

GEORGE YUN

**A aplicação do Building Information
Modeling (BIM) na quantificação de resíduos
de demolição**

Dissertação de Mestrado

Departamento de Engenharia Civil

Belo Horizonte, outubro de 2017

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GEORGE YUN

**A APLICAÇÃO DO *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) NA
QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO**

BELO HORIZONTE

2017

GEORGE YUN

**A APLICAÇÃO DO *BUILDING INFORMATION MODELING* (BIM) NA
QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO**

**Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia Civil do
Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre em Engenharia
Civil.**

Orientador: Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues

BELO HORIZONTE

2017

Yun, George
Y94a A aplicação do Building Information Modeling (BIM) na
quantificação de resíduos de demolição / George Yun. – 2017.
xvi, 158 f. : il., gráfs, tabs., fotos.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Civil.
Orientador: Conrado de Souza Rodrigues.
Bibliografia: f. 139-151.
Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil

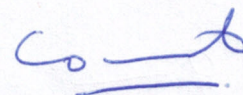
1. Edifícios – Estimativas – Teses. 2. Modelagem de informação
da construção – Teses. 3. Resíduos de construção e demolição –
Teses. 4. Autodesk Revit (Programa de computador) – Teses.
I. Rodrigues, Conrado de Souza. II. Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Civil.
III. Título.

CDD 691

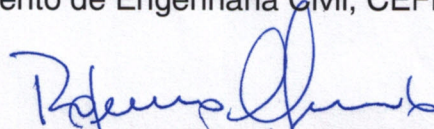
GEORGE YUN

**A APLICAÇÃO DO BUILDING INFORMATION MODELING
(BIM) NA QUANTIFICAÇÃO DE RESÍDUOS DE DEMOLIÇÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil



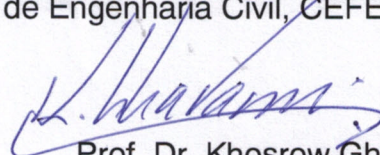
Prof. Dr. Conrado de Souza Rodrigues
Orientador
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Prof. Dr. Rogério Cabral de Azevedo
Examinador
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Profª Drª. Daniela Matschulat Ely
Examinadora
Departamento de Engenharia Civil, CEFET-MG



Prof. Dr. Khosrow Ghavami
Examinador Externo
Pontifícia Universidade Católica do RJ/CEFET-MG

Belo Horizonte, 30 de agosto de 2017

DEDICATÓRIA

Dedico:

*Ao meu pai que sempre me ensinou
a ver luz em tudo.*

*Aos meus irmãos e minha família
que mesmo em silêncio me
direcionam a verdade.*

*Em especial a minha amada esposa
Michele, fiel companheira e
incentivadora.*

*Aos meus queridos filhos: Kaiky e
Gabriel, pelo convívio, apoio,
cumplicidade, sorrisos e choros.*

Aos queridos mestres e colegas.

*E, a todas as pessoas queridas, que
de algum modo, contribuíram com
apoio, presteza e consideração para
a realização deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo que me apresenta e que ainda me reserva.

A minha querida família, que soube lidar, com sabedoria e elevação espiritual as minhas ausências e falhas.

A minha mãe, Dona Tina, sempre presente em meu coração.

Agradeço ao Sr. Yun e a Maria Luiza, sempre queridos e sempre amados.

Agradeço aos meus sogros, Francisco e Cristiane, aos meus cunhados Lucas e Millena, que sempre confiaram em mim.

Agradeço a minha linda e maravilhosa Michele, que sempre ao meu lado me ensina o verdadeiro sentido da vida. E meus filhos, amo incondicionalmente e agradeço a compreensão pelas faltas.

Agradeço ao meu querido irmão José, que apesar de ter falecido enquanto eu finalizava este mestrado, sempre me apoiou e estará eternamente ao meu lado.

Ao irmão João, agradeço pelos aprendizados e peço que sempre cuide de nós. A querida Eliane e minhas sobrinhas.

Agradeço as minhas irmãs Méia, Zaia e Juliana pelo carinho e cuidado, como segundas mães. Aos meus queridos sobrinhos.

Aos meus amigos do DNIT/MG e do MTPA, que fortaleceram os meus ânimos para a consecução deste trabalho.

Agradeço ao CEFET-MG por oferecer esta oportunidade de formação acadêmica, proporcionando novas amizades e uma convivência salutar e construtiva com os docentes.

Agradeço nominalmente ao meu orientador, Doutor Conrado de Souza Rodrigues, pela contribuição para o desenvolvimento e realização deste trabalho, além de proporcionar segurança e tranquilidade em tempos tão tormentosos em minha vida pessoal.

Agradeço ao Túlio e a equipe da Terraplenagem Modelo, imprescindíveis para a realização deste trabalho.

Do mesmo modo, agradeço aos diversos colegas e amigos pela orientação e auxílio em todas as atividades desenvolvidas.

Muito Obrigado.

“O passado não volta. Importantes são a continuidade e o perfeito conhecimento de sua história.”

Lina Bo Bardi

RESUMO

Ao analisar o ciclo de vida dos edifícios, a maioria dos resíduos corresponde ao estágio de demolição, sendo crucial a sua quantificação para uma gestão eficiente. Com foco no contexto do município de Belo Horizonte, identifica-se um ativo mercado secundário de materiais de demolição, embora, seja predominantemente decorrente de uma "desconstrução rudimentar". O uso de ferramentas computacionais que podem ser combinadas com sistemas como a tecnologia Building Information Modeling (BIM) pode melhorar a estimativa de resíduos de demolição (RD), levando a uma informação mais precisa, crucial para um melhor gerenciamento de resíduos. O uso do BIM para atingir esse objetivo pode promover um ambiente mais colaborativo em todo o processo de gerenciamento de resíduos, pois é baseado no fluxo de informações integradas nos diferentes estágios de um processo para resolver os problemas de RD no final da vida dos edifícios. Esta dissertação apresenta uma revisão da literatura dos modelos para quantificação de RD. Com base nisso, uma aplicação do BIM para a determinação volumétrica de RD é desenvolvida. O software Autodesk Revit foi utilizado para a modelagem em 3D das 13 edificações antes da demolição, gerando as estimativas volumétricas de RD. Os valores foram comparados com as estimativas de volumes de RD resultantes da aplicação do método de visita indireta (MVI) e os volumes licenciados pelo município de Belo Horizonte (PBH). A principal característica utilizada do software Revit é o Quantity Take-off (QTO), que corresponde à extração automática de quantidades de um determinado projeto. Ao comparar o QTO com o MVI e os cálculos fornecidos pela PBH, numerosas incertezas justificam as significativas diferenças entre as estimativas de volume de RD, mas, os resultados demonstram que o QTO minimiza os erros em relação a quantificação baseada em projetos 2D. Além disso, proporciona numerosos ganhos de produtividade, transparência e assertividade.

Palavras Chave

Desconstrução, Extração Automática de Quantidades, QTO, RCD, Revit.

ABSTRACT

When analyzing the lifecycle of buildings, most of the waste corresponds to the demolition stage, being crucial to be quantified for an efficient management. Focusing on the context of Belo Horizonte city, an active secondary market for demolition materials is identified, although predominantly resulting from "rudimentary deconstruction". The use of computational tools that can be combined in systems such as Building Information Modeling (BIM) technology can improve demolition waste (DW) estimation, leading to more accurate information that is crucial for a better waste management. The use of BIM to achieve this goal can promote a more collaborative environment throughout the waste management process, as it is based on the information flow that integrates different stages of a process to resolve the DW issues in the end of life of buildings. This master thesis presents a literature review of the models for DW quantification. Based on that, an application of BIM for the volumetric determination of DW is developed. Autodesk Revit software was used for the 3D modeling of the 13 buildings prior to their demolition, generating the volumetric estimates of DW. Values were compared to the estimates of volumes of DW resulted from the application of the indirect visit method (IVM) and volumes licensed by the municipality of Belo Horizonte (PBH). The main feature of the Revit software is the Quantity Take-off (QTO), which corresponds to the automatic extraction of quantities of a given project. When comparing QTO to IVM and the calculations provided by PBH, numerous uncertainties justify the significant differences between DW volume estimates, yet the results demonstrate that the QTO minimizes errors from traditional 2D project-based quantitative extraction. Also, it provides numerous gains in productivity, transparency, and assertiveness

Keywords

Automatic Quantity Extraction Quantification, Deconstruction, QTO, CDW, Revit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Níveis de preferência nas ações de gestão de RCD	36
Figura 2 - Hierarquia de gestão de RD	36
Figura 3 - Ciclo do <i>DfD</i>	40
Figura 4 - Tendência de pesquisas sobre a quantificação de RCD	45
Figura 5 - Comparação de estudos sobre quantificação de RCD por continente	46
Figura 6 -. Número de estudos sobre quantificação de RCD por atividade geradora	47
Figura 7 - Nível de influência dos estudos	47
Figura 8 - Distribuição por método de quantificação de RCD	50
Figura 9 – Estudos sobre métodos de quantificação de RD	50
Figura 10 – Abordagens sobre demolição, abrangência regional e MCTG	52
Figura 11 - Proposição de cálculo volumétrico de RCD armazenado	55
Figura 12 - Proposição de cálculo volumétrico de RCD coletado	56
Figura 13 - BIM na gestão sustentável da construção	65
Figura 14 - Comunicação entre diferentes fluxos de trabalho, HHI e CCI	74
Figura 15 - Relação entre Nível de desenvolvimento e Etapas de Projeto	76
Figura 16 - Pontos fortes e fracos do <i>software</i> REVIT	78
Figura 17 - Preferência por <i>Software</i> utilizado na produção de desenho	79
Figura 18 - Interface do usuário do Revit Arquitetura 2017	80
Figura 19 - Interface do Usuário – IU – <i>Ribbon</i>	81
Figura 20 - Famílias disponíveis na instalação padrão do Revit 2017	82
Figura 21 - Exemplos de paredes arquitetônicas padrão do Revit 2017	82
Figura 22 - Exemplo da QTO de paredes arquitetônicas da obra nº 6	85
Figura 23 - Diferença de referências para cálculo de dimensões em dois métodos	87
Figura 24 - Etapas de elaboração do presente estudo	89
Figura 25 - Atividades realizadas na Preparação da Pesquisa	90
Figura 26 - Sistema de consulta on-line de licenças ao cidadão	91
Figura 27 - Atividades realizadas na etapa de levantamentos e acompanhamento das demolições	94
Figura 28 – Resíduos de demolição recuperados	97
Figura 29 - Desconexões da obra demolida com edificações vizinhas	99
Figura 30 – Período entre a concessão da licença e a demolição total	99
Figura 31 - Vários níveis de pisos	103
Figura 32 - Vários níveis de pisos de obra e indefinições quanto o escopo da obra	103
Figura 33 - Exemplos de riscos ambientais, de acidentes ou danos a terceiros	104
Figura 34 - Forma abaulada para os RD carregados	106
Figura 35 - Forma prismática dos RD carregados	107
Figura 36 - Sobrecarga sem formato específico	107
Figura 37 - Heterogeneidade, mistura e contaminação dos RD	108

Figura 38 - Variabilidade de carregamentos de RD com conchas de equipamento hidráulico devido aos tipos de materiais.....	109
Figura 39 - Atividades realizadas na etapa de obtenção de dados	110
Figura 40 - Capacidade volumétrica nominal das caçambas.....	111
Figura 41 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente em formato abaulado	111
Figura 42 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente em formato prismático	112
Figura 43 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente sem formato específico.....	113
Figura 44 – Exemplo de modelo sem piso (“flutuando”) da obra 3	116
Figura 45 - Modelo de projeto com níveis principais, Obra 9	118
Figura 46 - Combinação de parâmetros de projeto.....	121
Figura 47 – Aplicação de filtros de visibilidade com cores distintas para cada parâmetro de projeto	123
Figura 48 – Filtros de visibilidade aplicados à Obra 5.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - RCD por origem nos Estados Unidos, em 2013 (Milhões de toneladas)	28
Tabela 2 - Relação de volume por área de RD por finalidade de uso e técnica construtiva (m^3/m^2), na Espanha, ano 2011	32
Tabela 3 - Número de artigos em periódicos relacionados à Gestão de RCD	42
Tabela 4 - Locais com produção acadêmica sobre RCD no período de 1.994 a 2008	43
Tabela 5 - Locais e continentes com produção acadêmica sobre quantificação de RCD no período de 1.990 a 2013	45
Tabela 6 - Estudos que abordam exclusivamente a quantificação de RD	51
Tabela 7 – Vida útil padrão e intervalos de tempo de serviço de materiais de construção em diferentes atividades.....	59
Tabela 8 - Características da representação em 2D que podem gerar problemas na interpretação de projetos.....	83
Tabela 9 - Comparação de resultados entre <i>software</i> específico de quantificação e o modelo BIM.....	86
Tabela 10 – Diferença de referências físicas para cálculo de dimensões em dois métodos.....	87
Tabela 11 - Informações de uso, região e volumes licenciados por licença de demolição.....	93
Tabela 12 - Diretrizes utilizadas pelos responsáveis pelos projetos de demolição para fins de licenciamento	95
Tabela 13 - Dias das demolições e Equipamentos Hidráulicos utilizados	100
Tabela 14 - Causas de atrasos e paralisações de serviços de demolição e carregamento de caminhões nas obras pesquisadas.....	101
Tabela 15 - Cabeçalho das fichas de acompanhamento das cargas de RD	104
Tabela 16 - Cadastro inicial dos caminhões e motoristas.....	105
Tabela 17 - Campos de informações sobre os carregamentos de RD ..	105
Tabela 18 - Cálculo de volume total de RD da obra 8 sem a carga excedente	114
Tabela 19 - Cálculo de volume de RD excedente a altura da caçamba e volume total de RD gerado para a obra 8	115
Tabela 20 - Combinações de acabamentos e espessuras de paredes da Obra 6.....	118
Tabela 21 – Homogeneização das espessuras de paredes com acabamentos interno e externo, em centímetros	119
Tabela 22 - Volume estimado pelo Método de Visita Indireto (MVI) por obra pesquisada e total.....	125
Tabela 23 - Volumes gerados pela demolição das obras e respectivos totais sem empolamento	126
Tabela 24 - Volumes estimados por diferentes métodos de quantificação de RD.....	128

Tabela 25- Diferenças entre volumes de RD a partir da representação em 2D e pelo Revit	129
Tabela 26 - Diferenças percentuais de quantificação de RD a partir de representação em 2D e o volume estimado pelo MVI	129
Tabela 27 - Diferenças percentuais entre os volumes estimados em MVI e pelo Revit.....	130
Tabela 28 - Proposta de fator de empolamento para o uso do Revit.....	131
Tabela 29 - Relação m^3/m^2 para os volumes licenciado, MVI e Revit....	132
Tabela 30 - Comparação entre estimativas de carregamentos e a quantidade de carregamentos realizados	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2D - Duas dimensões.

3D - Três dimensões.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRECON - Associação Brasileira para Reciclagem de RCD

ABRELPE - Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos
Especiais

AEC - Arquitetura, Engenharia e Construção

AIA - American Institute of Architects

BIM - Building Information Modeling

BOO - Building Ordinance Office

CAD - Computer Aided Design

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DfD - Design for Deconstruction ou Design for Disassembly

EPA - Environmental Protection Agency

EPIC - Eletronic Product Information Cooperation

GFA - Gross Floor Area

GIS - Geographical Information Systems

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IFC - Industry Foundation Classes

ISO - International Organization for Standardization

LOD - Level of development ou Level of detail

ND – Nível de Desenvolvimento

MCTG – Método de Cálculo de Taxa de Geração

MVI – Método de Visita Indireta

OCDE - Organização para Cooperação e para o Desenvolvimento
Econômico

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

PMGIRS-BH - Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
de Belo Horizonte

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

QTO - Quantity Take-off

RC – Resíduos de Construção

RCD - Resíduos de Construção e Demolição

RD - Resíduos de Demolição

RDR - Resíduos de Demolição Recuperados

RFID - Radio-Frequency Identification

RR - Resíduos de Reforma

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil.

