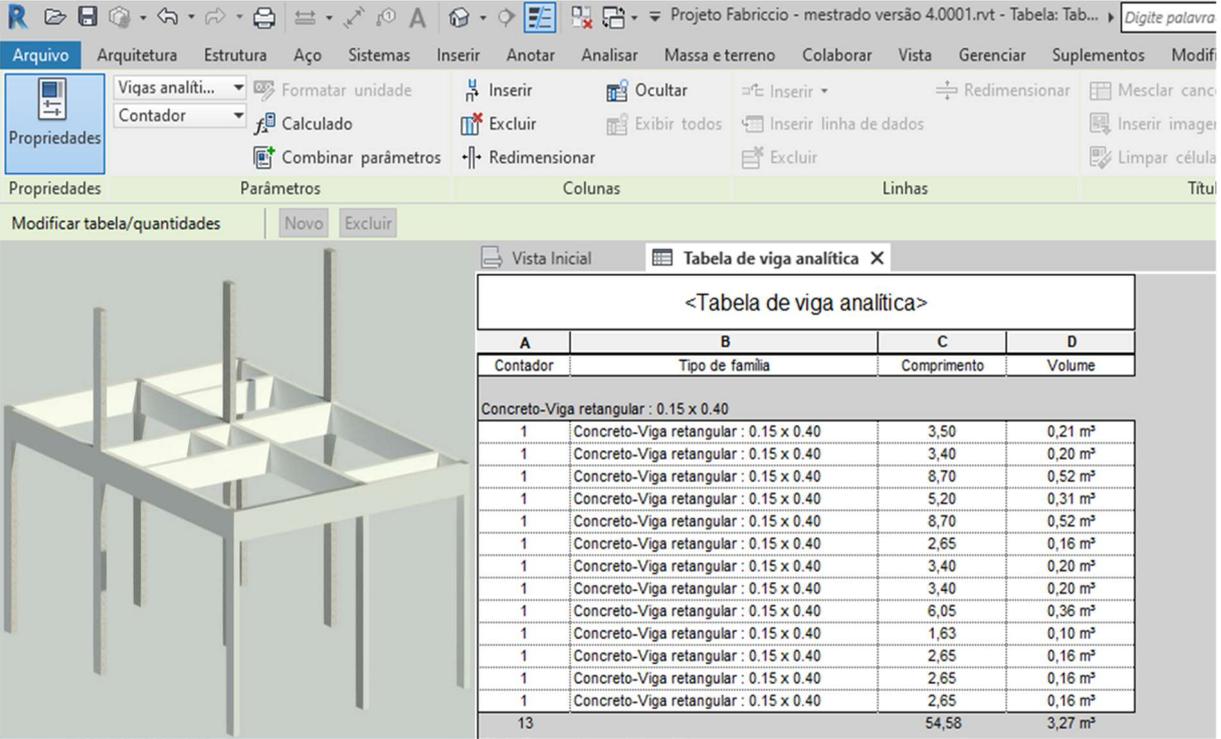
Os resultados do levantamento quantitativo de materiais, como já mencionado, foram obtidos por meio da função de programação no menu Revit®.

Portanto, após o desenvolvimento do modelo 3D, foram criadas tabelas (Apêndice A) na modelagem BIM, para cada material que compõe a família dos serviços de superestrutura, vedações, cobertura, revestimento argamassado e pisos, objetivando assim levantar as unidades de medidas (volume, área, comprimento, peso etc.) do material que se deseja quantificar. Desta forma, o pesquisador possibilitou um maior entendimento em relação à forma de obtenção da quantidade de materiais quantificados.

Observa-se na figura 4.4 que após inserir os parâmetros geométricos e não geométricos da família viga na modelagem, e ao selecionar as unidades de medidas nas propriedades da tabela o software gera informações sobre o material levantado. Neste exemplo, para o

empreendimento modelado os resultados obtidos do material da família Viga foram: 13 elementos estruturais (Concreto-Viga retangular: 0.15 x 0.40m), 54,58 metros de comprimento total, e 3,27 metros cúbicos de volume total de concreto.

Figura 4.4 – Levantamento quantitativo concreto viga e pilar



The screenshot shows a software interface with a 3D model of a concrete frame on the left and a 'Tabela de viga analítica' on the right. The table lists 13 individual elements and their cumulative totals.

<Tabela de viga analítica>			
A	B	C	D
Contador	Tipo de família	Comprimento	Volume
Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40			
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,50	0,21 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	5,20	0,31 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	6,05	0,36 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	1,63	0,10 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³
13		54,58	3,27 m³

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

A seguir é apresentado na Tabela 4.1 um resumo de todos os levantamentos quantitativos realizados para cada um dos materiais gerados pela modelagem BIM.

Tabela 4.1 – Resumo do levantamento quantitativo de materiais

Serviço	Classe RCC ^a	Família e tipo	Comprimento (m)	M.N.(Kg/m) ^b	Peso (Kg)	Área (m ²)	Volume (m ³)
Superestrutura	A	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40m	54,580			0,060	3,270
		Concreto-Coluna retangular: 0.15 x 0.30m	32,520			0,045	1,460
	B	Estribo 5mm CA-60 estribo - coluna	451,520	0,154	69,534		-
		Estribo 5mm CA-60 estribo - viga					
		Barra de aço 8mm CA-60 - coluna	356,190	0,395	140,695		-
Vedações	A	Parede básica: Parede de tijolo 9x19x24 cm	66,400			133,220	
		Parede básica: Argamassa/Parede de tijolo				133,220	1,060
	B	Forro Gesso: Plano 0.03 - H 2.80				50,830	1,510
Cobertura	B	Viga central madeira 25 x 12cm	6,600			0,030	0,200
		Madeira de lei : 2.5 cm x 5 cm ripa madeira	209,820			0,001	0,260
		Madeira de lei : 6 cm x 12 cm viga madeira	52,940			0,007	0,380
	A	Telhado básico: Telha Colonial				69,390	
Revestimento	A	Parede básica: Chapisco 0,005 m Externo	51,300			100,190	0,500
		Parede básica: Chapisco 0,005 m Interno	80,570			163,470	0,820
		Parede básica: Reboco 0,025 m Externo	54,590			103,270	2,580
		Parede básica: Reboco 0,025 m Interno	76,550			159,070	3,980
Pisos	A	Piso: Argamassa de Regularização (2 cm)				48,970	0,980
		Piso: Argamassa para piso (2,5cm)				48,970	1,220
		Piso: Piso (2cm) - Cerâmica Externo				48,970	0,980

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Passo 3 – Estimativa de RCC por tipo

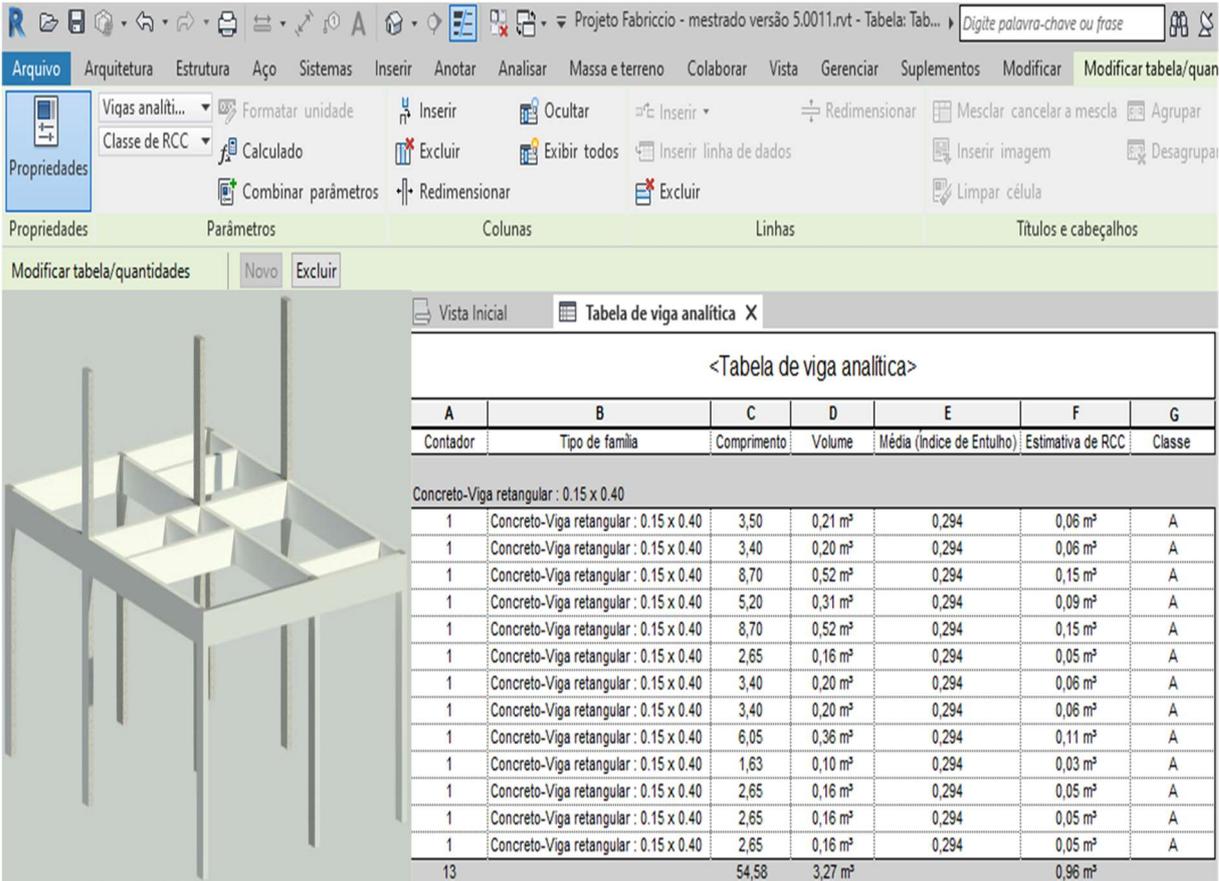
Para alcançar a estimativa de RCC, o pesquisador baseou-se no sistema integrado de classificação por tipo de RCC, proposto neste trabalho.