SLU - Superintendência de Limpeza Urbana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos	20
1.2 Justificativa	20
2 REVISÃO TEÓRICA	23
2.1 RCD: Definições e classificações	23
2.2 A sustentabilidade e os impactos relacionados aos RCD	25
2.3 Origem dos RCD	28
2.3.1 Resíduos provenientes de novas construções civis	29
2.3.2 Resíduos provenientes de reformas, renovação, remodelação e reabilitação de obras civis	30
2.3.3 Resíduos provenientes de demolições de obras civis	31
2.4 Estágios da demolição	32
2.4.1 Estágio de decisão por demolir	33
2.4.2 Estágio de Pré-demolição	33
2.4.3 Estágio de demolição	34
2.4.4 Estágio de Pós-demolição	34
2.5 Hierarquia e Gestão dos RCD	35
2.5.1 Desconstrução ou Demolição Seletiva	37
2.5.2 <i>Design for Disassembly</i> ou <i>Design for Deconstruction - DfD</i>	39
2.6 Métodos de quantificação de RCD	41
2.6.1 Vantagens e Desvantagens dos principais Métodos de quantificação de RCD	53
2.7 Modelo de informações de construção – BIM	63
2.7.1 O BIM na gestão do ciclo de vida dos projetos	68
2.7.2 O BIM na gestão dos resíduos de demolição	68
2.8 Conceitos BIM: Interoperabilidade, Sistemas de Classificação da Informação e Nível de desenvolvimento (ND) / LOD – <i>Level of detail</i> ou <i>Level of development</i>	69
2.8.1 Interoperabilidade	71
2.8.2 <i>Sistemas de classificação da informação</i>	72
2.8.3 <i>LOD – Level of detail x Level of development</i>	75
2.9 <i>Softwares</i> do Sistema BIM	77
2.9.1 Autodesk Revit <i>Arquitetura</i>	79
2.9.1.1 Extração Automática de Quantidades de um Projeto em BIM – <i>Quantity Take-off (QTO)</i>	83
3 MÉTODOS E MATERIAIS	89
3.1 1ª Etapa: Preparação da Pesquisa	90
3.1.1 Atividade 1: Seleção das edificações – objetos do estudo:	90
3.1.2 Atividade 2: Seleção dos métodos de quantificação constantes da literatura	93
3.2 2ª Etapa: Levantamentos e acompanhamento das demolições	94
3.2.1 Atividade 1: Levantamento arquitetônico das edificações	95
3.2.2 Atividade 2: Acompanhamento das demolições	96
3.3 3ª Etapa: Obtenção de Dados	109

3.3.1	Atividade 1: Obtenção dos volumes de RD derivado da demolição propriamente dita, com aplicação do Método de Visita Indireto (MVI)	110
3.3.2	Atividade 2: Obtenção dos volumes de RD pela extração de quantidades com o uso do Revit	115
4	RESULTADOS	125
4.1.1	Volumes totais de RD calculados pelo método de MVI	125
4.1.2	Volume totais de RD pela extração de quantidades com uso do <i>software</i> Revit	126
4.2	Comparação entre os resultados de quantificação de volumes: Revit x Licença PBH x Gerados (MVI)	127
4.3	Estabelecimento das relações de massa/volume (m^3/m^2). (MCTG), para resultados do Revit x Licença PBH x Gerados (MVI)	131
5	CONCLUSÕES	134
5.1	Sugestões para Trabalhos Futuros	136
	Referências	139
	APÊNDICE A – Modelos virtuais das obras estudadas	152

1 INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil, segundo Ajayi *et al.* (2016), representa uma parcela de 13% da economia global, contribuindo, conforme Paz e Lafayette (2016), para o desenvolvimento econômico dos países devido à alta geração de emprego e a direta influência em todo setor produtivo de insumos, serviços e equipamentos.

O crescimento econômico para a indústria da construção até o ano de 2030 está projetado em 85%, sendo a China, Estados Unidos e Índia os maiores expoentes econômicos, que responderão por cerca de 57% de todo o crescimento global (PERSPECTIVES; ECONOMICS, 2015).

Apesar da euforia na projeção econômica desta indústria, de acordo com Chendes (2017), este setor é um dos maiores poluidores ambientais considerando todas as fases do ciclo de vida, gerando uma enorme quantidade de resíduos de construção e demolição.

A Lei Federal 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) descreve os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), como aqueles resultantes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídas as advindas da preparação e escavação de terrenos para realização das mesmas (BRASIL, 2010).

Atenta-se que os quantitativos de RCD no Brasil, não se apresentam individualizados por fase de obra (construção, reforma e demolição) sendo o excesso de informalidade do setor de construção civil e a disposição irregular dos RCD, suas principais causas, prejudicando a obtenção de dados estatísticos sobre a sua geração (TORRALBA; JALALI, 2011).

Existe nítida discrepância internacional quanto à maturidade no enfrentamento da gestão dos RCD, por exemplo, conforme Tam (2009), o Japão apresenta uma taxa de 98% de reciclagem de concreto enquanto que

no Brasil segundo Miranda (2015), a estimativa de reciclagem de RCD, de maneira geral é de 21%.

Begum *et al.* (2007) afirmam que a geração de RCD dependem de fatores como a sua origem, o seu tipo, a sua disposição intermediária ou final e a quantidade de material reduzido na fonte, reutilizado ou reciclado no próprio local da obra ou fora dela.

Volk; Stengel e Schultmann (2014) acrescentam que as diferenças nos usos (residencial, comercial, institucional ou de infraestrutura), no tempo de construção e quanto ao proprietário (particular, associações, autoridades, universidades) influenciam no tipo de RCD a ser gerado.

Segundo Volk (2017), os edifícios são caracterizados pela sua imobilidade, heterogeneidade e singularidade, e que durante toda a sua vida útil recebem inúmeras intervenções, superficiais ou extremas, que raramente são documentadas, estabelecendo altos níveis de incertezas ao se elaborar os inventários das edificações existentes.

Em termos percentuais a demolição representa cerca de 90% na geração de RCD, enquanto que as atividades de construção correspondem a apenas 10% (EPA, 2015).

As técnicas de demolição e o gerenciamento de RCD são os principais problemas no desenvolvimento de uma construção sustentável (CHENDEŞ, 2017; KAMRATH, 2015). Cheng e Ma (2013) acrescentam que faltam métodos convenientes para estimação do volume de RCD a serem gerados nas obras.

Os planos de demolição devem ser desenvolvidos para qualquer nível de complexidade de obras a fim de se maximizar a recuperação destes materiais com segurança no desempenho das atividades e com menor impacto ambiental.

A disseminação de novas tecnologias como o BIM (*Building Information Modeling*), ou Modelagem da Informação da Construção, permite vislumbrar um método de quantificação de Resíduos de Demolição (RD) em nível de

projeto mais vantajoso em relação aos demais métodos existentes na literatura, seja pela economia de tempo e esforço na extração de quantitativos volumétricos de materiais, pela versatilidade de obtenção de vários dados automatizados, bem como na precisão das informações geradas.

Para tanto, este trabalho utiliza o conceito BIM com uso do *software* Revit 2017, da Autodesk, de modo a propor um método de quantificação de resíduos de demolição, a partir do acompanhamento de 13 obras de demolições no município de Belo Horizonte, correspondendo a uma área de piso total acumulada de 4.388,47 metros quadrados e um volume licenciado de 3.971,06 metros cúbicos.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é demonstrar a aplicabilidade do *software* REVIT – Autodesk, dentro do conceito BIM para se quantificar os resíduos provenientes de demolição de edificações.

Como objetivos específicos, que foram alcançados à medida que o estudo se desenvolveu e contribuíram para as conclusões finais, tem-se:

- analisar os resultados obtidos nas estimativas virtuais de volume de RD obtidas com o *software* REVIT com a geração real de RD das obras;
- demonstrar a conveniência do uso do *software* REVIT na quantificação de RD em relação a estimativa baseada em desenhos em 2D.

1.2 Justificativa

A atual preocupação ambiental da indústria da construção, quanto aos impactos associados aos RCD, não é suficiente para se evitar as sobrecargas

dos sistemas de gestão destes resíduos em várias localidades (DEL RÍO; IZQUIERDO; AZEVEDO, 2010).

Indistintamente aos resíduos sólidos, a escolha correta da metodologia de avaliações de impacto sobre os fluxos de resíduos são essenciais e indispensáveis no seu planejamento de gestão (BEIGL; LEBERSORGER; SALHOFER, 2008).

De acordo com Wu *et al.* (2014), a precisão na quantificação de RCD depende da disponibilidade de dados, sendo comum a sua escassez em locais de emergente desenvolvimento, como por exemplo, a Malásia, que se deve, conforme Begum *et al.* (2007), provavelmente a rápida urbanização ou a pouca atenção governamental.

O grande desafio consiste em estabelecer um método de quantificação que alie a precisão necessária dos resultados com a facilidade de realização dos trabalhos, com economia de prazo e custo, contribuindo para a disseminação da prática de elaboração de planos e gerenciamento de RCD, em todos os níveis de complexidade de obra.

Por Wu *et al.* (2014), embora existam metodologias de quantificação presentes na literatura, em casos práticos, as verificações quanto a sua precisão e eficiência são escassas, faltando a validação quanto a sua viabilidade de utilização.

Novas pesquisas sobre a quantificação de RCD, com auxílio computacional, são recomendadas por Wu *et al.* (2014). Neste sentido, Cheng e Ma (2013), expõe que o BIM se mostra como um conceito de trabalho eficiente e de grande potencial prático na quantificação de RCD, permitindo tomadas de decisões adequadas para a sua minimização e gestão sustentável.

Conforme Succar (2009), o BIM possibilita propagar o trabalho colaborativo e integrado em todo o ciclo de vida da construção, entretanto, segundo Akinade *et al.* (2015) é dada pouca ênfase para as funcionalidades do BIM no estágio final das edificações.

No estudo foi utilizado o *software* Revit Arquitetura, da Autodesk, inserido no conceito BIM, para a quantificação de resíduos de demolição de obras civis, devido a liderança de mercado e alcance mundial deste *software*, exposto por Eastman *et al.* (2011).

O desenvolvimento da pesquisa foi baseado em obras de demolição licenciadas dentro do município de Belo Horizonte, cujos responsáveis técnicos tenham autorizado o autor deste trabalho a realização de novos levantamentos e o acompanhamento das demolições.

Este autor realizou o levantamento arquitetônico, o registro fotográfico e o acompanhamento das demolições das obras, a fim de identificar os materiais recuperados, que permitiu as comparações entre os volumes de RD gerados nas obras e os extraídos pelo Revit.

As edificações apresentavam estrutura em concreto armado, de uso residencial ou comercial, sendo que as demolições resultaram do interesse de implantação de novos empreendimentos imobiliários.

A pesquisa permitiu propor um fator de empolamento com o uso do Revit, para edificações de pequeno porte e que conservem similitudes com as obras deste estudo, entretanto, desconsidera a classificação dos RCD por materiais e suas composições, bem como a distinção quanto aos métodos e equipamentos de demolição utilizados e a vida útil remanescente dos elementos construtivos.

2 REVISÃO TEÓRICA

A revisão teórica visa apresentar diferentes definições para os Resíduos de Construção e Demolição ressaltando as suas origens e formas de minimização. Agrega-se a análise de métodos de quantificação de RCD presentes na literatura e apresenta os principais conceitos sobre o BIM.

2.1 RCD: Definições e classificações

Yuan (2011) expõe que na literatura não existe uniformidade sobre a definição de Resíduos de Construção e Demolição, muitas vezes com interpretações subjetivas, segundo Williams (2013). Entretanto, é imperiosa a clara definição legal e estatística para cada país, devido às implicações financeiras e legais para os negócios e para cada governo local.

No Brasil, o estabelecimento de diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão de resíduos da construção civil se iniciou com a publicação da Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (BRASIL, 2002), com alterações posteriores dadas pelas resoluções 348/2004, 431/2011 e 469/2015 (BRASIL, 2004; 2011; 2015).

A Lei 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis (BRASIL, 2010).

Os RCD também são reconhecidos pelo termo Resíduos da Construção Civil (RCC) ou popularmente como entulhos de obras ou metralha, correspondendo aos resíduos resultantes de obras de construção civil, incluídas as advindas da preparação e escavação de terrenos para

realização das mesmas, dentre eles: quaisquer materiais pétreos naturais ou artificiais, metais, tintas, madeiras, vidros, dentre outros.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) tornou válida pela Norma Técnica NBR 10.004 (ABNT, 2004) a metodologia que classifica os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

A Instrução Normativa nº 13, do IBAMA torna pública a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2009); com similitudes à lista europeia e suas emendas definidas pela *Commission Decision* (EUROPEO, 2000). Na lista brasileira são acrescentadas as sucatas e as ligas metálicas de magnésio e níquel, além dos resíduos resultantes da incineração ou tratamento térmico de solos contaminados por substâncias orgânicas perigosas.

Os RCD na União Europeia, segundo Williams (2013), são compostos em geral de materiais inertes não biodegradáveis com baixa produção de gases provenientes de sua decomposição, com algumas exceções, como por exemplo, a madeira, que podem conter materiais perigosos como asbestos, tintas, revestimentos, adesivos, fibras minerais de isolamento e outros.

Nos Estados Unidos, o termo resíduo é comumente substituído por detrito, cuja definição corresponde aos materiais gerados durante obras civis ou de infraestrutura, incluindo concreto, asfalto, madeira serrada, vigas e hastes de aço, fiação, tocos de árvores, solo e outros itens diversos relacionados com as atividades listadas acima, bem como daqueles provenientes de desastres naturais (PRAIRIE VILLAGE, 1998).

Na China, de acordo com Hoornweg *et al.*(2005) ,os RCD não são considerados como resíduos sólidos municipais, mas, como resíduos especiais conjuntamente aos resíduos eletrônicos, baterias, pneus, resíduos perigosos; lodo de esgoto; resíduos industriais perigosos e lixo hospitalar, incorrendo maior atenção quanto a sua gestão.

No Japão, a lei de limpeza pública e gestão de resíduos classificam os resíduos gerados basicamente como resíduos sólidos municipais e industriais,

neste último, se enquadra os RCD (JAPAN, 1970). Conforme Tam (2009), a lei de reciclagem de materiais de construção, *Construction Material Recycling Law*, obriga os construtores a praticar a reciclagem e a reutilização dos RCD, cujas violações são penalizadas, inclusive de forma solidária aos clientes e contratados em todos os níveis (JAPAN, 2000).

2.2 A sustentabilidade e os impactos relacionados aos RCD

A temática da conservação ambiental global foi marcada pela publicação do *Our Common Future*, mais conhecido como Relatório de Brundtland, que foi elaborado pela *World Commission on Environment and Development* (BRUNDTLAND, 1987).

Segundo Teodoro (2011), este relatório apresenta uma crítica ao modelo de desenvolvimento dos países industrializados, destacando a utilização desenfreada de recursos naturais na atualidade sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas e as necessidades futuras.

Outra importante fonte de referência para o desenvolvimento sustentável é a Agenda 21, documento que, segundo Moraes (2006), sela o acordo entre vários países signatários, que se comprometeram a incorporar em suas políticas públicas um amplo programa de desenvolvimento sustentável do planeta, frente aos problemas resultantes de poluição, desmatamento, superpopulação e pobreza.

O setor de construção foi discutido em 12 dos 48 capítulos da agenda 21, conforme Moraes (2006), sendo apresentados em 2 capítulos a necessidade de manejo ambientalmente sustentável de resíduos sólidos, sem abordagem direta em relação aos RCD, mas com fomento à minimização dos resíduos, à prevenção daqueles considerados perigosos e à maximização da reutilização e reciclagem.

De acordo com Lepuschitz (2013), as edificações exibem vida útil mais longa do que produtos de uso diário, sendo imposta certa imprevisibilidade no

fluxo de suas massas residuais, requerendo um sistema de gestão próprio, diferente do sistema de resíduos sólidos municipais, podendo contribuir para o desenvolvimento sustentável a partir de gestões mais eficientes em relação ao uso de materiais de construção e reuso dos resíduos.