Assim, ao inserir as informações sobre a classificação, conforme a Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002) e os valores médios dos índices de perdas de cada material, nos resultados das tabelas obtidas no passo 2 da etapa 3, a modelagem BIM gerou automaticamente as estimativas de RCCs por tipo de material e classe.

Para possibilitar melhor entendimento sobre o processo de estimativa de RCC gerado pela modelagem BIM, foi apresentado na Figura 4.5 o resultado da modelagem realizada para o material (Concreto-Viga retangular: 0.15 x 0.40m). Isso foi possível após inserir na modelagem BIM a média de 0,294, referente ao índice de entulho do material (Concreto-Viga retangular: 0.15 x 0.40m) da família viga e a classe do RCC que o material pertence, neste exemplo a classe

A, o resultado gerado da estimativa de RCC para esse material foi 0,96 metros cúbicos de volume total de concreto.

Figura 4.5 – Modelagem BIM para estimativa de concreto.



The screenshot shows a BIM software interface with a 3D model of a concrete slab on the left and a table of analytical data on the right. The table is titled '<Tabela de viga analítica>' and contains the following data:

A	B	C	D	E	F	G
Contador	Tipo de família	Comprimento	Volume	Média (índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Classe
Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40						
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,50	0,21 m³	0,294	0,06 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³	0,294	0,15 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	5,20	0,31 m³	0,294	0,09 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³	0,294	0,15 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	6,05	0,36 m³	0,294	0,11 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	1,63	0,10 m³	0,294	0,03 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	A
13		54,58	3,27 m³		0,96 m³	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Assim, observou-se, no exemplo demonstrado na Figura 4.5, que a modelagem BIM proposta possibilitou a classificação dos RCCs por tipo, bem como realizou a previsão da estimativa do material utilizado neste serviço modelado. A Tabela 4.2 apresenta o resumo de todas as estimativas realizadas na modelagem BIM.

Tabela 4.2 – Resumo da estimativa de RCC por tipo

Serviço	Classe RCC	Família e tipo	Comprimento (m)	M.N. (Kg/m)	Peso (Kg)	Área (m ²)	Volume (m ³)	M.I.E	Est. RCC	Unid.	
Superestrutura	A	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40m	54,580			0,060	3,270	0,294	0,961	m ³	
		Concreto-Coluna retangular: 0.15 x 0.30m	32,520			0,045	1,460	0,294	0,429	m ³	
	B	Estribo 5mm CA-60 estribo - coluna	451,520	0,154	69,534			-	0,174	12,099	kg
		Estribo 5mm CA-60 estribo - viga									
		Barra de aço 8mm CA-60 - coluna	356,190	0,395	140,695			-	0,174	24,481	kg
		Barra de aço 8mm CA-60 - viga									
Vedações	A	Parede básica: Parede de tijolo 9x19x24 cm	66,400			133,220		0,160	21,315	m ²	
		Parede básica: Argamassa/Parede de tijolo				133,220	1,060	0,475	0,504	m ³	
	B	Forro Gesso: Plano 0.03 - H 2.80				50,830	1,510	0,134	0,202	m ³	
Cobertura	B	Viga central madeira 25 x 12cm	6,600			0,030	0,200	0,633	0,127	m ³	
		Madeira de lei : 2.5 cm x 5 cm ripa madeira	209,820			0,001	0,260	0,633	0,170	m ³	
		Madeira de lei : 6 cm x 12 cm viga madeira	52,940			0,007	0,380	0,633	0,241	m ³	
	A	Telhado básico: Telha Colonial				69,390		0,100	6,939	m ²	
Revestimento	A	Parede básica: Chapisco 0,005 m Externo	51,300			100,190	0,500	0,075	0,038	m ³	
		Parede básica: Chapisco 0,005 m Interno	80,570			163,470	0,820	0,065	0,061	m ³	
		Parede básica: Reboco 0,025 m Externo	54,590			103,270	2,580	0,362	0,935	m ³	
		Parede básica: Reboco 0,025 m Interno	76,550			159,070	3,980	0,285	1,440	m ³	
Pisos	A	Piso: Argamassa de Regularização (2 cm)				48,970	0,980	0,362	0,355	m ³	
		Piso: Argamassa para piso (2,5cm)				48,970	1,220	0,901	1,099	m ³	
		Piso: Piso (2cm) - Cerâmica Externo				48,970	0,980	0,117	0,115	m ³	

^a Classificação dos RCCs de acordo com a resolução nº 307/2002 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA

^b Massa nominal do aço (Kg/m)

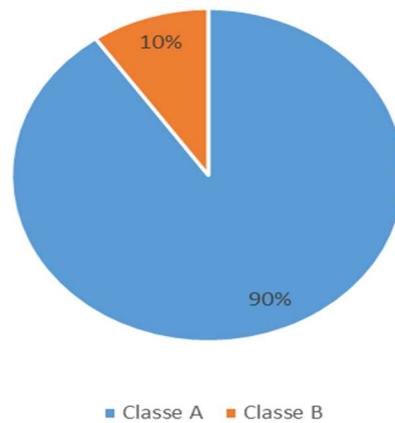
^c Média dos índices de perdas levantados pelo autor

^d Estimativa de RCC

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

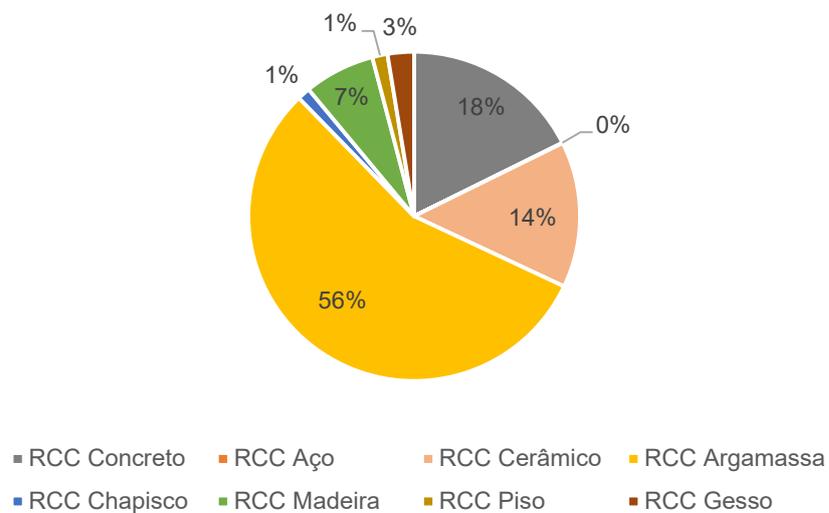
A estimativa de RCC gerada pela modelagem para uma unidade habitacional foi de 7,65 metros cúbicos, dos quais 10% desse valor compõem a Classe B, e 90% a Classe A, conforme apresentado na Figura 4.6. Os resultados apresentados na Figura 4.7, revelam que a argamassa foi o material com o maior potencial a ser desperdiçado, chegando a 56% em relação a estimativa total de um empreendimento.

Figura 4.6 – Porcentagem de RCC por classe



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura 4.7 – Porcentagem de RCC por material



Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Portanto, essas informações adquiridas por meio da modelagem BIM possibilitam auxiliar a elaboração do PGRCC de um projeto em relação à caracterização, aperfeiçoando, desta forma, o gerenciamento e a redução dos RCCs.

Passo 4 – Estimativa de custo de disposição do RCC

Antes de estimar o custo da disposição dos RCCs na modelagem BIM, os valores dos materiais como o aço (kg), parede (m²) e telhado (m²) foram convertidos para metro cúbico (m³), conforme apresentado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Conversão de materiais para (m³)

Família e tipo	Est. RCC	Unid.	Quant. /m ²	Peso Unit. kg	Σ Peso kg	ρ Kg/m ³	Σ RCC m ³
Estribo 5mm CA-60 estribo – coluna	12,099	Kg					
Estribo 5mm CA-60 estribo – viga					36,580	7800	0,005
Barra de aço 8mm CA-60 – coluna	24,481	Kg					
Barra de aço 8mm CA-60 – viga							
Parede de tijolo 9x19x24 cm	21,32	m ²	426,31	3,1	1321,57	1600	0,83
Telhado básico: Telha Colonial	6,94	m ²	231,48	1,5	347,21	2000	0,174

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

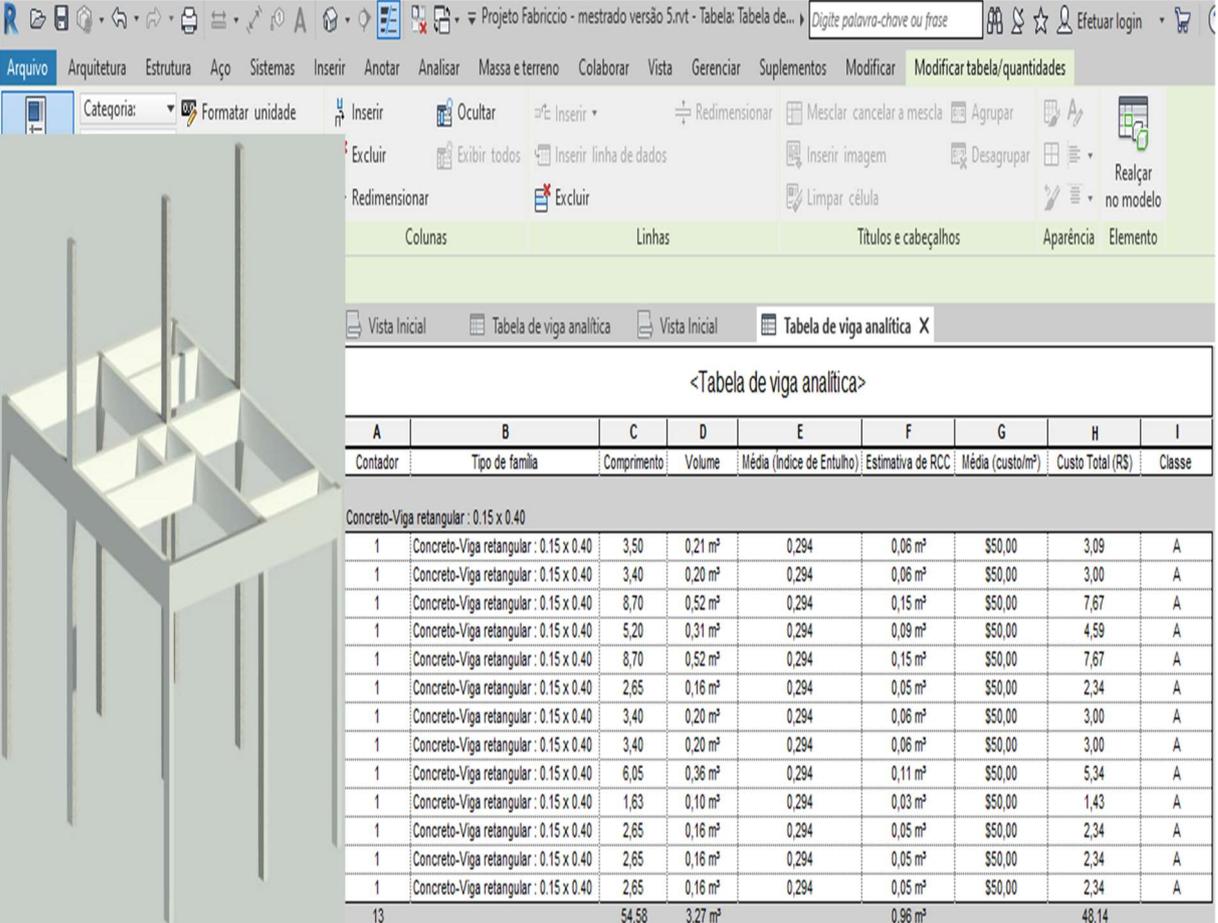
As pesquisas de mercado foram realizadas em três empresas que trabalham com a coleta de RCC e estão devidamente cadastradas e credenciadas pela prefeitura municipal de Belém-PA. O equipamento utilizado pelas empresas para o transporte dos resíduos de construção civil é a caçamba estacionária aberta, e a destinação dos resíduos é efetuada em áreas licenciadas de transbordo e triagem ou aterros licenciados de resíduos da construção civil.

O volume da caçamba apresentado para a prestação do serviço de disposição de RCC foi de 5,0 metros cúbicos, e a média do valor de disposição cobrado foi de R\$ 250,00 (Duzentos e Cinquenta Reais). Esse último valor, refere-se a cada retirada da caçamba de entulho da obra.

Assim, a razão entre os valores encontrados para o custo de disposição e o volume da caçamba resulta em custo por metro cúbico de disposição de R\$ 50,00 (Cinquenta reais). Este resultado, foi inserido na modelagem BIM, gerando automaticamente os custos estimados para a disposição de RCC de cada material.

Para um melhor entendimento do processo, o pesquisador apresenta, na Figura 4.8, o custo de disposição de RCC no valor R\$ 48,14 (Quarenta e oito reais e quatorze centavos) em relação a família viga (Concreto-Viga retangular: 0.15 x 0.40m) gerado pela modelagem BIM.

Figura 4.8 – Custo de disposição, viga de concreto



<Tabela de viga analítica>

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Tipo de família	Comprimento	Volume	Média (índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Média (custo/m³)	Custo Total (R\$)	Classe
Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40								
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,50	0,21 m³	0,294	0,06 m³	\$50,00	3,09	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	\$50,00	3,00	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³	0,294	0,15 m³	\$50,00	7,67	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	5,20	0,31 m³	0,294	0,09 m³	\$50,00	4,59	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	8,70	0,52 m³	0,294	0,15 m³	\$50,00	7,67	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	\$50,00	2,34	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	\$50,00	3,00	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	3,40	0,20 m³	0,294	0,06 m³	\$50,00	3,00	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	6,05	0,36 m³	0,294	0,11 m³	\$50,00	5,34	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	1,63	0,10 m³	0,294	0,03 m³	\$50,00	1,43	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	\$50,00	2,34	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	\$50,00	2,34	A
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	2,65	0,16 m³	0,294	0,05 m³	\$50,00	2,34	A
13		54,58	3,27 m³		0,96 m³		48,14	

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

E a Tabela 4.4 apresenta o valor de R\$ 383,68 (trezentos e oitenta e três reais e sessenta e oito centavos), referente à somatória de todos os custos de disposição dos RCCs por tipo gerados na modelagem BIM para um empreendimento.