O tripé da sustentabilidade, termo cunhado por Elkington (2004), como “*Triple bottom line*” -*People, Planet and Profit*-, ou seja, o tripé ambiente, economia e sociedade, de acordo com Agopyan e John (2011), deve ser considerado de maneira integrada na indústria da construção civil, para atender as expectativas da sociedade e ao mesmo tempo reduzir impactos ambientais.

Segundo Hendriks; Nijkerk e Koppn (2007), o maior consumo de matérias-primas é derivado da produção de materiais de construção, cuja demanda vem aumentando ao longo dos anos a fim de promover melhores condições de moradia à humanidade.

A estimativa da *World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)* para a população global é de 9 bilhões, até o ano 2050, com 98% desse crescimento ocorrendo nos países emergentes e em desenvolvimento, ampliando a preocupação quanto ao consumo de matérias-primas (WBCSD, 2010).

Kofoworola e Gheewala (2009) expõem que o problema da gestão de RCD na Tailândia é similar ao de Hong Kong, embora notadamente podem ser replicados para vários países. São eles:

- dotação orçamentária insuficiente para o gerenciamento de RCD;
- ineficácia na reversão da cobrança de taxa de serviço em benefício à população;
- falta de planejamento das ações;
- regulação fraca e burocrática que objetive a hierarquização na gestão de RCD;

- escassez de pessoal qualificado para operar uma prática eficiente de recolha e eliminação de resíduos;
- ausência de programas de reciclagem de resíduos na maioria das comunidades;
- baixa cooperação e participação pública.

Conforme Kartam *et al.* (2004), os RCD constituem em sua maioria materiais inertes, porém, são frequentemente dispostos de modo irregular e catalisam o acúmulo de outros tipos de resíduos no local, que segundo estudos de Liu; Pun e Itoh (2003), possibilitam a lixiviação com potencial impacto sobre a qualidade das águas subterrâneas.

A coleta pública de RCD no Brasil ultrapassou, em 2014, de 45 milhões de toneladas, de acordo com a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), contabilizados pela maior parte dos municípios, representando mais de 56% de toda a massa de resíduos sólidos urbanos coletados naquele ano (ABRELPE, 2015).

Apesar desta constante preocupação, ainda em 2014 no Brasil, cerca de 41,6% dos resíduos sólidos urbanos, representando 81 mil toneladas diárias, ainda eram destinados à lixões ou aterros controlados. Nesta perspectiva de destinação final ambientalmente inadequada, os RCD alcançam a ordem de 50 mil toneladas por dia (ABRELPE, 2015).

Belo Horizonte - MG se destaca, conforme citado por inúmeros autores, como referência brasileira na gestão de RCD (COSTA et al., 2007; DA COSTA; OLIVEIRA, 2011; MORAIS, 2006; NETO, 2009; PINTO, 1999; TOZZI, 2006). Segundo Silva (2005), entretanto, esta capital também não está isenta de problemas com os RCD devido a fatores conjunturais e estruturais, resultando na persistência das deposições clandestinas cuja massa soma 300 toneladas recolhidas diariamente (SLU, 2017).

2.3 Origem dos RCD

Como não existe uma única definição para os RCD, a descrição de sua origem também não é homogênea, sendo considerados na maioria das vezes, como resíduos provenientes das etapas de construção, de manutenção, de reforma e de demolição de obras civis.

Entretanto, a origem dos RCD apresenta variações entre países, ou até mesmo entre regiões, que de acordo com Prairie *et al.* (1998), são dependentes de características da indústria da construção local, das condições climáticas e de regulação governamental, podendo inserir, conforme a EPA (2015), os resíduos provenientes de obras de infraestrutura, ou mesmo os RCD associados aos planos de gestão específicos para enfrentamento de desastres naturais (FISHMAN *et al.*, 2014; GAO, 2008; KREITH; TCHOBANOGLIOUS, 1999; MORIGUCHI; HASHIMOTO, 2016; RATNASOORIYA; SAMARAWICKRAMA; IMAMURA, 2007), além daqueles originados por atos da humanidade, como atentados e guerras (KARTAM *et al.*, 2004; TAMRAZ; SROUR; CHEHAB, 2012).

Diante da Tabela 1, verifica-se que a construção civil nos Estados Unidos, em 2013, gerou cerca de um quarto do total de RCD como RD e apenas 4,60%, correspondendo aos resíduos advindos de novas construções (RC) ou de reformas ou recuperação de edifícios (RR). Assim, as atividades de demolição de obras civis apresentaram percentuais cinco vezes superiores às atividades de construção e reforma de obras civis EPA (2015).

Tabela 1 - RCD por origem nos Estados Unidos, em 2013 (Milhões de toneladas)

	RC e RR de obras civis	RD de obras civis	RCD de obras civis	RD de rodovias e pontes	RCD de infraestrutura em geral	Total de RCD
Total (milhões de toneladas)	24,4	137,7	162,1	243,5	124,5	530,1
% sobre total de RCD	4,60%	25,98%	30,58%	45,93%	23,49%	100,00%

Fonte: Adaptado de EPA (2015)

Atos de sabotagem e terrorismo em alguns casos são considerados como desastres ocasionados por ação do homem e geradores de RCD, sendo apresentado o exemplo mais emblemático por Kreith e Tchobanoglous (1999), como sendo o trágico ato terrorista do 11 de setembro de 2001, que resultou na destruição das torres gêmeas do World Trade Center, em Nova Iorque.

Outra ação humana que origina os RCD são as disputas armadas por questões territoriais, religiosas, políticas, religiosas ou ideológicas, como exemplificam Nasr *et al.* (2009) em relação a Guerra dos 34 dias, no Líbano, entre as Forças Armadas de Israel e o grupo guerrilheiro Hezbollah, quando foram gerados entre 2,5 a 3 milhões de metros cúbicos de destroços.

Uma origem de RCD que independe da ação humana corresponde aos desastres naturais, sendo apontados por Karunasena; Amaratunga e Haigh (2012), em relação ao terremoto que assolou o Haiti em 2010, gerando uma massa estimada entre 23 a 60 milhões de toneladas e o Furacão Katrina, em 2005, cuja estimativa foi de 76 milhões de metros cúbicos de resíduos. Ratnasooriya *et al.* (2007) afirma que o tsunami do Oceano Índico danificou ou destruiu cerca de cem mil casas apenas no Sri Lanka.

Além dos RCD, existem estudos sobre a geração de resíduos indiretos da indústria da construção civil que consideram atos ou ações que não agregam valores aos interessados pela obra, que não são facilmente perceptíveis ou mensuráveis, destacando-se conforme Formoso *et al.* (2002), o retrabalho, o desperdício de tempo, o período improdutivo e a execução de atividades desnecessárias.

2.3.1 Resíduos provenientes de novas construções civis

A geração de resíduos em novas construções civis sempre estará presente se forem consideradas as embalagens dos elementos construtivos e tendo como causas típicas: aquisições inadequadas, incorreto manuseio dos

materiais e ineficiências nas gestões dos RCD e dos locais de obras (FORMOSO et al., 2002; JAILLON; YU; POON, 2004).

Llatas (2011) sugere os projetos mal elaborados como principal causa de geração dos RC. Adicionalmente, Walmikey e Kulkarni (2016) acrescenta as mudanças de projeto e condições climáticas e meteorológicas adversas.

Já Nagapan; Rahman e Asmi (2011) complementam com o fator humano, ou seja, o despreparo dos trabalhadores envolvidos, enquanto que Osmani; Glass e Price (2008) acrescentam as questões contratuais e documentais, além de acidentes e danos durante as operações de trabalho.

Outros fatores de geração de RC são expostos por Nagalli (2016) como: o processo construtivo utilizado, a experiência e tamanho da equipe executora, eficiência de fiscalização da equipe de gerenciamento, cronograma da obra e comprometimento ambiental da diretoria.

2.3.2 Resíduos provenientes de reformas, renovação, remodelação e reabilitação de obras civis

Os resíduos provenientes de reforma, renovação, remodelação e reabilitação (RR), são aqueles que resultam em grande parte, da alteração de finalidade de uso, de melhorias físicas, funcionais ou estéticas de frações de determinada construção, de correções de anomalias e patologias construtivas, de adequações legais e da remoção ou substituição de componentes ou equipamentos que se tenham degradado ou atingido o final de sua vida útil.

De acordo com Carnaúba (2009) *apud* Pasa (2012), os tradicionais sistemas construtivos utilizados no Brasil promovem o desperdício de um volume muito grande de materiais, tanto em novas construções quanto em obras de reforma.

Segundo Teodoro (2011), as características dos RR dependem da área a ser revitalizada, porém, estes resíduos apresentam em sua composição

similitudes aos RD. Ao contrário, Cochran *et al.* (2007), consideram que os RR apresentam composições mais similares aos RC. Pela controvérsia de posturas apresentadas nestes estudos não seria recomendável uma comparação geral entre as composições de RR em relação à RC e a RD, uma vez que dependem da proporção dos materiais a serem demolidos em relação aos gerados pelas obras de reforma.

Na Espanha, em 2005, a relação de massa de RC descartados por área para novas construções foi de 120kg/m², enquanto que para obras de reforma esta relação foi de 338,7 kg/m², desconsiderando-se as demolições parciais, que apresentaram a relação de 903,2 kg/m² e para as demolições totais, esta relação era de 1129 kg/m² (GOVERNMENT, 2008).

Consoante Cochran *et al.* (2007), as inúmeras variações de propósitos e de adoção de técnicas construtivas de obras de reforma dificultam o desenvolvimento de uma equação geral para se estimar a quantidade e a composição de seus resíduos gerados, sendo necessário o cálculo individual de RR para cada obra.

2.3.3 Resíduos provenientes de demolições de obras civis

O objeto deste trabalho corresponde aos resíduos provenientes de demolição de obras civis – RD, que normalmente geram maiores quantitativos de volume e massa em relação aos RC e RR. Segundo Kibert (2013), a geração de RC e RR nos Estados Unidos é de 19,50 kg/m², enquanto que para as obras de demolição a relação é de 757 kg/m², ou seja, por este autor, a demolição apresenta uma relação de massa por unidade de área 38 vezes maior do que a soma dos RC e RR.

Lage *et al.* (2010) a partir do exame documental de plantas baixas de 178 edifícios com 50 anos de construção que já apresentavam previsão de demolição, localizados na Galícia, comunidade autônoma espanhola,

estimaram a geração de RD na relação de 1350kg/m² de obra demolida, em uma projeção para o ano 2011.

Segundo Volk; Stengel e Schultmann (2016) os trabalhos de demolição estão diretamente relacionados ao gerenciamento do ciclo de vida das construções, com níveis de complexidade comparáveis a de uma obra de construção.

Conforme Llatas (2013), paralelamente a geração de RC e RR, os RD também apresentam dependências quanto às particularidades da indústria da construção civil local, principalmente em relação ao tipo de edificação e alterações recebidas, às adoções de técnicas construtivas, a legislação aplicável sobre RCD, à maturidade na gestão de RCD e a confiabilidade de dados estatísticos locais.

Llatas (2013) apresenta intervalos percentuais de composição dos RD distinguindo por técnica construtiva e finalidade de uso, Tabela 2, pela relação de volume/área com o limite superior para obras residenciais e limite inferior para obras não residenciais igual a 1 m³/m².

Tabela 2 - Relação de volume por área de RD por finalidade de uso e técnica construtiva (m³/m²), na Espanha, ano 2011

Construção pesada: Concreto, alvenaria, etc		Construção leve: Elementos pré-fabricados, <i>drywalls</i> , <i>wood frame</i> , etc.	
Residencial	Não residencial	Residencial	Não residencial
0,80 - <u>1,00</u>	<u>1,00</u> - 1,20	0,50 - 0,70	0,70 - 0,80

Fonte Adaptado de Llatas (2013)

2.4 Estágios da demolição

De acordo com Volk (2017) a demolição corresponde a parcial ou completa remoção, com embasamento técnico, de estruturas ou peças de uma construção, em qualquer nível de complexidade, de modo tradicional ou seletivo.

Abdullah (2003) estabelece quatro estágios para a atividade de demolição: Estágio de decisão por demolir, Estágio de Pré-demolição, Estágio de Demolição e Estágio de pós-demolição.

2.4.1 Estágio de decisão por demolir

O processo de demolição, conforme Abdullah (2003), se inicia com a decisão de se demolir a edificação de forma parcial ou completa. Neste estágio, são analisados principalmente o conhecimento técnico-operacional e a competitividade de custos preliminares dos prestadores de serviço, a fim de pautar a decisão de contratação, por interesse público ou particular, conforme os ritos da legislação local.

A escolha do prestador de serviço de demolição deve se iniciar com uma avaliação dos riscos por profissional habilitado, com vistas sobre o sítio de intervenção e o entorno que eventualmente possa a ser afetado, visando a completa eliminação de riscos. Assim a proposta de serviços deve também estabelecer o método de demolição e o seu planejamento de execução, com sequenciamento de etapas e técnicas a serem utilizadas (ABDULLAH, 2003).

Pela complexidade inerente à atividade de demolição e a presença de riscos e incertezas, conforme Volk (2017), a escolha do prestador de serviço extrapola a obrigatória comprovação de habilitação técnica, uma vez que são necessários para esta atividade amplos conhecimentos sobre segurança do trabalho, controle ambiental e remediação, planejamento, viabilidade econômico-financeira, gestão de equipamentos e resíduos, além da própria experiência adquirida.

2.4.2 Estágio de Pré-demolição

De acordo com Qu (2010), o primeiro passo da pré-demolição corresponde à obtenção das licenças, anotações de responsabilidade técnica e demais permissões públicas, sendo posteriormente consideradas as

atividades de desativação dos serviços de abastecimento (água, gás e energia elétrica), coleta de esgoto, cabeamento aéreo ou subterrâneo, dutos de ventilação, dentre outros existentes.

Neste estágio devem ser consideradas as atividades de descomissionamento, que corresponde às atividades de retirada e tratamento prévio e correto de materiais constituídos de asbestos ou demais produtos considerados perigosos, visando o impedimento ou minimização de possíveis danos à saúde humana e ao meio ambiente (ABDULLAH, 2003; QU, 2010).

2.4.3 Estágio de demolição

De acordo com Qu (2010), nesta etapa, após a confirmação das questões de segurança no trabalho e eliminação de contágios com produtos perigosos, inicia os serviços de demolição, pela retirada dos materiais não estruturais, como por exemplo; janelas, portas e acessórios, seguidos da demolição estrutural, manual ou mecânica, perante um sequenciamento técnico e seguro das partes ou elementos construtivos a serem retirados.

A monitoração ambiental, conforme Qu (2010), deve estar sempre presente nos trabalhos de demolição, a fim de minimizar os impactos diretos ao sítio ou contexto urbano, como barulho excessivo, suspensão de poeira, distúrbios no trânsito e circulação de pessoas, dentre outros.

2.4.4 Estágio de Pós-demolição

Neste estágio final, segundo Sá (2013) o contratante deve-se certificar de que o local esteja limpo e em condições de segurança para se proceder à aceitação completa dos serviços. Ferreira (2012) orienta para a necessidade de validação dos resultados pretendidos em relação ao projeto ou estudo elaborado na fase de reconhecimento prévio, a fim de se verificar a existência de passivos ambientais ou danos sobre as edificações vizinhas.