Tabela 4.4 – Resumo da estimativa de custo de disposição de RCC por tipo

Serviço	Classe RCC	Família e tipo	Est. RCC	Unid.	Quant. /m ²	Σ Peso kg	ρ ^b Kg/m ³	Σ RCC m ³	Deposição custo/m ³ (R\$)	Deposição Total R\$
Superestrutura	A	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40m	0,961	m ³				1,391	50	69,53
		Concreto-Coluna retangular: 0.15 x 0.30m	0,429	m ³						
	B	Estribo 5mm CA-60 estribo - coluna	12,099	kg						
		Estribo 5mm CA-60 estribo - viga				36,580	7800	0,005	50	0,23
		Barra de aço 8mm CA-60 - coluna	24,481	kg						
		Barra de aço 8mm CA-60 - viga								
Vedações	A	Parede básica: Parede de tijolo 9x19x24 cm	21,315	m ²	426,310	1321,570	1600	0,830	50	41,50
		Parede básica: Argamassa/Parede de tijolo	0,504	m ³				0,500	50	25,00
	B	Forro Gesso: Plano 0.03 - H 2.80	0,202	m ³				0,200	50	10,00
Cobertura	B	Viga central madeira 25 x 12cm	0,127	m ³						
		Madeira de lei : 2.5 cm x 5 cm ripa madeira	0,170	m ³				0,537	50	26,86
		Madeira de lei : 6 cm x 12 cm viga madeira	0,241	m ³						
	A	Telhado básico: Telha Colonial	6,939	m ²	231,480	347,210	2000	0,174	50	8,68
Revestimento	A	Parede básica: Chapisco 0,005 m Externo	0,038	m ³						
		Parede básica: Chapisco 0,005 m Interno	0,061	m ³						
		Parede básica: Reboco 0,025 m Externo	0,935	m ³				2,474	50	123,68
		Parede básica: Reboco 0,025 m Interno	1,440	m ³						
Pisos	A	Piso: Argamassa de Regularização (2 cm)	0,355	m ³						
		Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	1,099	m ³				1,454	50	72,70
		Piso: Piso (2cm) - Cerâmica Externo	0,115	m ³				0,110	50	5,50
TOTAIS								7,674	383,68	

^a Estimativa de RCC

^b Densidade dos materiais em kg/m³

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

O custo total de disposição para vinte unidades do empreendimento foi de R\$ 7.673,53 (sete mil e seiscentos e setenta e três reais e cinquenta e três centavos). Esse valor é referente à estimativa total de RCC por tipo de 153,48 metros cúbicos de RCCs calculados na modelagem.

Por fim, a modelagem BIM possibilitou estimar o custo de disposição dos RCCs para o empreendimento do estudo, entretanto, por falta de informações do projeto, não foi possível realizar uma comparação entre o custo de disposição com o valor orçado para a realização do empreendimento.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Principais Conclusões

Foram apresentados neste trabalho os resultados das estimativas por tipo e o custo da disposição de RCC de um empreendimento na fase de projeto, obtidos por meio da modelagem BIM e com base na caracterização dos RCCs (volume de RCC estimado por classe, tipo e etapa da obra) proposta pelo plano de gerenciamento de resíduos sólidos (PGRCC).

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura (RSL) sobre o tema e os resultados apoiaram o desenvolvimento da modelagem BIM, principalmente nas duas etapas iniciais deste estudo, por meio de informações identificadas em seus dados, tais como: índices de entulhos e métodos BIM para estimativa de RCCs por tipo.

Na terceira etapa, a modelagem de uma edificação foi criada como base em um sistema integrado de classificação de RCC por tipo, e por meio de simulação. Os dados referentes ao levantamento quantitativo de todos os materiais do empreendimento foram gerados pelo software Revit®.

A integração dos dados relacionados aos índices de entulho e o levantamento quantitativo geraram na modelagem as estimativas de RCC por tipo de material e o custo de disposição, e os valores obtidos foram: para vinte unidades habitacionais, 153,48 metros cúbicos de RCC e um custo de R\$ 7.673,53 (sete mil e seiscentos e setenta e três reais e cinquenta e três centavos); e para uma unidade habitacional, 7,674 metros cúbicos de RCC e um custo de disposição de R\$ 383,68 (trezentos e oitenta e três e sessenta e oito centavos).

Além disso, para uma habitação a modelagem revelou que 10% da estimativa de RCC pertencem à classe B e 90% à classe A. O material com maior potencial para o desperdício foi a argamassa, com 56% em relação à estimativa total do empreendimento.

Esta modelagem BIM proposta para a estimativa de RCC possibilita de forma rápida as quantificações dos dados estatísticos e indicadores necessários para a elaboração do PGRCC, com relação à caracterização, contribuindo assim no gerenciamento e na redução dos resíduos.

A modelagem pode ser aperfeiçoada por meio da utilização de um LOD mais elevado e de um sistema *Application Programming Interface* (API) na plataforma Autodesk Revit®, aprimorando o uso das informações armazenadas nos modelos digitais de informações de construção, e gerando estimativas de resíduos mais automatizadas, rápidas e precisas.

No entanto, existem desafios a serem superados pela modelagem, tais como: a estimativa de RCC no presente estudo considera apenas o volume dos materiais e não o volume aparente (volume superficial real) de RCC. Portanto, o presente estudo não pode refletir o resíduo misto gerado em um local de demolição real; A estrutura não estima resíduos na fase de demolição. No entanto, essa limitação pode ser superada acrescentando na modelagem fatores como empolamento e densidade do material.

Espera-se que este estudo contribua não apenas para estimar o RCC na fase de projeto, mas também para a estimativa automatizada do RCC durante a fase de demolição da edificação. Além de contribuir para a elaboração do Plano de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil (PGRCC), uma exigência da Resolução CONAMA nº 307 (BRASIL, 2002).

5.2. Contribuições Metodológicas

Este trabalho buscou contribuir para o processo de caracterização do PGRCC ao criar uma metodologia de modelagem para prever a estimativa de RCC por tipo e o custo de disposição de um empreendimento residencial, sendo esta questão da caracterização de fundamental importância no gerenciamento eficaz dos RCCs, visando assim buscar a melhoria do processo produtivo e portanto a redução do RCC.

O modelo proposto neste trabalho pode sofrer alterações na sua estrutura, de tal forma que, cada expert/especialista ou cada empresa possa utilizá-lo conforme suas particularidades e especificidades, ou seja, modificando o modelo desenvolvido nesta pesquisa, ajustando-o para sua realidade, alterando, por exemplo, os índices de entulho, de acordo com a sua base de dados, utilizando outros *softwares* para realizar a modelagem BIM, de acordo com a sua visão, percepção, experiência e preferência, particularizando-o para cada realidade ou para cada momento, porém deve resguardar os princípios metodológicos fundamentais propostos neste trabalho.

5.3. Sugestões para Novas Pesquisas

- Adicionar fatores de ajuste à estrutura da modelagem BIM proposta, para avaliação de medidas e práticas de reciclagem na construção civil.

- Adicionar fatores de ajuste à estrutura da modelagem BIM proposta, para avaliar a vida útil do projeto de acordo com NBR 15.575 e comparar com o empreendimento em execução.

REFERÊNCIA

- A.KEYS; A.BALDWIN; S.AUSTIN. Designing to encourage waste minimisation in the construction industry. **Proceedings of CIBSE National Conference, CIBSE2000, Dublin, September, 2000.**
- AL-HAJJ, A.; HAMANI, K. Material waste in the UAE construction industry: Main causes and minimization practices. **Architectural Engineering and Design Management**, v. 7, n. 4, p. 221–235, 2011.
- ALLEN CONSULTING GROUP. Productivity In The Buildings Network: Assessing The Impacts Of Building Information Models. **BIM-Aus**, n. October, 2010.
- ALVES, Rubem. **Filosofia da ciência: introdução ao jogo e suas regras**. 18. ed. São Paulo: Brasiliense, 1993. 209p.
- ABOURIZK, S.; MOHAMED, Y. **Optimal construction project planning**. Winter Simulation Conference Proceedings. **Anais...2002**
- AGC. **The Contractor's Guide to BIM**. first ed. ed. Las Vegas: [s.n.].2005.
- AHANKOOB, A. et al. Bim perspectives on construction waste reduction. **Management in Construction Research Association**, p. 195–199, 2012.
- ALLEN CONSULTING GROUP. Productivity In The Buildings Network: Assessing The Impacts Of Building Information Models. **BIM-Aus**, n. October, 2010.
- ARAYICI, Y. et al. Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 189–195, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004. 71 p.
- AZHAR, S. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. **Leadership and Management in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 241–252, 2011.
- AZHAR, S.; BROWN, J. Bim for sustainability analyses. **International Journal of Construction Education and Research**, v. 5, n. 4, p. 276–292, 2009.
- BALDWIN, A. N. et al. Modelling design information to evaluate pre-fabricated and pre-cast design solutions for reducing construction waste in high rise residential buildings. **Automation in Construction**, v. 17, n. 3, p. 333–341, 2008.
- BANIAS, G. et al. A web-based Decision Support System for the optimal management of construction and demolition waste. **Waste Management**, v. 31, n. 12, p. 2497–2502, 2011.
- BARAZZETTI, L. et al. Cloud-to-BIM-to-FEM: Structural simulation with accurate historic BIM from laser scans. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 57, p. 71–87, 2015.
- BARRETO, I. M. C. B. DO N. **Gestão de Resíduos na Construção Civil: Redução,**

- Reutilização e Reciclagem.** Aracaju: SENAI/SE; SENAI/DN;COMPETIR;SEBRAE/SE;SINDUSCON/SE, 2005.
- BEGUM, R. A. et al. Attitude and behavioral factors in waste management in the construction industry of Malaysia. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 6, p. 321–328, 2009.
- BLUMENSCHNEIN, R. N. Gestão de Resíduos Sólidos em Canteiros de Obras. p. 48, 2007.
- BRASIL. Congresso Nacional. Lei Nº 12.305, de 02 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, 2010. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 21 nov. 2018.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002**. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Brasil, 2002. 3 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 348, de 16 de agosto de 2004**. Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos. Brasil, 2004. 1 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 431, de 24 de maio de 2011**. Altera o artigo 3º da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, estabelecendo nova classificação para o gesso. Brasil, 2011a. 1 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 448, de 18 de janeiro de 2012**. Altera os artigos 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10º e 11º da Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002. Brasil, 2012. 2 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão preliminar para consulta pública**. Brasília, DF, 2011b. Disponível em . Acesso em: 23 nov. 2018.
- BRE. Construction Resources and Waste Roadmap A roadmap is a tool that helps us visualise ... **Prevention**, 2012.
- BROCARD, F.; SCHEER, S. O uso da modelagem da informação da construção 4d (bim 4d) em projetos de obras militares. **SIBRAGEC - SBTIC 2017**, p. 132–139, nov. 2017.
- BRUNDTLAND, G. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future. **United Nations**, p. 1–247, 1987.
- BRUNO, G. **Gestão de resíduos sólidos da construção civil: O cenário da reciclagem de resíduo classe “A” no Brasil**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.
- CASH, G. BIM (Building Information Modelling) utilisation to achieve resource efficiency in construction : Leeds Arena. **Dec 2011**, 2011.
- CASTELO, A.; MARCELLINI, L.; VIANA, I. **A Construção Digital parte2**. Disponível em: <<https://blogdoibre.fgv.br/posts/construcao-digital-parte-2>> Acesso em 15 jul. 2018
- CHENG, J. C. P.; MA, L. Y. H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste Management**, v. 33, n. 6, p. 1539–1551, 2013.
- CIC. Hong Kong Construction Industry Performance Report for 2011. **Public Health**, n. April, p. 1–32, 2011.
- COCHRAN, K. et al. Estimation of regional building-related C&D debris generation and composition: Case study for Florida, US. **Waste Management**, v. 27, n. 7, p. 921–931, 2007.

- COCHRAN, K. M.; TOWNSEND, T. G. Estimating construction and demolition debris generation using a materials flow analysis approach. **Waste Management**, v. 30, n. 11, p. 2247–2254, 2010.
- COELHO, A.; DE BRITO, J. Generation of construction and demolition waste in Portugal. **Waste Management and Research**, v. 29, n. 7, p. 739–750, 2011.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 307**, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Presidente: Jose Carlos Carvalho. Brasília, 2002.
- CONFORTO, E.; AMARAL, D.; SILVA, S. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **Cbgdp**, v. 8º CONGRES, n. 12, 13 E 14 DE SETEMBRO DE 2011, p. 1–12, 2011.
- DEGANI, C. M. Sistema de Gestão ambiental em empresas construtora de edifícios. p. 223, 2003.
- DENG, Y. et al. Integrating 4D BIM and GIS for Construction Supply Chain Management. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 4, p. 04019016, 2019.
- DIAS, M. Modelo para estimar a geração de resíduos na produção de obras residenciais verticais. **Marketplace**, 2013.
- EASTMAN, C. M. Modeling of buildings: evolution and concepts. **Automation in Construction**, v. 1, n. 2, p. 99–109, 1992.
- EIKELBOOM, R. T.; RUWIEL, E.; GOUMANS, J. J. J. M. The building materials decree: an example of a dutch regulation based on the potential impact of materials on the environment. **Waste Management Series**, v. 1, n. C, p. 963–974, 2000.
- ESIN, T.; COSGUN, N. A study conducted to reduce construction waste generation in Turkey. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1667–1674, 2007.
- FATTA, D. et al. Generation and management of construction and demolition waste in Greece - An existing challenge. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 40, n. 1, p. 81–91, 2003.
- FERREIRA, B. M. L. **Desenvolvimento De Metodologias Bim De Apoio Aos Trabalhos Construtivos De Medição E Orçamentação**. [s.l.] FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO, 2015.
- FORMOSO, C. T. et al. Material Waste in Building Industry: Main Causes and Prevention. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 128, n. 4, p. 316–325, 2002.
- FRAGA, M. F. **Panorama da geração de resíduos da construção civil em Belo Horizonte: medidas de minimização com base em projeto e planejamento de obras**. [s.l.] UFMG, 2006.
- GALBIATI, A. F. O Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos e a Reciclagem Adriana. **علوم**, v. 1, p. 1–10, 2005.
- GANGOLELLS, M. et al. Analysis of the implementation of effective waste management practices in construction projects and sites. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 93, n. 2014, p. 99–111, 2014.
- GASPAR, J. A. DA M.; MANZIONE, L. **Proposição de método para medir a capacidade de produção de um objeto paramétrico por um software BIM**. 2015
- GU, N.; LONDON, K. Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 988–999, 2010.

- GUPTA, S. K. Integration of BIM in High-Rise. **The Masterbuilder**, p. 86–88, 2014.
- HANNAN, M. A. et al. A review on technologies and their usage in solid waste monitoring and management systems: Issues and challenges. **Waste Management**, v. 43, p. 509–523, 2015.
- HEERDT, M. L.; LEONEL, V. **Metodologia Científica e da Pesquisa**. 5a edição ed. SANTA CATARINA: Palhoça, 2007.
- HILL, R. C.; BOWEN, P. A. Sustainable construction: Principles and a framework for attainment. **Construction Management and Economics**, v. 15, n. 3, p. 223–239, 1997.
- HU, Z.; ZHANG, J. BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 2. Development and site trials. **Automation in Construction**, v. 20, n. 2, p. 155–166, 2011.
- HUISINGH, D. et al. Recent advances in carbon emissions reduction: Policies, technologies, monitoring, assessment and modeling. **Journal of Cleaner Production**, v. 103, n. 2015, p. 1–12, 2015.
- IWARO, J. et al. An Integrated Criteria Weighting Framework for the sustainable performance assessment and design of building envelope. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 417–434, 2014.
- JAILLON, L.; POON, C. S.; CHIANG, Y. H. Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong. **Waste Management**, v. 29, n. 1, p. 309–320, 2009.
- JALALI, S. Quantification of Construction Waste Amount. **Universidade do Minho**, n. September, p. 1–12, 2007.
- JÚNIOR, N. Cartilha de gerenciamento de resíduos sólidos para a construção civil. **Belo Horizonte. Sinduscon-MG**, p. 38p., 2005.
- KARPINSKI, L. et al. **Gestão diferenciada de resíduos da construção civil : uma abordagem ambiental**. Edipucrs ed. Porto Alegre : [s.n.].
- KATZ, A.; BAUM, H. A novel methodology to estimate the evolution of construction waste in construction sites. **Waste Management**, v. 31, n. 2, p. 353–358, 2011.
- KHANZODE, A.; FISCHER, M.; REED, D. Benefits and lessons learned of implementing Building Virtual Design and Construction (VDC) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large Healthcare project. **Electronic Journal of Information Technology in Construction**, v. 13, n. September 2007, p. 324–342, 2008.
- KIBERT, C. J. Establishing Principles and a Model for Sustainable Construction. **Proceedings of First International Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction**, n. Table I, p. 3–12, 1994.
- KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste Management**, v. 29, n. 2, p. 731–738, 2008.
- KÖNIG, M. et al. Intelligent BIM-based construction scheduling using discrete event simulation. **Proceedings - Winter Simulation Conference**, n. February 2016, 2012.
- KUMAR, S. S.; CHENG, J. C. P. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites. **Automation in Construction**, v. 59, p. 24–37, 2015.
- LAGÜELA, S. et al. Automatic thermographic and RGB texture of as-built BIM for energy