2.5 Hierarquia e Gestão dos RCD

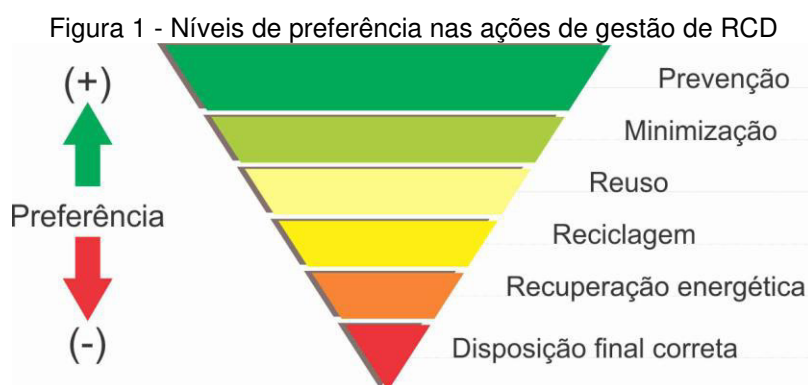
Segundo Tam (2008), a gestão de resíduos da indústria da construção não apresenta completo sucesso, ainda demandando de muitos esforços para o alcance de um padrão satisfatório. Apesar desta situação, a crescente conscientização dos problemas da gestão de RCD refletiu na melhoria dos gerenciamentos de projetos de construção.

A importância da gestão dos RCD no cenário político mundial deriva substancialmente da maturidade do país quanto à preocupação ambiental e do seu desempenho econômico, da disponibilidade de recursos minerais, de tecnologias de reaproveitamento, da extensão territorial, das normativas e políticas sobre o tema, da frequência de acidentes naturais, do grau de formalidade das atividades de construção e outras variáveis.

A crescente conscientização ambiental ampara a profusão de sistemas de gestão de RCD, que abordam principalmente a hierarquização de práticas com vistas a minimização dos impactos ambientais, considerando-se o ciclo de vida das construções, para tanto, Tam e Lu (2016), apontam 4 ações:

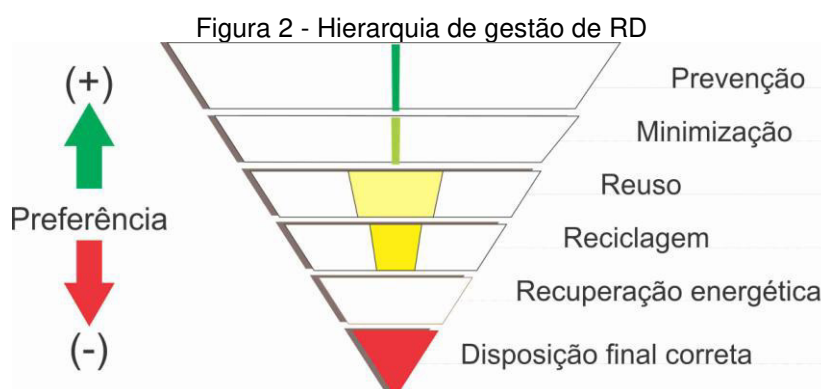
1. Evitar (por exemplo, escolhas projetuais que minimizem a geração de RCD ou fomento à renovação em detrimento da demolição);
2. Reduzir (por exemplo, pelo uso de tecnologias com baixa geração de resíduos ou pela desconstrução)
3. Reusar (por exemplo, pela triagem dos RCD no local ou pelo reuso de materiais em outras funções)
4. Reciclar (por exemplo, pelo processamento de resíduos para a geração de novos agregados)

Adicionalmente, segundo Tam e Lu (2016), a *Skanska World Sweden* acrescenta às ações da recuperação energética e como última possibilidade a disposição final dos resíduos em aterros sanitários, conforme a Figura 1.



Fonte: *Skanska World Sweden* (2017)

Conforme Maña; Barroso e Cuscó (2000), a gestão dos RD foca na caracterização dos materiais e elementos construtivos com uma visão mais abrangente da edificação, com menos preocupações com a prevenção e a minimização de resíduos, mas, sim, de forma a potencializar a reutilização dos elementos construtivos e em menor proporção a reciclagem dos materiais, de acordo com a Figura 2.



Fonte: Autoria própria

A recuperação energética é prevista na legislação brasileira pela Lei 12.305/2010, desde que comprovada a viabilidade técnica ambiental e com a implantação de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos mediante aprovação prévia de órgão ambiental. Como a maioria dos RD se trata de materiais inertes, concretos e alvenarias, pouco se fala de recuperação energética no ramo de demolições, ao contrário dos resíduos sólidos urbanos e agroindustriais (ABRELPE, 2015).

No relatório da ABRELPE (2015), a diminuição dos materiais dispostos, a economia de consumo de energia, a preservação de recursos naturais e a geração de emprego e renda são as principais vantagens da prática da reciclagem, porém, apresenta uma adição financeira pela necessidade de triagem dos materiais, participação ativa da cadeia da construção civil e alteração do processo tecnológico para beneficiamento do material a ser reutilizado no processo industrial.

A disposição final ambientalmente adequada explicitada na Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), corresponde a menor preferência na hierarquia de gestão dos RCD.

A indústria da construção civil brasileira enfrenta um grande desafio diante da situação econômica do país, do alto grau de informalidade do setor e da grande fragmentação de atividades, que dificultam a promoção da racionalidade ambiental. Mesmo assim, estudos direcionados ao fomento de estratégias nacionais na direção da gestão de RCD que combinem legislação, regulação e incentivos financeiros devem ser realizados baseados nas melhores práticas mundiais, desde o projeto, construção, manutenção até a fase de demolição.

2.5.1 Desconstrução ou Demolição Seletiva

A desconstrução segundo Kibert; Chini e Languell (2000); Rios; Chong e Grau (2015), é um termo novo que descreve um processo bastante

conhecido, com várias denominações: o desmantelamento seletivo, a demolição seletiva, a construção reversa, a desmontagem de estruturas ou mesmo a literal retirada de materiais das construções existentes baseada em técnicas de engenharia para o reaproveitamento integral ou parcial dos materiais de construção.

A desconstrução para Kibert (2013), corresponde a uma alternativa à demolição tradicional e caracteriza-se como uma melhor opção ambiental, com vistas à minimização dos resíduos a serem destinados aos aterros sanitários e como fomento à criação de novos negócios, geração de emprego e renda derivados das atividades de desmantelamento de edifícios, transporte de componentes e materiais recuperados, reforma de elementos arquitetônicos e revenda de materiais usados.

De acordo com Rios; Chong e Grau (2015), a desconstrução requer alterações no planejamento, métodos e processos de retirada de resíduos na forma de materiais ou elementos que mantenham sua integridade a fim de serem reinseridos em novas construções.

Segundo Kibert; Chini e Languell (2000), os edifícios existentes não foram construídos com o planejamento para se facilitar a retirada de materiais, ainda acrescentam que a desconstrução, ao contrário da demolição, requer o uso intensivo de mão de obra e normalmente demandam baixa tecnologia.

Em contrapartida a Kibert; Chini e Languell (2000), de acordo com Qu (2010); Rios; Chong e Grau (2015), a reversão da ordem da construção, pavimento por pavimento, elemento por elemento, pode requerer o uso de equipamentos mecânicos e de içamento com agregada tecnologia e que requerem apurado conhecimento e experiência na operação.

Conforme Kibert; Chini e Languell (2000) existem vários fatores que condicionam o sucesso de um programa de desconstrução, como por exemplo: trabalho, cronograma, custos, cobrança diferenciada de taxas para

destinação de RD em aterros sanitários, gestão de materiais perigosos, existência de mercado de produtos secundários e incentivos econômicos.

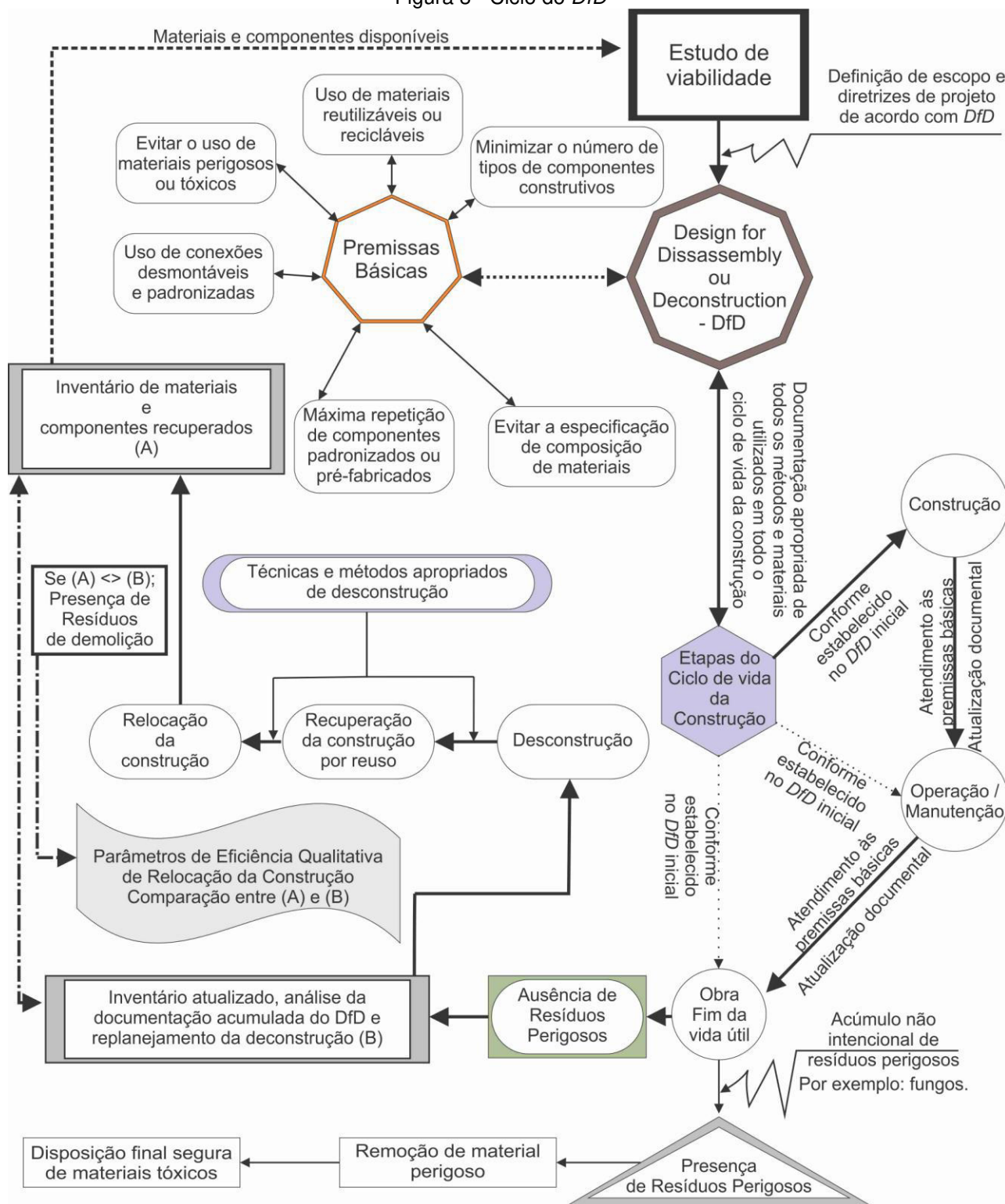
2.5.2 *Design for Disassembly* ou *Design for Deconstruction* - *DfD*

Os termos *design for deconstruction* ou *Design for disassembly (DfD)*, conforme Rios; Chong e Grau (2015), correspondem a uma prática de planejamento e projeto que visa tornar o processo de desconstrução eficiente e eficaz em termos de minimização de RD, por meio de princípios que incluem a documentação apropriada dos métodos e materiais para a desconstrução, a especificação de materiais e conexões que se apresentem de fácil desmontagem, a clara definição quanto ao reuso e reciclagem dos materiais e componentes, o uso de componentes padronizados e o projeto com vistas à boa engenharia e segurança.

O projeto *DfD* deve estabelecer facilidades à etapa de construção e desconstrução, ademais, deve ter maior preocupação para a etapa de operação, que geralmente, apresenta maior parcela de tempo de uso, requerendo manutenções preventivas e periódicas, nos quais devem estar previstas em projeto, tanto a forma de inspeção, manutenção, acesso aos espaços e componentes, materiais e métodos a serem utilizados, novos componentes aptos à substituição, restrições de uso, equipamentos de segurança, dentre outras informações.

O ciclo do *DfD*, apresentado na Figura 3, pressupõe que o escopo e as diretrizes de todo o ciclo de vida da obra estejam aprovadas pelos *stakeholders* e alinhados ao *DfD* a partir dos estudos de viabilidade técnica, econômico-financeira, social e ambiental, seguindo algumas premissas básicas, como por exemplo: o uso de materiais reutilizáveis ou recicláveis, a minimização do número de tipos de componentes construtivos e a maximização do uso de conexões desmontáveis e padronizadas e a restrição de uso de materiais tóxicos ou perigosos.

Figura 3 - Ciclo do DfD



Fonte: Autoria própria

Após o projeto *DfD*, as etapas do ciclo de vida da construção se sucedem: construção, operação e manutenção até o fim da vida útil da obra, sendo que em todo o desenvolvimento deste ciclo deve ser prática corrente a geração apropriada de documentação dos métodos e materiais utilizados, conforme o estabelecido no *DfD* e segundo as suas premissas básicas.

2.6 Métodos de quantificação de RCD

De acordo com Cheng e Ma (2012), atualmente faltam ferramentas para se quantificar, precisa e convenientemente, os volumes de RCD. Em consonância a Yuan e Shen (2011), esta situação é ainda mais agravada quando se trata de RD.

Dados confiáveis acerca da quantificação de RCD, por material ou associações de materiais, é crucial para o seu adequado gerenciamento em nível de projeto ou regional, gerado pelos trabalhos de construção ou demolição, devido às propriedades intrínsecas do material, requisitos de manuseio e valor residual para fins de reciclagem e reuso.

De acordo com Nagalli (2016), por meio desta quantificação torna-se possível prever a logística de gestão dos RCD, por exemplo, o tamanho dos recipientes, a frequência de coleta, a equipe envolvida, o local de triagem e transbordo, o orçamento e planejamento da demolição, entre outros, que pode ser definida anteriormente à própria obra de construção, reforma ou demolição, em forma de projeto detalhado em nível de executivo.

Importante quantificar adequadamente os RCD a fim de se estabelecer os custos advindos das operações, salvaguarda de materiais ou mesmo de controle dos resíduos, em massa (Kg) ou volume (m³), o segundo mais praticado no Brasil, pois, o primeiro demanda o uso de balanças, nem sempre disponíveis ou aferidas.

De acordo com Yuan (2011), desde a década de oitenta já se buscavam encontrar medidas eficazes para minimizar a geração de RCD, com o objetivo de atenuar os seus impactos negativos para a sociedade.

Vários artigos científicos foram produzidos baseados em investigações sobre uma gama de temas relacionados à gestão de RCD, sendo apresentado por Lu e Yuan (2011), um estudo bibliométrico identificando 115 artigos científicos, do período compreendido entre os anos de 1984 a 2008, Tabela 3, que tratavam sobre o tema de Gestão de Resíduos de Construção e Demolição.

Tabela 3 - Número de artigos em periódicos relacionados à Gestão de RCD

Numerador	Título do Periódico	Número de artigos
1	<i>Resources, Conservation and Recycling</i> - (RC&R)	24
2	<i>Waste Management</i> - (WM)	17
3	<i>Waste Management & Research</i> - (WM&R)	14
4	<i>Construction Management and Economics</i> - (CME)	11
5	<i>Building and Environment</i> - (B&E)	7
6	<i>Journal of Construction Engineering and Management ASCE</i> - (CEM)	7
7	<i>Automation in Construction</i> - (AIC)	4
8	<i>Engineering, Construction and Architectural Management</i> - (ECAM)	4
9	<i>Construction Innovation</i>	3
10	<i>Management of Environmental Quality: an International Journal</i>	3
11	<i>Journal of Industrial Ecology</i>	3
12	<i>Building Research & Information</i>	2
13	Outros	16
Total de artigos		115

Fonte: Adaptado de Lu e Yuan (2011)

Lu e Yuan (2011) verificaram que durante o período da pesquisa ocorreram várias alterações no cenário econômico mundial, que associados à ineficiência de alguns sistemas estatísticos locais, tornaram falhas as identificações de produções acadêmicas por região, com maiores efeitos sobre os países emergentes.