- rehabilitation purposes. **Automation in Construction**, v. 31, p. 230–240, 2013.
- LAU, H. ; WHYTE, A.; LAW, P. L. Composition and Characteristics of Construction Waste Generated by Residential Housing Project. v. 2, n. 3, p. 261–268, 2008.
- LIMA, F. A FORMAÇÃO DA MINERAÇÃO URBANA NO BRASIL RECICLAGEM DE RCD E A PRODUÇÃO DE AGREGADOS. p. 178, 2013.
- LIMA, R. S.; LIMA, R. R. R. Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil. **Guia para Elaboração de Projeto de Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil**, v. 1, p. 60, 2009.
- LIU, Z. et al. The potential use of BIM to aid construction waste minimalisation. **Department of Civil and Building Engineering, Loughborough University, Loughborough, Leicestershire LE11 3TU, United Kingdom**, v. 2005, n. Edgar 2007, p. 26–28, 2011.
- LIU, Z. et al. A BIM-aided construction waste minimisation framework. **Automation in Construction**, v. 59, n. 2015, p. 1–23, 2015.
- LLATAS, C., BIZCOCHO, N., HUETE, R. **Proposta metodológica para a obtenção de um índice de aproveitamento de resíduos em obras de reabilitação na Andaluzia**. Anais da Conferência Internacional de Construção Sustentável. **Anais...Madri: 2010**
- LOWE, D. **Economic Challenge of Sustainable Construction Partnering View project**. Proceedings of the Second International Conference on Construction in the 21st Century, Sustainability and Innovation in Management and Technology. **Anais...Hong Kong: 2003**
- LU, Q.; WON, J.; CHENG, J. C. P. A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 1, p. 3–21, 2016.
- LU, W. et al. Computational Building Information Modelling for construction waste management: Moving from rhetoric to reality. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, n. November 2015, p. 587–595, 2017.
- LU, W.; YUAN, H. Exploring critical success factors for waste management in construction projects of China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 2, p. 201–208, 2010.
- LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste Management**, v. 31, n. 6, p. 1252–1260, 2011.
- MAGALHÃES, C. R. **Panorama BIM : Visões e reflexões da adoção pela indústria da construção civil brasileira**. 2019.
- MAHAMADU, A.-M.; BAFFOUR AWUAH, K.; BOOTH, C. A. Principles of sustainability and life-cycle analysis. **Sustainability of Construction Materials**, p. 13–31, 2016.
- MCGRAW HILL CONSTRUCTION. SmartMarket Report: the business value of BIM for construction in major global markets, **McGraw Hill Construction, Research & Analytics, Bedford, MA, USA, 2014**.
- MANRIQUE, J. D. et al. Combinatorial Algorithm for Optimizing Wood Waste in Framing Designs. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 3, p. 188–197, 2009.
- MANZIONE, L. **Proposição de uma Estrutura Conceitual de Gestão do Processo de Projeto Colaborativo com o uso do BIM**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.
- MARIA, I.; BRANCO, C.; BARRETO, N. **Gestão de resíduos na construção civil**. Aracaju: SENAI /SE; SENAI /DN; COMPETIR; SEBRAE/SE; SINDUSCON/SE, 2005. 28p. il., 2005.

- MARQUES NETO, J. DA C.; SCHALCH, V. Gestão dos Resíduos de Construção e Demolição: Estudo da Situação no Município de São Carlos-SP, Brasil. **Revista de Engenharia Civil - Universidade do Minho**, v. 36, p. 41–50, 2010.
- MARQUES, R. B. **Resíduos da Construção Civil em Araguari-MG: do Diagnóstico à Proposta de um Modelo Gerencial Proativo**. [s.l.] Universidade Federal de Uberlândia, 2007.
- MARTINS, F. G. Gestão e Gerenciamento de Resíduos da Construção Civil em Obras de Grande Porte – Estudos de Caso. Mestre em Ciências, Programa de Engenharia Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, p. 188, 2012.
- MINISTRY OF ENVIRONMENT OF THE REPUBLIC OF KOREA 2014. **Korea 's National Biodiversity Strategy**. Korea: BIP/SCBD, 2018.
- MOREIRA, L. **Avaliação da Influência e do Tratamento dos Agregados Reciclados de Resíduos de Construção e Demolição no Desempenho Mecânico do Concreto Estrutural**. [s.l.] Escola Politécnica - USP, 2010.
- NIBS. National BIM Standard — United States, Version 2 — Information Exchange Standards. **National Institute of Building Sciences (NIBS)**, 2012.
- O'REILLY, A. Using BIM as a tool for cutting construction waste at source. **Construction Research and Innovation**, v. 3, n. 1, p. 28–31, 2017.
- OFORI, G. Sustainable construction: principles and a framework for attainment - comment. **Construction Management and Economics**, v. 16, n. 2, p. 141–145, 1998.
- OSMANI, M. Design waste mapping : a project life cycle approach. **Loughborough University Institutional Repository**, v. 166, n. WR3, p. 245–267, 2013.
- OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. F. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, v. 28, n. 7, p. 1147–1158, 2008.
- PARISI KERN, A. et al. Waste generated in high-rise buildings construction: A quantification model based on statistical multiple regression. **Waste Management**, v. 39, n. 2015, p. 35–44, 2015.
- PETROV, M. I.; MELEHIN, V. G.; LIPOVSKII, A. A. On the stability of elastic nanoparticles. **Physica Status Solidi (B) Basic Research**, v. 249, n. 11, p. 2137–2139, 2012.
- PINTO, T. DE P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.
- POON, C. S. Reducing construction waste. **Waste Management**, v. 27, n. 12, p. 1715–1716, 2007.
- POON, C. S.; YU, A. T. W.; JAILLON, L. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 5, p. 461–470, 2004.
- POON, C. S.; YU, A. T. W.; NG, L. H. On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 32, n. 2, p. 157–172, 2001.
- POON, C. S.; YU, A. T. W.; NG, L. H. Comparison of low-waste building technologies adopted in public and private housing projects in Hong Kong. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 10, n. 2, p. 88–98, 2003.
- PORWAL, A.; HEWAGE, K. N. Building Information Modeling–Based Analysis to Minimize Waste Rate of Structural Reinforcement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 8, p. 943–954, 2011.

- PORWAL, A.; HEWAGE, K. N. Building Information Modeling–Based Analysis to Minimize Waste Rate of Structural Reinforcement. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 8, p. 943–954, 2012.
- QI, G. et al. Role of Internalization Process in Defining the Relationship between ISO 14001 Certification and Corporate Environmental Performance. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 19, n. 3, p. 129–140, 2012.
- RAJENDRAN, P.; PATHROSE GOMEZ, C. Implementing Bim for Waste Minimisation in the Construction Industry : a Literature Review. **2nd INTERNATIONAL CONFERENCE ON MANAGEMENT , (2nd ICM 2012) PROCEEDING**, n. June, p. 557–570, 2012.
- RAZAVI, S. N.; HAAS, C. T. Multisensor data fusion for on-site materials tracking in construction. **Automation in Construction**, v. 19, n. 8, p. 1037–1046, 2010.
- ROCKSTOM, J. et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. **Ecology And Society**, v. 14, n. 2, 2009.
- SACKS, R. et al. Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 136, n. 9, p. 968–980, 2010.
- SAEZ, P. V. et al. Best practice measures assessment for construction and demolition waste management in building constructions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 75, p. 52–62, 2013.
- SANTOS, A. DO N. DOS. **Diagnóstico da Situação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Município de Petrolina (PE)**. [s.l: s.n.].
- SANTOS, M. et al. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos : possíveis aplicações na construção civil. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 2, p. 57–73, 2011.
- SHEN, W.; HAO, Q.; XUE, Y. A loosely coupled system integration approach for decision support in facility management and maintenance. **Automation in Construction**, v. 25, p. 41–48, 2012.
- SILVA, J. **Princípios para o desenvolvimento de projetos com recurso a ferramentas BIM: Avaliação de melhores práticas e proposta de regras de modelação para projetos de estruturas**. [s.l.] Universidade do Porto, 2013.
- SOLÍS-GUZMÁN, J. et al. A Spanish model for quantification and management of construction waste. **Waste Management**, v. 29, n. 9, p. 2542–2548, 2009.
- SOUZA, U. E. L. DE et al. Diagnóstico e combate à geração de resíduos na produção de obras de construção de edifícios: uma abordagem progressiva. **Ambiente Construído**, v. 4, n. 4, p. 33–46, 2004.
- SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. n. September, p. 65–103, 2010.
- TAM, V. W. Y. On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction. **Waste Management**, v. 28, n. 6, p. 1072–1080, 2008.
- TAM, V. W. Y.; TAM, C. M. A review on the viable technology for construction waste recycling. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 47, n. 3, p. 209–221, 2006.
- TANG, H. **Construct for Excellence - Report of the construction industry review committee**. Hong Kong: [s.n.].
- TESSARO, A. B.; SÁ, J. S.; SCREMIN, L. B. Quantificação e classificação dos resíduos procedentes da construção civil e demolição no município de Pelotas, RS. **Ambiente**

Construído, v. 12, n. 2, p. 121–130, 2012.