Por este estudo, conforme a Tabela 4, foi verificada uma destoante produção de artigos científicos que versavam sobre os RCD em Hong Kong em relação às demais, com expressivos 35 artigos, número próximo à somatória de todos os artigos publicados pelos países europeus que

totalizaram 37, seguido pelos demais expoentes: Estados Unidos com 13 artigos, Austrália com 10 e Reino Unido com 8.

Tabela 4 - Locais com produção acadêmica sobre RCD no período de 1.994 a 2008

Europa		Ásia		América do norte		Oceania		América do sul		África		Outros sem identificação do local de produção
Reino Unido	8	Hong Kong	35	Estados Unidos	13	Austrália	10	Brasil	1	África do Sul	1	2
Alemanha	4	Malásia	5									
Suécia	3	Taiwan	2									
França	3	Singapura	2									
Noruega	3	Sri Lanka	1									
Grécia	3	Japão	1									
Itália	3	Kuwait	1									
Holanda	2	Tailândia	1									
Bulgária	1	Korea	1									
Ciprus	1	Iraque	1									
Irlanda	1	Índia	1									
Turquia	1											
Dinamarca	1											
Finlândia	1											
Portugal	1											
Espanha	1											
Total de artigos por continente	37		51		13		10		1		1	2

Fonte: Adaptado de Lu e Yuan (2011)

Existem representatividades dos estudos em todos os continentes, com exceção da Antártida, apesar dos continentes sul-americano e africano representarem apenas um artigo cada.

Yuan e Shen (2011), identificaram em outro estudo, 87 publicações sobre o tema de gestão de RCD, de um total de 7.732, ou seja, apenas 1,13% do total, entre o período de 2000 a 2009, em oito periódicos: *Resources*,

Conservation and Recycling, Waste Management , Waste Management & Research , Construction Management and Economics, Building and Environment, Journal of Construction Engineering and Management ASCE , Automation in Construction e Engineering, Construction and Architectural Management.

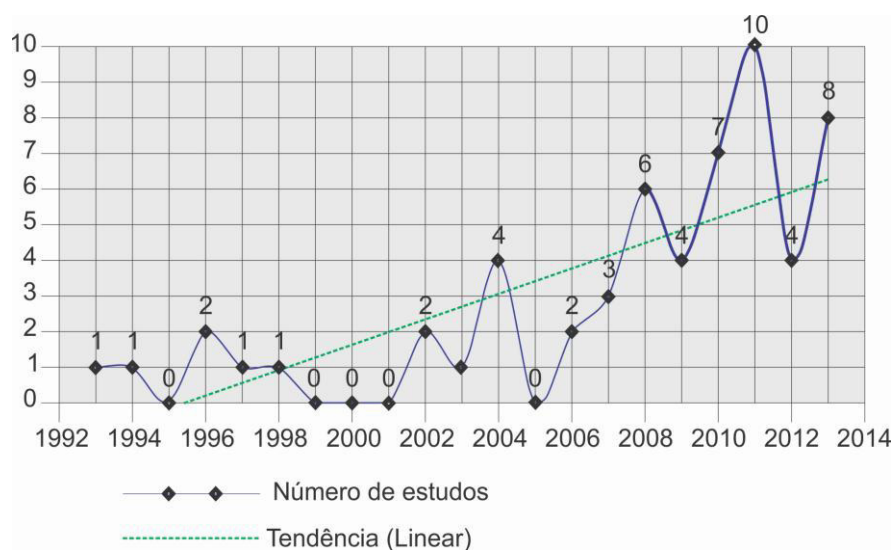
Os artigos analisados por Yuan e Shen (2011), direcionavam seus estudos sobre: Gestão de RCD (37,93%), Reciclagem de RCD (26.44%), Redução de RCD (14.94%), Geração de RCD (10.34%), Reuso de RCD (3,90%) e Fatores Humanos na gestão de RCD (3,45%).

O presente trabalho, de acordo com Yuan e Shen (2011) se enquadra no tópico Geração de RCD, que contém os seguintes sub-tópicos: causas, origem, e quantificação de RCD, bem como taxas de geração de RCD e fatores que afetam a geração de RCD.

Com foco específico na quantificação de RCD, Wu *et al.* (2014), sistematizam as metodologias e discutem comparativamente suas principais aplicações e restrições de uso, pela análise de 57 artigos compreendidos entre as datas de 01/01/1990 a 31/10/2013, nos periódicos: *Waste Management, Waste Management and Research, Resources, Conservation and Recycling, Construction Management & Economics e Journal of Construction Engineering and Management.*

Pela Figura 4, de acordo com Wu *et al.* (2014) verifica-se a crescente tendência de interesse de pesquisas na área de quantificação de RCD, com maior expressividade a partir do ano de 2008, que totalizaram 39 artigos em seis anos, ou seja, 68% das publicações se deram no último quarto do período da pesquisa.

Figura 4 - Tendência de pesquisas sobre a quantificação de RCD



Fonte: Adaptado de WU *et al.* (2014)

Pela Tabela 5, verifica-se que 21 estudos foram produzidos no território de Hong Kong, na China e na Malásia, superando a produção europeia representada por oito países, com 18 estudos. Mesmo assim, é importante destacar a notável e recente produção espanhola, com 6 artigos produzidos a partir de 2009.

Tabela 5 - Locais e continentes com produção acadêmica sobre quantificação de RCD no período de 1.990 a 2013

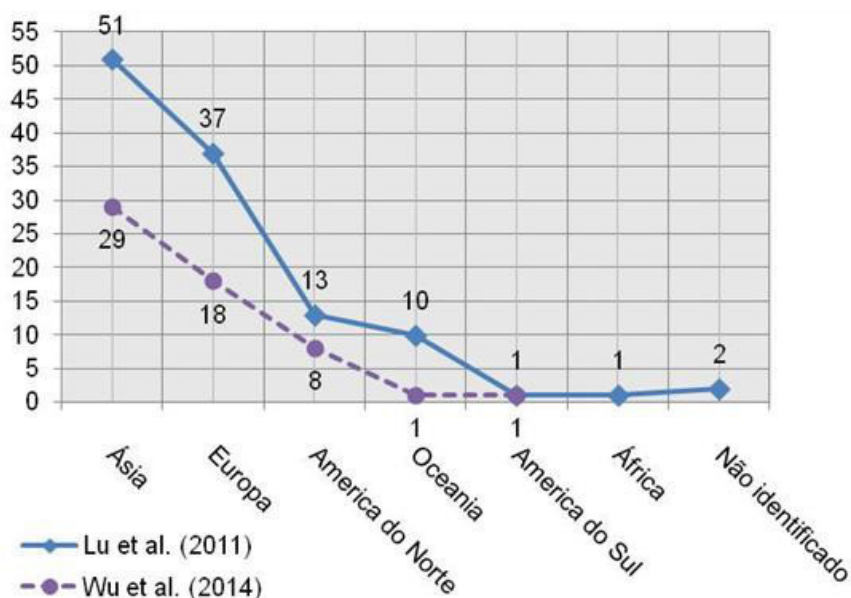
Ásia		Europa		America do Norte		Oceania		America do Sul	
Hong Kong	8	Espanha	6	Estados Unidos	5	Austrália	1	Brasil	1
China	7	Portugal	4	Canadá	3				
Malásia	6	Grécia	3						
Japão	2	Chipre	1						
Taiwan	1	Noruega	1						
Kuwait	1	Irlanda	1						
Tailândia	1	Alemanha	1						
Líbano	1	Holanda	1						
Israel	1								
Palestina	1								
Total de artigos por continente	29		18		8		1		1

Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

Nesta abordagem, exposta por Wu *et al.* (2014), no Brasil, somente Formoso *et al.* (2002) apresentaram estudos sobre a quantificação de resíduos, porém, exclusivos a novas construções.

No mesmo cenário, apresentado pelos estudos de Lu e Yuan (2011), os estudos de Wu *et al.* (2014), mostram que o continente asiático se posiciona bastante presente tanto em estudos gerais sobre RCD quanto estudos específicos relacionados a quantificação destes resíduos, conforme Figura 5, novamente seguido pelo continente europeu.

Figura 5 - Comparação de estudos sobre quantificação de RCD por continente



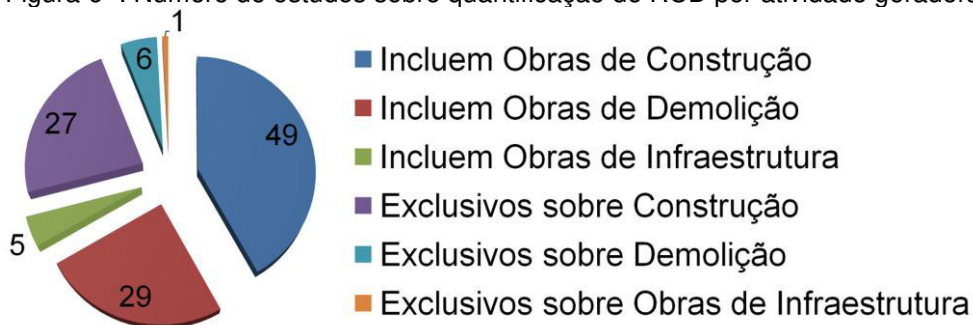
Fonte: Adaptado de Lu *et al.* (2011) e Wu *et al.* (2014)

O estudo de Wu *et al.* (2014) analisa a quantificação de RCD conforme o tipo de atividade geradora: construção de novas edificações, demolição de edificações ou obras de infraestrutura.

A Figura 6 mostra que a maioria dos estudos incluem as atividades de quantificação de resíduos derivados de obras de construção, 49 estudos, seguidas pelos estudos referentes às demolições de obras civis, tratadas em 29 estudos. Cinco artigos incluem a discussão sobre a quantificação de RCD

de obras de infraestrutura, sendo que apenas um estudo a discute exclusivamente.

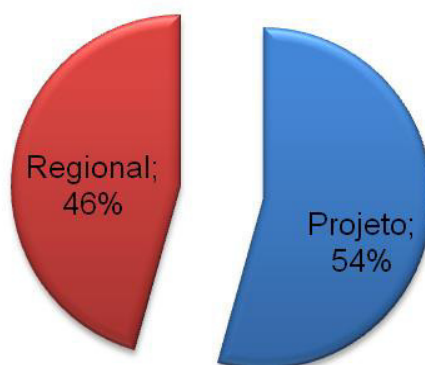
Figura 6 -. Número de estudos sobre quantificação de RCD por atividade geradora



Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

Outra análise exposta por Wu *et al.* (2014) destaca o nível de influência da quantificação, ou seja, ao nível de projetos ou com alcance regional, distribuídos conforme Figura 7, de maneira praticamente equilibrada.

Figura 7 - Nível de influência dos estudos



Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

A última análise exposta por Wu *et al.* (2014) destaca os métodos de quantificação, quais sejam: método de cálculo da taxa de geração (MCTG), método de visita (MV), método de análise de vida (MAV), método sistemático de classificação acumulativa (MSCA), método de modelagem dinâmica

(MMD) e outros métodos, sem denominação específica, cujas características básicas seguem abaixo:

- Método de cálculo da taxa de geração (MCTG): Método amplamente estudado é utilizado para estimar os montantes de RCD em atividades de construção, renovação e demolição tanto a nível regional como de projeto. Seu princípio é a obtenção da taxa de geração de RCD em uma unidade comum, por exemplo, massa/área (kg/m^2) ou volume/área (m^3/m^2). Podendo ser associados outros parâmetros, como por exemplo: a taxa per capita de geração de RCD, extrapolação de valores financeiros e cálculo baseado em área. Os resultados permitem entre outros a predição de custos, logística de destinação final ou mesmo estimativa de vida útil de aterros sanitários.
- Método de visita (MV): Requer a análise *in loco* da obra para uma quantificação mais confiável e aderente. A coleta de dados pode ser direta, através da mensuração de direta de massa ou volume ou indireta, pela contabilização de cargas de materiais multiplicadas pela capacidade volumétrica de cada recipiente.
- Método de análise de vida (MAV): A análise de vida útil é utilizada preferencialmente na quantificação de RD, sendo o balanço de massa material o seu princípio básico, ou seja, admite-se a premissa de que edifícios construídos, ao fim de sua vida útil, serão demolidos, consequentemente com geração de RD, cuja massa da estrutura construída deve ser igual à massa dos RD. Este método pode ser conduzido tanto em níveis de análises de vida útil de material específico, de uma série de edifícios ou mesmo de fluxo de materiais.
- Método sistemático de classificação acumulativa (MSCA): Este método tem base fundamentada no MCTG e incorpora um sistema de classificação que permite quantificar diferentes materiais especificados a partir de sistemas referenciais de composições e insumos para orçamento, por exemplo, o SINAPI ou específicos aos

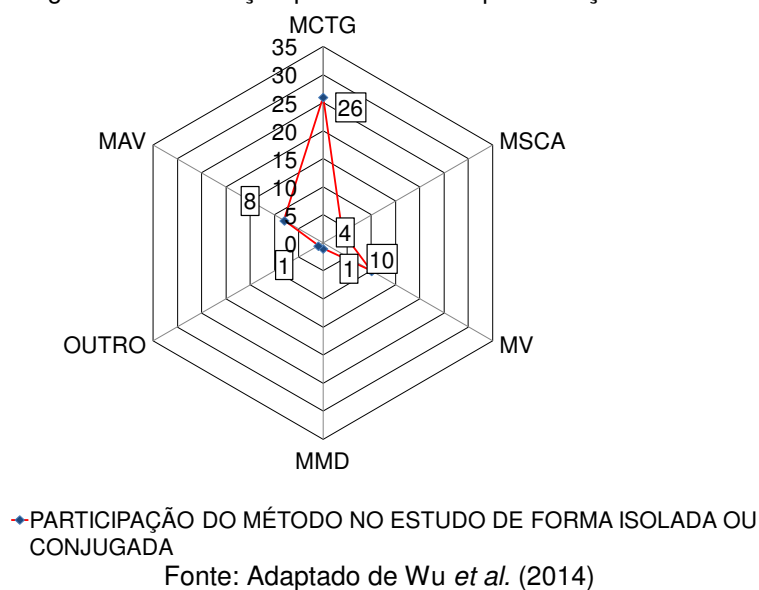
resíduos como a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012). Atenta-se que as quantidades dos itens são determinadas pelo seu acúmulo e geralmente são utilizadas planilhas eletrônicas e banco de dados devido à magnitude de itens e informações.

- Método de modelagem dinâmica (MMD): Este modelo dinâmico correlaciona fatores específicos que afetam ou são afetados pela geração de RCD, como por exemplo, indicadores econômicos, condições do sítio da obra, materiais, mão de obra, política empresarial, fatores climáticos; dentre vários outros, com o objetivo de estabelecer modelos a partir de um *software* que permita a simulação de diferentes cenários de quantificação e gerenciamento de RCD, permitindo que as melhores estratégias sejam identificadas para planejamento de longo alcance.

- Outros métodos: Apesar dos métodos mais reconhecidos já explicitados, outros, em uma gama de variedades podem ser considerados de acordo com a solução pretendida em relação à viabilidade, escopo, esforço, prazo e custo, como por exemplo, a simples especificação de uma porcentagem fixa de geração de RCD em relação aos materiais comprados, por taxas de desperdício de materiais.