TOMMELEIN, I. D.; LI, A. E. Y. Just-in-time concrete delivery: mapping alternatives for vertical supply chain integration. **Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGL-7**, p. 97–108, 1999.

UNEP 2014 ANNUAL REPORT. Annual Report 2014. **Parkinsonism & Related Disorders**, v. 21, n. 5, p. 430, maio 2015.

USEPD. Buildings and their Impact on the Environment: A Statistical Summary. p. 1–8, 2019.

VILLORIA SÁEZ, P.; DEL RÍO MERINO, M.; PORRAS-AMORES, C. Estimation of construction and demolition waste volume generation in new residential buildings in Spain. **Waste Management and Research**, v. 30, n. 2, p. 137–146, 2012.

WANG, J. et al. Critical success factors for on-site sorting of construction waste: A china study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p. 931–936, 2010.

WANG, W. C. et al. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support. **Automation in Construction**, v. 37, p. 68–80, 2014.

WANG, X. BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors. **Construction Economics and Building**, v. 12, n. 3, p. 101–102, 2012.

WHYTE, J. Building Information Modelling in 2012: Research Challenges, Contributions, Opportunities. **Design Innovation Research Centre**, n. 5, p. 1–22, 2012.

WOLSTENHOLME, A. ... ET AL, 2009. Never waste a good crisis: a Rethinking Construction and review of progress since thoughts for our future. **Constructing Excellence**, 2009.

WON, J.; CHENG, J. C. P. Identifying potential opportunities of building information modeling for construction and demolition waste management and minimization. **Automation in Construction**, v. 79, p. 3–18, 2017.

WON, J.; CHENG, J. C. P.; LEE, G. Quantification of construction waste prevented by BIM-based design validation: Case studies in South Korea. **Waste Management**, v. 49, p. 170–180, 2016.

YAN, W. et al. Interfacing BIM with Building Thermal and Daylight Modeling. **INTERFACING BIM WITH BUILDING THERMAL AND DAYLIGHTING MODELING Wei**, n. Bazjanac 2001, p. 3521–3528, 2013.

YEHEYIS, M. et al. An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 15, n. 1, p. 81–91, 2013.

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

YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 670–679, 2011.

ZHANG, X.; WU, Y.; SHEN, L. Application of low waste technologies for design and construction: A case study in Hong Kong. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 5, p. 2973–2979, 2012.

ZHAO, Z. Y. et al. A corporate social responsibility indicator system for construction enterprises. **Journal of Cleaner Production**, v. 29–30, p. 277–289, 2012.

APÊNDICE A – DADOS DA MODELAGEM

Figura A.1 – Modelagem BIM, Viga de Concreto

<Tabela de viga analítica>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Tipo de família	Classe	Comprimento	Volume	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40								
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	3,50	0,21 m³	0,289	0,06 m³	\$50,00	3,03 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	3,40	0,20 m³	0,289	0,06 m³	\$50,00	2,95 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	8,70	0,52 m³	0,289	0,15 m³	\$50,00	7,54 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	5,20	0,31 m³	0,289	0,09 m³	\$50,00	4,51 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	8,70	0,52 m³	0,289	0,15 m³	\$50,00	7,54 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	2,65	0,16 m³	0,289	0,05 m³	\$50,00	2,30 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	3,40	0,20 m³	0,289	0,06 m³	\$50,00	2,95 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	3,40	0,20 m³	0,289	0,06 m³	\$50,00	2,95 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	6,05	0,36 m³	0,289	0,10 m³	\$50,00	5,25 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	1,63	0,10 m³	0,289	0,03 m³	\$50,00	1,41 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	2,65	0,16 m³	0,289	0,05 m³	\$50,00	2,30 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	2,65	0,16 m³	0,289	0,05 m³	\$50,00	2,30 m³
1	Concreto-Viga retangular : 0.15 x 0.40	A	2,65	0,16 m³	0,289	0,05 m³	\$50,00	2,30 m³
13			54,58	3,27 m³		0,95 m³		47,32 m³

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.2 – Modelagem BIM, Coluna de Concreto

<Tabela de coluna analítica>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Tipo de família	Classe	Comprimento	Volume	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm								
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	4,83	0,22 m³	0,289	0,06 m²	\$50,00	3,14
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	4,83	0,22 m³	0,289	0,06 m²	\$50,00	3,14
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	4,98	0,22 m³	0,289	0,06 m²	\$50,00	3,24
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
1	Concreto-Rectangular-Coluna : 300 x 150mm	A	2,98	0,13 m³	0,289	0,04 m²	\$50,00	1,94
9			32,52	1,46 m³		0,42 m²		21,15

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.3 – Modelagem BIM, aço do estribo e vergalhão

<Tabela de vergalhões>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Comentários de tipos	Classe de RCC	Comp. total da barra	Peso (Kg)	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC (kg)	Volume de RCC (m³)	Custo de Deposição (R\$/m²)
Barra de vergalhão 8.0								
50	Barra de vergalhão 8.0	B	356,19 m	140,70	0,176	24,76	0,003175	0,158734
50			356,19 m	140,70		24,76	0,003175	0,158734
28	Estribo 5.0	B	451,52 m	69,53	0,176	12,24	0,001569	0,078448
28			451,52 m	69,53		12,24	0,001569	0,078448

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.4 – Modelagem BIM, bloco cerâmico

<Tabela de parede - Tijolo>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Contad.	Família e tipo	Área (m²)	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Quant.Bloco	Peso (kg)	volume (m³)	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,26 m²	0,16	1,32 m²	26,42	81,90	0,05	\$50,00	2,56
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,41 m²	0,16	1,35 m²	26,91	83,44	0,05	\$50,00	2,61
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,39 m²	0,16	1,34 m²	26,83	83,18	0,05	\$50,00	2,60
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	12,56 m²	0,16	2,01 m²	40,19	124,59	0,08	\$50,00	3,89
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,00 m²	0,16	1,28 m²	25,59	79,31	0,05	\$50,00	2,48
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,93 m²	0,16	1,43 m²	28,59	88,63	0,06	\$50,00	2,77
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	1,29 m²	0,16	0,21 m²	4,13	12,80	0,01	\$50,00	0,40
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,44 m²	0,16	1,35 m²	27,00	83,69	0,05	\$50,00	2,62
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	4,00 m²	0,16	0,64 m²	12,80	39,67	0,02	\$50,00	1,24
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	12,64 m²	0,16	2,02 m²	40,45	125,41	0,08	\$50,00	3,92
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	6,36 m²	0,16	1,02 m²	20,35	63,09	0,04	\$50,00	1,97
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,26 m²	0,16	1,32 m²	26,42	81,90	0,05	\$50,00	2,56
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	8,26 m²	0,16	1,32 m²	26,42	81,90	0,05	\$50,00	2,56
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	6,44 m²	0,16	1,03 m²	20,61	63,90	0,04	\$50,00	2,00
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	3,50 m²	0,16	0,56 m²	11,20	34,72	0,02	\$50,00	1,09
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	5,20 m²	0,16	0,83 m²	16,64	51,58	0,03	\$50,00	1,61
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	4,90 m²	0,16	0,78 m²	15,68	48,61	0,03	\$50,00	1,52
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	3,43 m²	0,16	0,55 m²	10,96	33,98	0,02	\$50,00	1,06
1	Parede básica: Parede de tijolo maciço 9	5,97 m²	0,16	0,96 m²	19,12	59,26	0,04	\$50,00	1,85
19		133,22 m²		21,32 m²	426,31	1.321,57	0,83		41,30