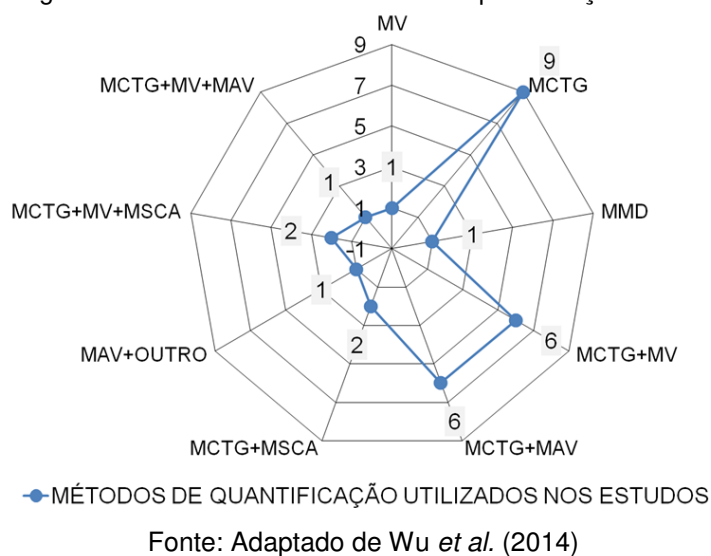
O método de cálculo da taxa de geração (MCTG) apresenta maior recorrência nos estudos de Wu *et al.* (2014) isoladamente e de maneira conjugada a outros métodos, aplicados em 26 estudos, seguido pelo método da visita, que totalizaram 10 estudos, conforme Figura 8.

Figura 8 - Distribuição por método de quantificação de RCD



Conforme Wu *et al.* (2014), a Figura 9 resume as utilizações individuais e conjugadas dos métodos de quantificação de RCD que tratam de RD, totalizando 29 estudos. O método de cálculo da taxa de geração (MCTG) foi utilizado na maioria dos estudos, tanto individualmente, em 9 estudos quanto associados a outros métodos, como o método da visita (MV) ou ao método de análise de vida (MAV), ambos com 6 utilizações cada.

Figura 9 – Estudos sobre métodos de quantificação de RD



Do total de 29 artigos que tratam de quantificação de resíduos de demolição, somente 6 se referem unicamente a esta atividade, sendo apresentado na Tabela 6, os autores, local de publicação do estudo e os métodos de quantificação abordados.

Tabela 6 - Estudos que abordam exclusivamente a quantificação de RD

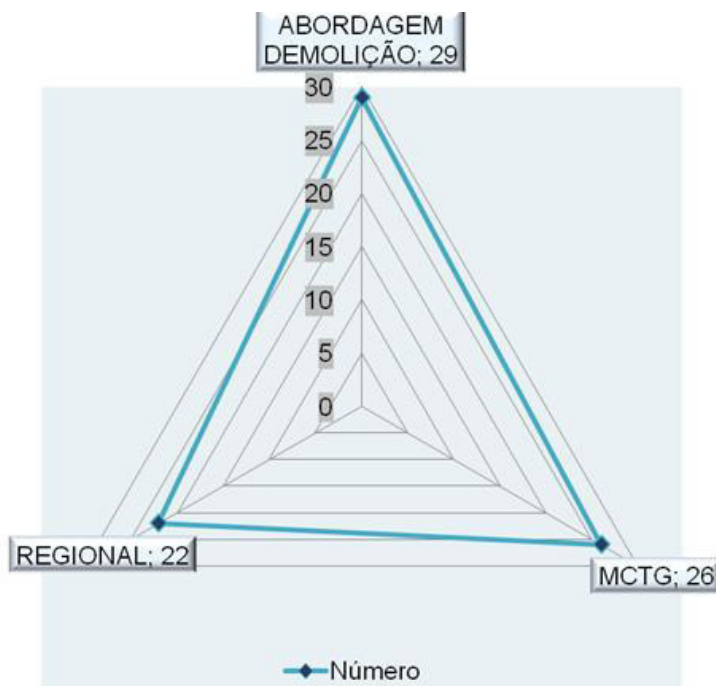
Autor (Ano)	Local de publicação	Métodos de quantificação	Abrangência do estudo
Poon (1997)	Hong Kong	MCTG + MAV	Regional
Poon <i>et al.</i> (2004)	Hong Kong	MV	Projeto
Cheng e Ma (2013)	Hong Kong	MCTG + MSCA	Projeto
Kourmpanis <i>et al.</i> (2008)	Chipre	MCTG	Regional
Höglmeier; Weber-Blaschke e Richter (2015)	Alemanha	MCTG	Regional

Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

Os métodos de quantificação dos estudos desenvolvidos por Cheng e Ma (2013), de acordo com Wu *et al.* (2014) correspondem a conjugação do MCTG e MSCA, entretanto, pode-se acrescentar o método a partir do uso do BIM, com auxílio do *software* Autodesk Revit, que permite entre outras vantagens, a predição de cargas de RD necessárias, que corresponderia ao MV de dados indiretos.

Segundo Wu *et al.* (2014) o MCTG é o método mais utilizado em estudos sobre quantificação de RD, conforme a Figura 10, preponderantemente ao nível regional, devido à facilidade da elaboração da estimativa, uma vez que este método consiste em estabelecer relações entre dados diversos, por exemplo: m^3/m^2 , kg/m^2 , kg/m^3 .

Figura 10 – Abordagens sobre demolição, abrangência regional e MCTG



Fonte: Adaptado de Wu *et al.* (2014)

De acordo com Yuan e Shen (2011), em vários estudos verificam-se o uso de modelagens e técnicas de simulação computacionais com eficácia na gestão de RCD.

A quantificação assistida por computador é inicialmente proposta por Wang *et al.* (2004) em nível regional por meio de sistemas de gestão de resíduos com auxílio de planilhas eletrônicas a fim de controlar o seu fluxo desde a fonte de geração e estudar os possíveis cenários econômicos. Seguidos por Baniyas *et al.* (2011) e Li e Zhang (2013) que sugeriram sistemas de quantificação de RCD baseada na web.

No mesmo sentido de aumentar a precisão e eficiência por meio de novas tecnologias, Cheng e Ma (2013) introduzem o conceito BIM na quantificação de RD, em específico ao nível de projeto.

Esta modelagem computadorizada, segundo Cheng e Ma (2013), extrapola a visualização do objeto nas três dimensões, eixos X, Y e Z, permitindo simulações diversas e a extração de informações intrinsecamente

associadas aos objetos componentes, como o volume, e suas possíveis inter-relações entre a geometria e parâmetros não geométricos como o tipo de material, as características, as propriedades físicas, o desempenho, a superfície, os custos de materiais, entre outros, permitindo inclusive a inserção de novos parâmetros ou formas associativas.

2.6.1 Vantagens e Desvantagens dos principais Métodos de quantificação de RCD

Wu *et al.* (2014) apontam as viabilidades e limitações de uso de cada um dos métodos, que resumidamente abordam características quanto à abrangência do estudo e a aplicação prática do métodos em função do trabalho, tempo e insumos necessários.

Conforme Wu *et al.* (2014), o MCTG visa estabelecer indicadores per capita de geração de RCD, metodologia ainda aplicada pela ABRELPE (2015), apesar desta associação apresentar dados referenciais sobre os RCD coletados pelo executivo municipal, não contabilizando aqueles depositados irregularmente em áreas de particulares, tampouco dos RCD destinados a usinas e a aterros de inertes por particulares.

Masudi *et al.* (2012) expõem que mesmo em nível local existem barreiras significativas em função do tempo e do custo despendidos na obtenção de dados, além das superficiais informações relacionadas a deposições irregulares de RCD e devido a recusa de amostragem de alguns aterros de inertes particulares.

Podem ser vislumbrados entraves na utilização do MCTG:

- abordagens diferentes na utilização dos dados gerando resultados diversos;

- discutível confiabilidade dos resultados devido ao tamanho das amostras e dados utilizados;
- existência de diferentes sistemas construtivos ou métodos de demolição;
- utilização de diferentes densidades para os mesmos materiais ou composições;
- falta de atualização de informações, por exemplo, uso de dados de massa/per capita/ano ou m^3/m^2 , com grande defasagem de tempo;
- divergência de dados governamentais de geração de RCD;
- disposição irregular de RCD;
- ausência ou baixa tradição dos países em obter dados e estabelecer séries históricas.

O método da visita proposto por Lau; White e Law (2008) corresponde ao cálculo volumétrico baseado em sua forma tridimensional a partir da reserva temporária destes resíduos ou pela extrapolação das médias de massa de materiais com tamanhos similares.

Conforme Wu *et al.* (2014) o método de visita pode ser utilizado para todo tipo de resíduo produzido em qualquer atividade geradora, apesar de requererem a presença física do profissional na quantificação dos resíduos e está limitada a abrangência ao nível de projeto, pois, em caráter mais amplo, torna-se inviável por exigir o dispêndio exacerbado de tempo, trabalho e dinheiro. Em nível de projeto pode ser promovida de maneira direta ou indireta, sendo recomendável obter pareceres de profissionais no local a fim de ajustar a taxa de produção calculada.

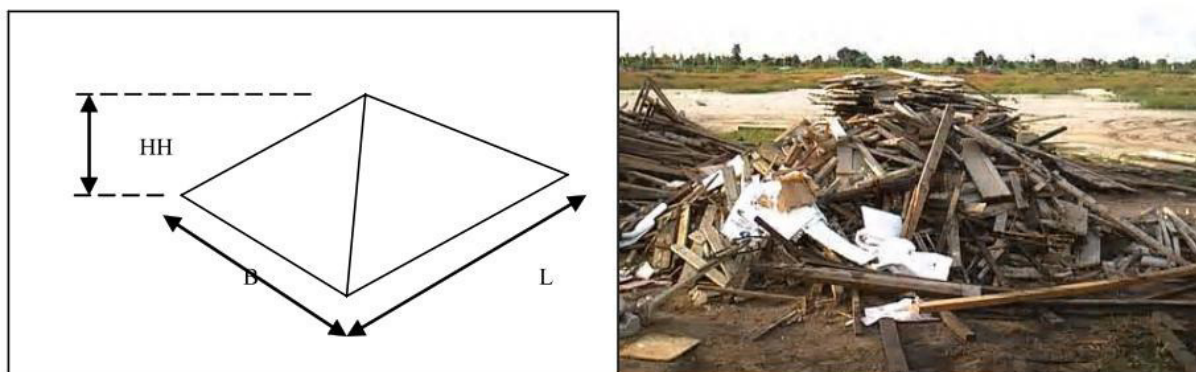
O método de visita direto, em consonância a Lau; White e Law (2008), são apresentadas premissas de cálculo dos volumes baseados nas diferentes disposições dos resíduos: armazenadas, coletadas, dispersas ou empilhadas.

Lau; White e Law (2008) assumem que os resíduos armazenados apresentam uma forma de uma pirâmide de base retangular, conforme a Figura 11, permitindo o seu cálculo pela seguinte relação (Eq. 1):

$$Va = \frac{1}{3} * (L * B * HH) \quad (1)$$

Onde, Va corresponde ao volume de resíduo armazenado, L é o comprimento da base da pirâmide; B é a largura da base e HH representando a altura.

Figura 11 - Proposição de cálculo volumétrico de RCD armazenado



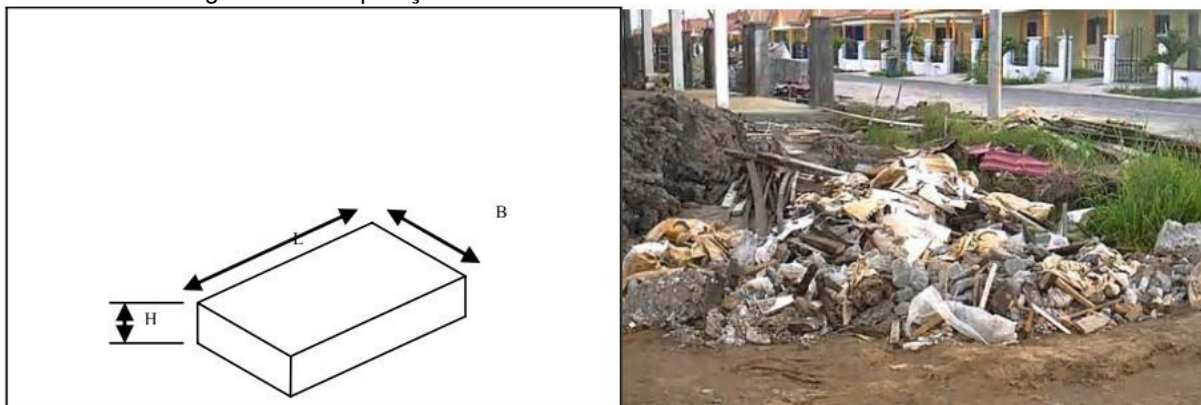
Fonte: Lau; White e Law (2008)

Para os resíduos coletados, Lau; White e Law (2008), assumem a forma cuboide para o cálculo do volume destes resíduos, de acordo com a Figura 12, cujo volume é obtido seguinte relação (Eq. 2):

$$Vc = L * B * H \quad (2)$$

Onde, Vc corresponde ao volume de resíduo armazenado; L é o comprimento do cuboide; B sendo a largura da base e H representando a altura.

Figura 12 - Proposição de cálculo volumétrico de RCD coletado



Fonte: Lau; White e Law (2008)

Lau; White e Law (2008) consideram que os resíduos dispersos podem ser divididos em duas categorias de acordo com o grau de homogeneidade dos tamanhos dos resíduos, sendo a primeira a partir de materiais de tamanho semelhante, como tijolos quebrados e telhas. A segunda, a partir de resíduos com grande variação no tamanho, como sobras de telhas metálicas, embalagens de plástico e outros. Para tanto, devem ser escolhidas aleatoriamente três amostras que devem posteriormente ser pesadas e adotadas o valor médio como padrão multiplicado pela quantidade de montes.

O cálculo de volume dos resíduos empilhados, segundo Lau; White e Law (2008), é similar ao adotado aos resíduos dispersos, sendo que a diferença aparentemente corresponde à intencionalidade de reserva destes materiais, ao contrário dos montes dispersos.

Resumidamente, Lau; White e Law (2008) definem os RCD de acordo com a forma (armazenamento e coleta) e o grau de homogeneidade de propriedades dos materiais em relação a forma e densidade (Dispersão e Empilhamento) dos RCD.

Pode ser constatada uma facilidade operacional no cálculo dos volumes para os RCD armazenados e coletados, embora, se vislumbram algumas desvantagens conceituais, assim pontuadas:

- considerando-se a restrição de área, o bom planejamento do sítio de obra, segurança, limpeza, dentre outros motivos, é requerido que os RCD sejam reservados em recipientes como, por exemplo, baias, bombonas, tambores, caçambas, o que dispensaria este cálculo, considerando-se o método indireto em detrimento do direto;
- a armazenagem ou coleta requer espaço físico disponível e apresenta um limite natural de altura se não houver acréscimo de dimensões na base da pirâmide ou do cuboide, a partir do qual os materiais começariam a cair;
- muitas obras apresentam limitação física para armazenamento ou coleta de RCD;
- viabilidade apenas para pequenos volumes, não sendo recomendada para atividades de demolição completa de edificações, que demandaria a quantificação dos materiais anterior à própria demolição;
- apresenta apenas caráter de auditoria e não de planejamento;
- este método preferencialmente se aplica em obras de construção e de demolição seletiva, por apresentarem menores volumes em relação a obras de demolição completa, cuja quantificação, neste caso, se daria pelo método de visita indireto (MVI);
- a definição das principais dimensões da pirâmide e do cuboide são variáveis de profissional para profissional, coexistindo consideráveis variações de resultados;
- as medições são muitas vezes imprecisas devido às incertezas nas definições dos vértices de amarração;
- atualmente considerando a evolução nas formas de medição e tecnologias digitais já está disponível aplicativo para dispositivos móveis que realizam a captura e reconstrução de imagens e o

processamento de cálculos baseado na nuvem, cujos resultados predizem os volumes de materiais estocados, como por exemplo, *Stockpile Reports*, disponível para o sistema operacional *iOS*.

Em relação ao cálculo dos RCD dispersos e empilhados também se vislumbram algumas desvantagens adicionais ao armazenamento e coleta, quais sejam:

- necessidade de pesagem de materiais para realização dos cálculos, o que demandaria de balanças, pouco disponíveis em obras de construção, muito menos aferidas;
- em alguns países, no Brasil, por exemplo, a cobrança por recebimento de RCD em usinas ou aterros de inertes é geralmente por medida de volume e não por massa.

Segundo Wu *et al.* (2014), as mensurações indiretas apresentam-se mais práticas, podendo ser realizadas pela contagem do número de caçambas ou cargas de caminhões utilizados na coleta dos resíduos conjuntamente com a informação quanto à capacidade volumétrica individual.

O método de visita indireto em nível regional foi realizado por Kartam *et al.* (2004) por meio de registros de descarga de caminhão em aterros de inertes. Se for considerada a existência de balanças para caminhões nas usinas de processamento de RCD e aterros de inertes é possível estabelecer um banco de dados a fim de gerar estatísticas baseadas no MCTG, como por exemplo, multiplicadores per capita, volume/área, massa/área e massa/volume.

O Método de análise de vida (MAV), segundo Wu *et al.* (2014), foi desenvolvido baseado no MCTG visando à estimativa de RR e RD no fim do tempo de serviço esperado para materiais ou para o edifício.

A expectativa de tempo de serviço dos materiais é abordada por Cochran e Townsend (2010), a partir de dados históricos do consumo norte-americano dos principais materiais de construção: concreto, madeira, metal, *drywall* e outros produtos de gesso, tijolos e outros produtos de argila, concreto de asfalto e materiais para telhados de asfalto – *shingles*, tanto para uso em edifícios quanto para rodovias, obras de arte especiais e outras estruturas.

De posse das informações de tempo de serviço dos materiais – vida útil ou intervalar –, conforme Tabela 7, Cochran e Townsend (2010) abordaram a geração de RCD dos Estados Unidos através da *Materials Flow Analysis* (MFA), ou análise do fluxo de materiais ou balanço de materiais, que consiste no exame da quantidade de materiais e no início de sua utilização associada à estimativa de tempo de serviço.

Tabela 7 – Vida útil padrão e intervalos de tempo de serviço de materiais de construção em diferentes atividades

Material	Aplicação	Tempo de serviço (anos)	
		Intervalo	Vida útil padrão
Concreto de cimento <i>Portland</i>	Edifícios	50-100	75
	Rodovias/ Pontes	23-40	25
	Outras estruturas	20-50	30
Concreto asfáltico	Rodovias	12-33	20
Cimento de alvenaria	Edifícios	50-100	75
Tijolos	Edifícios	50-100	75
Ferro e aço	Edifícios	50-100	75
Madeira serrada ou compensada	Edifícios	50-100	75
Painéis de madeira	Edifícios	20-30	25
Produtos de gesso	Edifícios	25-75	50
Piso cerâmico e alvenaria	Edifícios	15-25	20
Telhas de asfalto - <i>shingles</i>	Edifícios	20-30	25

Fonte: Cochran e Townsend (2010)

De acordo com Cochran e Townsend (2010), apesar do MFA ter sido utilizado nos Estados Unidos desde a década de sessenta para caracterizar a

geração de resíduos sólidos urbanos, o mesmo não tinha sido até então aplicada para os RCD.

Quanto ao MFA de obras, Cochran e Townsend (2010) a partir do estudo das pesquisas de diversos autores, colocam que cada obra apresenta um tempo de serviço específico derivado da solicitação de esforços, desgastes e deterioração em várias taxas dependendo de seu uso, sendo este tempo de serviço estabelecido no intervalo de 50-100 anos, com vida útil padrão de 75 anos, enquanto estradas apresentam para tempo de serviço intervalar de 23 a 40 anos e vida útil de 25 anos.

Para Cochran e Townsend (2010), a origem dos materiais é irrelevante para seu método, pois, os materiais nacionais ou importados compõem o total (M), além disso, é tido como premissa que todos os materiais são utilizados nos projetos de construção ou renovação, portanto, as demolições não computam o total (M).

Conforme Cochran e Townsend (2010), considerando que nem todos os materiais adquiridos são efetivamente utilizados nas estruturas, aqueles descartados computam a porção ($W_c, \%$) dos materiais, conforme mostrado na relação (Eq. 3):

$$C_w = M * W_c \quad (3)$$

Onde, C_w corresponde à quantidade de resíduo produzido nas atividades de construção; M corresponde a todos os materiais comercializados no país, W_c representa a proporção média descartada durante a construção, que pode ser encontrada a partir de guias de construção.

De acordo com Cochran e Townsend (2010), a quantidade de materiais resultantes como resíduos de demolição (D_w) teoricamente deveria ser equivalente à quantidade de material ainda na estrutura após a instalação,

menos a quantidade descartada durante a instalação, como mostrado na relação (Eq. 4):

$$Dw = M - Cw \quad (4)$$

Por exemplo, supondo que o tempo de serviço do material específico seja de 30 anos, e originalmente foi produzida em 1987, a quantidade demolida em 2017 poderia ser calculada usando a relação (Eq. 5):

$$Dw (2017) = M(1987) - Cw(1987) \quad (5)$$

A análise de tempo de serviço para edifícios foi introduzida por Poon (1997) que descreve um método para a estimativa da quantidade de geração de resíduos de demolição em Hong Kong a partir de dados fornecidos pelo órgão governamental local de ordenamento do solo, *Building Ordinance Office (BOO)*, considerando dois métodos de quantificação associados: MAV e MCTG.

O estudo de Poon (1997) aplica o MAV a partir de licenças de demolição expedidas pelo *BOO* entre os anos de 1985 a 1994, em Hong Kong, no total de 3242 licenças, sendo que efetivamente foram afetados 7290 edifícios, portanto, algumas licenças abarcavam mais de um edifício. Os edifícios foram classificados por períodos: anterior a 2ª grande guerra, entre os anos de 1946 a 1955, entre os anos de 1956 a 1960 e entre os anos de 1961 a 1965, sendo que os edifícios construídos após 1965 foram descartados, pois, foi assumido que não seriam demolidos.

Neste estudo de Poon (1997), o MCTG partiu do *Gross Floor Area – GFA*, ou Área de Piso Total, multiplicado pelo número de pavimentos, associados a dados fornecidos pelo órgão governamental, sendo propostos 19 cenários definindo porcentagens variadas de demolição de cada grupo no qual foram assumidos as áreas de piso bruto totais projetadas para um

período de dez anos e premissas como a relação volume de material demolido por área de piso, de $0,7\text{m}^3/\text{m}^2$ e a densidade do RD, de $1700\text{kg}/\text{m}^3$.

Wu *et al.* (2014) descreve como uma das características positivas do MAV é a possibilidade de uso em regiões onde não existe dados da área de demolição.

O Método sistemático de classificação acumulativa (MSCA) atua como um sistema classificatório e acumulativo com expressiva utilização (COELHO, A.; DE BRITO, 2011; LLATAS, C, 2011; SOLÍS-GUZMÁN et al., 2009), que possibilita a associação com listas, tabelas e planilhas oficiais.

A partir da quantificação dos itens, consequentemente o somatório da quantidade de resíduos é facilmente obtida, e os resultados derivados dessa metodologia podem oferecer informações mais efetivas para a determinação de estratégias de gerenciamento de resíduos, pois cada tipo de material de resíduos possui características químicas e propriedades diferentes que requerem requisitos de armazenamento e manejo diferentes.

As restrições de uso do MSCA derivam do escopo dos serviços de demolição, ou seja, se a opção for pela demolição convencional em detrimento da desconstrução, o rigor do trabalho e o tempo e recursos despendidos seriam perdidos.

Outra restrição corresponde à própria inviabilidade pela desconstrução por questão não afeta à escolha do empreendedor, como por exemplo, condições físicas adversas apresentando riscos de acidentes.

O MSCA necessita ser adequado a cada local devido às diferenças de sistemas construtivos e tipos de obras, apresenta importante avanço em nível de projeto e independe de fornecimento de dados por entes governamentais, sendo que a tabulação de resultados permite a expansão a nível regional, porém, demandaria de maior prazo para a finalização da pesquisa.

O método de modelagem dinâmica (MMD) é uma metodologia que pode simular as inter-relações entre variáveis potenciais que apresentam significância com a geração de RCD. Este método apresenta perspectivas de

ilimitadas utilizações em obras de construção, reforma e demolição, em contrapartida, também pode gerar resultados nem sempre condizentes com a realidade.

De acordo com Wu *et al.* (2014) este método foi desenvolvido para prever extensivamente a produção de resíduos sólidos municipais, entretanto, os RCD apresenta dados menos substanciais, impondo ao método um patamar conceitual, por não fornecer cenários futuros confiáveis no estágio atual.

Wimalasena; Ruwanpura e Hettiaratchi (2010) estabelecem variáveis qualitativas baseadas na interferência do fator humano (competência e satisfação) e ambiental do local de trabalho (nível de conforto de trabalho e disposição favorável do local de trabalho) associadas a variáveis quantitativas com o intuito de prever a influência destas variáveis na geração de RCD, sem apresentar um resultado propriamente dito.

2.7 Modelo de informações de construção – BIM

Segundo Baia (2016), no início da década de 80, ocorre à inserção e popularização da tecnologia do Desenho Assistido por Computador – *Computer Aided Design*, sigla CAD, cuja importância se consolida e torna constante a evolução das tecnologias computacionais que vem alterando substancialmente a forma de representação gráfica em várias áreas de atuação, mais especificadamente no campo de construção e arquitetura.

De acordo com Eastman *et al.* (2011) a tecnologia de Modelagem da Informação da Construção, conhecida mundialmente como BIM (*Building Information Modeling*), ultrapassa a simples representação do modelo em 3D na linguagem CAD, cuja modelagem permite associar informações paramétricas - atributos de dados e regras específicas de cada objeto ou elemento construtivo, e permitir o estabelecimento de interações elementares de parâmetros geométricos como orientação, espessura, comprimento, altura

e conseqüentemente o volume, com demais parâmetros não dimensionais como o tipo de material, as características de acabamento, as propriedades físicas, o desempenho, os custos de materiais, entre outros, permitindo inclusive a inserção de novos parâmetros ou formas associativas.

Para Azhar; Khalfan e Maqsood (2015) o BIM se comporta tanto como tecnologia e como processo simultaneamente, nos quais a tecnologia auxilia os *stakeholders* na resolução de questões projetuais, construtivas e operacionais, enquanto o processo aproxima a colaboração e fomenta a integração das funções de cada *stakeholders*.

Gökgur (2015) afirma que BIM vai além da sua capacidade de gerar a documentação dos projetos e a troca de informações, pois, os modelos estruturados em BIM permitem a revisão dos dados a fim de se evitar conflitos, a simulação, a predição de interferências, a extração de quantitativos, a coordenação de obras e o cronograma.

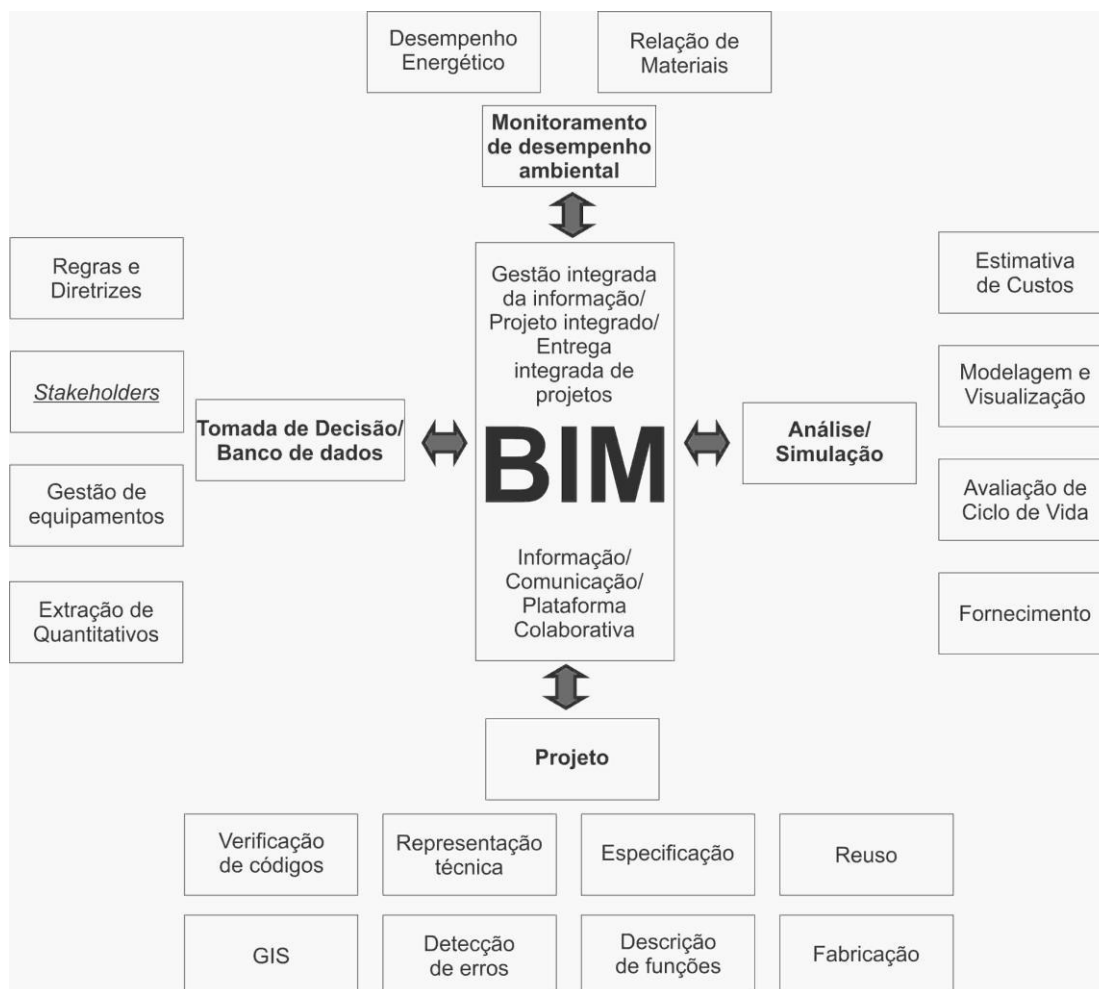
Sheth; Price e Glass (2010) adicionam a possibilidade de todos os *stakeholders* e clientes visualizarem o projeto em alta qualidade de imagens ou mesmo por um passeio virtual, para melhor entendimento e demonstração do projeto, além de encorajar os projetistas e construtores a reduzirem o consumo de energia e impactos ambientais dos edifícios ao meio ambiente em todo o ciclo de vida da construção, incluindo operação e manutenção, auxiliando na obtenção de certificações de desempenho dos edifícios como por exemplo, LEED e BREEAM.

O BIM, conforme Wang, Zhao e Ning (2017), permite melhorar efetivamente o nível de gestão da construção, combinando tecnologias de identificação por radiofrequência – *RFID*, tecnologia GIS, gerenciamento de projetos, gerenciamento de material e segurança, para todo o ciclo de vida da construção proporcionando novas oportunidades.

De acordo com Lieu *et al.* (2011), o BIM oferece a oportunidade de testar, revisar, rejeitar e aceitar ideias em tempo real, conforme a Figura 13,

bem como dos métodos de trabalho colaborativo e da gestão integrada da informação.

Figura 13 - BIM na gestão sustentável da construção



Fonte Lieu *et al.* (2011)

É comum na indústria de *software* na área de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) associar seus produtos o termo BIM, conforme Smith e Tardif (2009), impondo a uma incessante busca de atualizações e novas funcionalidades para distinguir seus produtos, introduzindo novas terminologias.

Smith (2014) classifica as atuais e aceitas subdivisões do BIM a partir de suas dimensões, sendo as mais conhecidas, o 3D (modelo de objeto) , o 4D (tempo) , o 5D (custo) , o 6D (sustentabilidade) , o 7D (operação) e até mesmo 8D (segurança), e assim por diante, à medida em que novos atributos da edificação como custos e sequência construtiva vão sendo incorporados aos *softwares*.

Aouad; Lee e Wu (2006) *apud* Bryde; Broquetas e Volm (2013) definem a capacidade multidimensional do BIM como modelagem 'nd', ou seja, possibilitando ao BIM a adição de infinitas dimensões no modelo de construção.