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.5 – Modelagem BIM, argamassa

<Tabela de parede - Tijolo>						
A	B	C	D	E	F	G
Família e tipo	Área (m²)	Argamassa (m²)	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC(m²)	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
Parede básica: Parede de tijolo maciço 9x19x24 cm	133,22 m²	1,06	0,475	0,50	\$50,00	\$25,06
Parede básica: Parede de tijolo maciço 9x19x24 cm: 19	133,22 m²					

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.6 – Modelagem BIM, forro de gesso

<Tabela de forro>							
A	B	C	D	E	F	G	H
Contador	Família e tipo	Área	Volume	Média (Índice de Et)	Estimativa de RCC	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
Forro composto: Plano 0.03 - H 2.80							
1	Forro composto: Plano 0.03 - H 2.80	10,71 m²	0,32 m³	0,134	0,04 m²	\$50,00	2,15
1	Forro composto: Plano 0.03 - H 2.80	10,71 m²	0,32 m³	0,134	0,04 m²	\$50,00	2,15
1	Forro composto: Plano 0.03 - H 2.80	16,11 m²	0,48 m³	0,134	0,06 m²	\$50,00	3,24
1	Forro composto: Plano 0.03 - H 2.80	7,28 m²	0,22 m³	0,134	0,03 m²	\$50,00	1,46
Forro composto: Tabica							
1	Forro composto: Tabica	0,26 m²	0,01 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,03
1	Forro composto: Tabica	0,26 m²	0,01 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,03
1	Forro composto: Tabica	0,39 m²	0,01 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,05
1	Forro composto: Tabica	0,40 m²	0,01 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,05
Forro composto: Tabica 0.3							
1	Forro composto: Tabica 0.3	0,93 m²	0,03 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,19
1	Forro composto: Tabica 0.3	0,93 m²	0,03 m³	0,134	0,00 m²	\$50,00	0,19
1	Forro composto: Tabica 0.3	1,43 m²	0,04 m³	0,134	0,01 m²	\$50,00	0,29
1	Forro composto: Tabica 0.3	1,43 m²	0,04 m³	0,134	0,01 m²	\$50,00	0,29
12		50,83 m²	1,51 m³		0,20 m²		10,13

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.7 – Modelagem BIM, madeiramento

<Tabela de viga analítica>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Tipo de família	Classe	Comprimento	Volume	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de RCC	Média (custo/m²)	Custo Total (R\$)
GirderBeam : viga central madeira								
1	GirderBeam : viga central madeira	B	6,60	0,20 m³	0,633	0,13 m²	\$50,00	6,27 m²
1			6,60	0,20 m³		0,13 m²		6,27 m²
Madeira de lei : 2.5 cm x 5 cm ripa madeira								
32	Madeira de lei : 2.5 cm x 5 cm ripa madeira	B	209,82	0,26 m³	0,633	0,17 m²	\$50,00	8,30 m²
32			209,82	0,26 m³		0,17 m²		8,30 m²
Madeira de lei : 6 cm x 12 cm viga madeira								
10	Madeira de lei : 6 cm x 12 cm viga madeira	B	52,94	0,38 m³	0,633	0,24 m²	\$50,00	12,06 m²
10			52,94	0,38 m³		0,24 m²		12,06 m²

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.8 – Modelagem BIM, telhado colonial

<Tabela de telhado>								
A	B	C	D	E	F	G	H	I
Contador	Família e tipo	Classe	Área	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de Entulho	Quant. Telhas (unid.)	Peso (kg)	Custo Deposição (R\$)
1	Telhado básico: Telhado	A	40,25 m²	0,1	4,02 m²	134,26	201,38	5,03
1	Telhado básico: Telhado	A	29,14 m²	0,1	2,91 m²	97,22	145,83	3,65
Total geral: 2			69,39 m²		6,94 m²	231,48	347,21	8,68

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.9 – Modelagem BIM, chapisco e reboco

<Tabela de parede - Chapisco>									
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Contador	Família e tipo	Classe	Compriment	Altura desconecta	Área (m²)	Volume (m³)	Média (Índices de Entulho)	Estimativa de Entulho	Custo de Deposição
16	Parede básica: Chapisco 0,005 Extern	A	51,30	34,27	100,19 m²	0,50 m³	0,075	0,038	1,88
Parede básica: Chapisco 0,005 Externo: 16			51,30	34,27	100,19 m²	0,50 m³		0,038	1,88
29	Parede básica: Chapisco 0,005 Interno	A	80,57	64,28	163,47 m²	0,82 m³	0,065	0,061	3,07
Parede básica: Chapisco 0,005 Interno: 29			80,57	64,28	163,47 m²	0,82 m³		0,061	3,07
17	Parede básica: Reboco 0,025 Externo	A	54,59	35,36	103,27 m²	2,58 m³	0,362	0,935	46,73
Parede básica: Reboco 0,025 Externo: 17			54,59	35,36	103,27 m²	2,58 m³		0,935	46,73
28	Parede básica: Reboco 0,025 Interno	A	76,52	63,48	159,07 m²	3,98 m³	0,285	1,440	71,98
Parede básica: Reboco 0,025 Interno: 28			76,52	63,48	159,07 m²	3,98 m³		1,440	71,98

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)

Figura A.10 – Modelagem BIM, chapisco e reboco

Projeto Fabriccio - mestrado versão 5.0011.rvt - Tabela: Tab... Digite palavra-chave ou frase

Modificar tabela/quantidades

Inserir Ocultar Inserir Redimensionar Mesclar cancelar a mescla Agrupar

Excluir Exibir todos Inserir linha de dados Inserir imagem Desagrupar

Redimensionar Excluir Limpar célula

Colunas Linhas Títulos e cabeçalhos Aparência

Tabela de viga analítica Tabela de vergalhões Tabela de parede - Chapisco Tabela de telhado Tabela de piso

<Tabela de piso - Piso Ceramico>

A	B	C	D	E	F	G	H
Contador	Família e tipo	Classe	Área	Volume (m³)	Média (Índice de Entulho)	Estimativa de Entul	Custo de Deposição (R\$)
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	11,38 m²	0,28 m³	0,901	0,26 m³	12,81
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	11,37 m²	0,28 m³	0,901	0,26 m³	12,81
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	2,51 m²	0,06 m³	0,901	0,06 m³	2,83
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	3,48 m²	0,09 m³	0,901	0,08 m³	3,91
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	3,08 m²	0,08 m³	0,901	0,07 m³	3,47
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	15,76 m²	0,39 m³	0,901	0,36 m³	17,75
1	Piso: Argamassa para piso (2,5cm)	A	1,40 m²	0,03 m³	0,901	0,03 m³	1,57
Piso: Argamassa para piso (2,5cm): 7			48,97 m²	1,22 m³		1,10 m³	55,16
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	11,38 m²	0,23 m³	0,362	0,08 m³	4,12
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	3,48 m²	0,07 m³	0,362	0,03 m³	1,26
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	15,76 m²	0,32 m³	0,362	0,11 m³	5,71
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	11,37 m²	0,23 m³	0,362	0,08 m³	4,12
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	1,40 m²	0,03 m³	0,362	0,01 m³	0,50
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	3,08 m²	0,06 m³	0,362	0,02 m³	1,11
1	Piso: Camada de Regularização (2 cm)	A	2,51 m²	0,05 m³	0,362	0,02 m³	0,91
Piso: Camada de Regularização (2 cm): 7			48,97 m²	0,98 m³		0,35 m³	17,73
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Externo	A	2,51 m²	0,05 m³	0,117	0,01 m³	0,29
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Externo	A	3,48 m²	0,07 m³	0,117	0,01 m³	0,41
Piso: Piso (2cm) - Ceramica Externo: 2			5,99 m²	0,12 m³		0,01 m³	0,70
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno	A	11,38 m²	0,23 m³	0,117	0,03 m³	1,33
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno	A	3,08 m²	0,06 m³	0,117	0,01 m³	0,36
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno	A	15,76 m²	0,32 m³	0,117	0,04 m³	1,84
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno	A	1,40 m²	0,03 m³	0,117	0,00 m³	0,16
1	Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno	A	11,37 m²	0,23 m³	0,117	0,03 m³	1,33
Piso: Piso (2cm) - Ceramica Interno: 5			42,99 m²	0,86 m³		0,10 m³	5,03

Fonte: Elaborado pelo Autor (2019)