Neste sentido, as atividades de projeto que visam à minimização da geração de RCD poderiam se enquadrar na sétima dimensão, da sustentabilidade, por estratégia ambiental, bem como intermeando as dimensões referente ao custo, a operação e a própria segurança dos trabalhadores, por exemplo, em relação a já citada Norma reguladora NR 26.

De acordo com Nakamura (2013), a aplicação do BIM no Brasil teve sua implantação inicialmente na iniciativa privada, por exemplo, em empreendimentos derivados de empresas como a Gafisa, com seu projeto piloto, que implementou esta tecnologia em cinco empreendimentos, contando com a participação de 65 projetistas, e outras sucessivas iniciativas por empresas de renome nacional, como Tecnisa, JHSF, SINCO e Odebrecht, cada qual enfrentando dificuldades e buscando interesses próprios em cada processo de implementação do BIM.

Em relação ao setor público, Coelho, Lima e Melhado (2015), afirmam que já existe a adesão da Petrobras, CPTM, Metro e Infraero.

Segundo Kassem e Amorim (2015) países como Reino Unido, Holanda, Finlândia e Noruega, já tornaram obrigatório o uso do BIM em obras de construção civil, principalmente nos contratos com o Estado. Atenta-se que, apesar de alguns países como Reino Unido e França já terem estabelecidos suas estratégias e visão sobre o BIM, os arcabouços

normativos, as ações de otimização, a padronização dos resultados e a infraestrutura de tecnologia de cada um deles apresentam-se variáveis.

Neste ano foi instituído no Brasil o Comitê Estratégico de Implementação do BIM, atualmente de caráter temporário e com a finalidade de propor uma estratégia de disseminação do BIM no âmbito do governo federal brasileiro (BRASIL, 2017).

Inegáveis são as potencialidades de contribuição do BIM para a promoção da eficiência e obtenção de produtos com elevada qualidade técnica, mas, segundo Stehling (2012), faz-se necessário um planejamento adequado e bem documentado, a fim de que todos os envolvidos tenham ciência das oportunidades e responsabilidades inerentes a este processo, preocupando-se com o planejamento que estabeleça a definição das áreas que utilizarão esta tecnologia.

Segundo Succar (2009), cinco fases correspondem à habilidade de execução de tarefas ou fornecimento de serviços/produtos em BIM, desde a fase “Pré-BIM”, que representa a entidade antes da implementação do BIM, ou seja, um ponto inicial, até o ponto final, ortodoxamente, dinâmico e variável, “Pós-BIM”, sempre em evolução.

Succar (2009) expõe a importância da gradação constante na plataforma BIM, ao invés, da ocorrência repentina, até a sua completa adesão, acrescenta ainda três fases intermediárias, variáveis de acordo com a existência de ferramentas e conceitos, podendo ser resumidas como:

- BIM Fase 1: modelagem de objetos a partir *software*, como por exemplo: ArchiCAD, Revit, Tekla ou similares.
- BIM Fase 2: Ambiente colaborativo e multidisciplinar dentro da organização baseado no modelo, com interoperabilidade de sistemas
- BIM Fase 3: Integração com base em rede para compartilhar n-modelos baseados em objetos com pelo menos duas outras

disciplinas permitindo complexas análises nos estágios iniciais de projeto e construção (SUCCAR, 2009).

2.7.1 O BIM na gestão do ciclo de vida dos projetos

De acordo com Couto (2014) o ciclo de vida dos projetos é definido como um processo que engloba todos os estágios de uma construção real, desde a sua ideia inicial até a demolição de uma construção real. Existe uma infinidade de informações produzidas neste ciclo que se encontram dispersas e fragmentadas devido às diversas fontes e à natureza dos dados que devem ser compilados para permitir o seu uso nos estágios posteriores.

Lucas; Thabet e Bowman (2009) estabelece que para o BIM realmente suportar o ciclo de vida de um projeto e facilitar a comunicação ao longo das fases do projeto, devem ser atendidas duas premissas, sendo a primeira, a identificação e categorização das informações por meio de um sistema de classificação que seja mapeado em cada disciplina de projeto.

A outra premissa estabelecida por Lucas; Thabet e Bowman (2009) corresponde aos dados de projeto, podendo ser exemplos de projetos próprios do *software*, os *templates*, ou gerados ou inseridos pelo usuário, que deveriam ser definidos a um nível de detalhamento adequado ao projeto que permita um rastreamento e recuperação de informações flexíveis sem a necessidade de regeneração ou reformatação da informação.

2.7.2 O BIM na gestão dos resíduos de demolição

Em se tratando do BIM, concernente a Farina e Coelho (2015), o processo coloca uma nova dinâmica ao fluxo de informações e no processo de trabalho das equipes e do contratante, admitindo a melhoria na

comunicação entre os envolvidos, com promoção da qualidade dos serviços prestados e redução de prazo e custos.

Cheng; Won e Das (2015) investigaram o potencial de várias aplicações do BIM no intuito de reduzir erros de concepção de projeto, de minimizar a geração de resíduos, de minimizar as mudanças de projeto durante as obras, de melhorar a aquisição de insumos, de planejar o local da obra e de potencializar a gestão da obra e gerenciamento de RCD.

Cheng; Won e Das (2015) afirmam que a extração de quantitativos no BIM na fase de demolição permite visualizar o fluxo de saída dos RD prevendo-se o número de caminhões necessários para a remoção dos resíduos, além clarificar cenários de viabilidade quanto à promoção da desconstrução do edifício ao invés da demolição tradicional. Caso existam viabilidade e interesse pela desconstrução, o BIM pode estabelecer simulações e planejamentos (4D) da desconstrução, de modo a fixar as sucessões de etapas de demolição seletiva, a alocação de equipamentos, ferramentas e pessoal, os prazos, os parâmetros de segurança, dentre outros.

2.8 Conceitos BIM: Interoperabilidade, Sistemas de Classificação da Informação e Nível de desenvolvimento (ND) / LOD – *Level of detail* ou *Level of development*

Isikdag (2015) define o BIM como uma representação digital de um edifício composta por elementos de construção com informações intrínsecas e relacionadas à comunicação, além de também definir o processo de gestão da informação baseado no uso colaborativo da modelagem tridimensional em todos os estágios do ciclo de vida da construção. O BIM ainda apresenta outras características definidas abaixo:

1. objetos orientados: A maioria dos objetos BIM apresenta orientação espacial;

2. abertura das informações e ausência de proprietário: O BIM é desenvolvido para o efetivo intercâmbio de informações, apresentando-se normalmente de acesso aberto e com ausência de proprietário, apesar de existirem elementos BIM comercializáveis;
3. interoperabilidade: Característica natural dos softwares BIM, que são desenvolvidos para superar erros e perdas de informações na interoperabilidade e alcançar a eficiência;
4. dados ricos e abrangentes: os modelos são ricos em dados e abrangentes enquanto cobrem e mantêm as características físicas e funcionais e os estados dos elementos do edifício;
5. extensíveis: O BIM pode ser estendido para cobrir diferentes aspectos de domínio da informação;
6. tridimensionais: os modelos representam a geometria do edifício em três dimensões;
7. cobertura em várias fases do ciclo de vida: O BIM cobre várias fases do ciclo de vida do projeto podendo representar a informação sobre o edifício de maneira n-dimensional;
8. relacionamento espacial: Manutenção de relações espaciais entre elementos de construção BIM;
9. riqueza em informações e facilidade de comunicação: Os softwares BIM armazenam grande quantidade de informações sobre os elementos de modelo;
10. suporte a geração de vistas: São permitidas infinitas visualizações do modelo, estáticas ou dinâmicas, por subconjuntos ou instantâneas;
11. armazenamento, compartilhamento e troca de banco de dados: O projeto desenvolvido em BIM pode ser armazenado ou compartilhado como um arquivo ou um banco de dados.

Além das características destacadas acima é importante apresentar mais detalhadamente alguns conceitos do BIM, como a Interoperabilidade, os Sistemas de Classificação de Informação e Nível de desenvolvimento (ND) / *Level of detail* ou *Level of development* (LOD).

2.8.1 Interoperabilidade

De acordo com Parreira e Cachadinha (2012), a interoperabilidade corresponde à habilidade de implementação e geração de relacionamentos colaborativos em um projeto multidisciplinar.

Em BIM, conforme Baia (2016), a interoperabilidade consiste na possibilidade de troca de dados, partilha de informações, entre diferentes *softwares* durante o processo de projeto sem a necessidade de réplica de informações.

A interoperabilidade para o BIM é de real importância, já que de acordo com Do Nascimento e Santos (2002), uma das barreiras para o sucesso, na área da tecnologia da informação ligadas aos processos, corresponde a falta de padronização na comunicação, agregada, conforme Roe (2001) *apud* Do Nascimento e Santos (2002), à complexidade de desenvolvimento destes padrões para a indústria da construção civil.

A interoperabilidade para o BIM é basilar para que a constituição de elementos paramétricos 3D que representam a realidade geométrica e de desempenho dos componentes estejam associadas às diferentes vistas do modelo, com sincronismo de alterações e com possibilidade de intercâmbio entre *softwares* sem a perda de dados e relações, fomentando o ambiente colaborativo.

A importância da interoperabilidade expande a capacidade da troca fiel de dados entre os *softwares*, uma vez que possibilita a abertura para discussão quanto à razão de utilização do BIM durante o ciclo de vida da construção, desde a fase conceitual, atravessando a fase de uso e de

operação, podendo-se acrescentar sucessivas fases, como renovação e demolição, cuja recorrência de perdas de dados e impossibilidade de intercâmbio entre *softwares* BIM fadaria o seu próprio mérito.

Baia (2016) informa que o intercâmbio de dados entre os *softwares* podem ser feitos por vários formatos, sendo o *Industry Foundation Classes (IFC)* o mais importante, por se apresentar público e aberto para modelos de construção, baseado em objetos e não em proprietários, por exemplo, DXF, 3DS, portanto, tem sido formalmente adotado por vários governos e organizações em todo o mundo.

Baia (2016) também coloca que os objetos quando convertidos no modelo IFC, são compostos pelo tipo do objeto, geometria, relações e propriedades associadas.

A *buildingSMART Alliance* representa uma organização internacional que busca desenvolver e manter as especificações do formato *IFC*, como especificação da norma da *International Organization for Standardization - ISO*, em padrões de dados, com o intuito de melhorar e garantir a qualidade dos *softwares* em BIM, por meio de certificação (buildingSMART, 2017).

2.8.2 Sistemas de classificação da informação

De acordo com Honda (2016) com o intuito de promover a interoperabilidade foram desenvolvidos inúmeros sistemas de classificação da informação em BIM, por exemplo: OmniClass, UniFormat, MasterFormat e o Sistema Brasileiro de Classificação – ABNT NBR 15.965.

De acordo com Isikdag (2015), a classificação dos objetos da indústria da construção facilita a transferência de informações de maneira mais apropriada em questão de prazos e entre as equipes envolvidas no projeto.

Neste sentido, considerando-se ganhos de produtividade na simples utilização de modelos de objetos, sem a necessidade de construção de réplicas, conforme CBIC (2016), as organizações da indústria da construção

brasileira atuam de modo a consagrar o sistema de classificação a partir da norma ABNT NBR 15.965, para projetos de variáveis complexidades e usos, inclusive de infraestrutura, incluindo operações, profissionais, equipamentos, em todos os estágios do ciclo de vida de obra.

Conforme Amorim (2010) *apud* Manzione (2013) os sistemas de classificação de informações se organizam de acordo com suas características assim dadas:

- Masterformat: Classificação hierárquica;
- Unifomat: Classificação facetada;
- Omniclass: Classificação hierárquica e facetada

Segundo Manzione (2013), a OmniClass é um sistema de classificação das informações dentro do contexto da indústria da construção, contemplando todo o ciclo de vida da obra, a fim de organizar, classificar e recuperar as informações entre os mais diversos *softwares*.

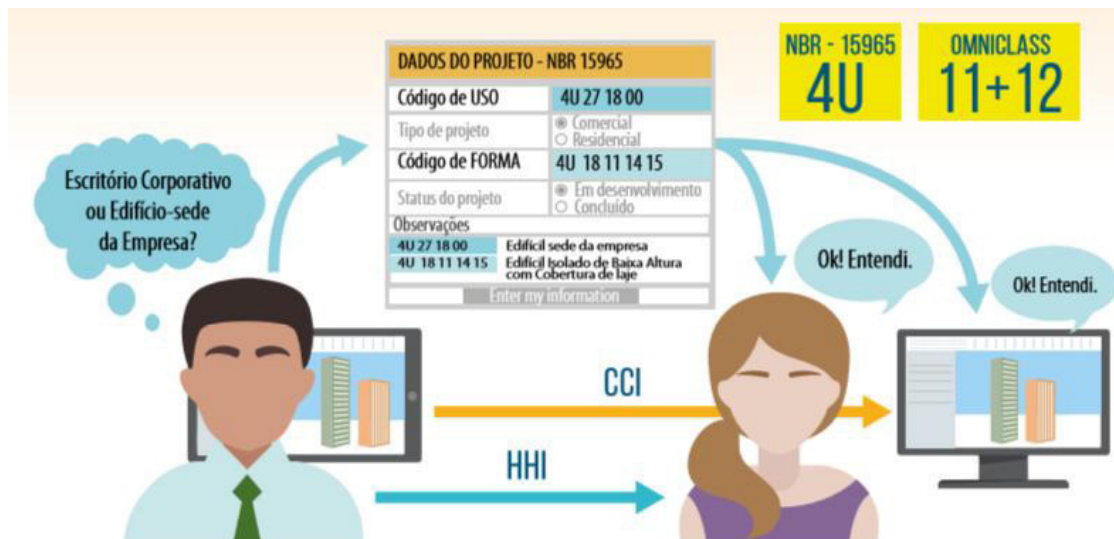
Manzione (2013) expõe que o OmniClass mescla informações e conceitos de outros sistemas de classificação na composição de suas tabelas, sendo que a classificação dos resultados do trabalho, baseia-se no MasterFormat, enquanto que os sistemas e componentes advêm do Unifomat, enquanto os produtos são derivados do *Electronic Product Information Cooperation – EPIC*.

Segundo a CBIC (2016) a NBR 15965 é composta por 13 tabelas de diferentes conteúdos de informações e baseada nas 15 tabelas do sistema de classificação da construção OmniClass ou OCCS, portanto apresenta também uma classificação hierárquica e facetada, ou seja, multimatricial, que correlaciona conteúdos de várias tabelas para se especificar o objeto.

De acordo com a CBIC (2016), as tabelas de classificação das informações em conformidade com a NBR 15965 permitirá a criação de estruturas analíticas de projetos padronizadas e codificadas, minimizando

riscos de ruídos comunicativos nas interações entre Humanos e Humanos (HHI) e nas interações entre Computador e Computador (CCIs), elucidada pela Figura 14.

Figura 14 - Comunicação entre diferentes fluxos de trabalho, HHI e CCI



Fonte: CBIC (2016)

De acordo com a CBIC (2016) a Norma ABNT NBR ISO 12006-2: 2010 - Construção de edificação – Organização de informação da construção – Parte 2: Estrutura para classificação de informação, corresponde a primeira normativa nacional a ser publicada relacionada ao BIM, apresentando diretrizes de planejamento para o sistema de classificação da Norma NBR 15.965, e segundo Manzione (2013), a norma ISO-12006-3 correspondia a base da OmniClass.

Atualmente, quatro partes do Sistema de classificação da informação da construção, do total de sete já se encontram em vigor, quais sejam:

- NBR 15965-1/2011 - Parte 1: Terminologia e estrutura;
- NBR 15965-2/2012 - Parte 2: Características dos objetos da construção;
- NBR 15965-3/2014 - Parte 3: Processos da construção;

- NBR 15965-7/2015 - Parte 7: Informação da construção.

De acordo com a CBIC (2016), restam serem aprovadas a 02 Tabela 2C de Produtos ou Componentes e a Tabela 3R – Resultados da Construção pela Comissão Especial de Estudos (CEE) 134, consideradas predecessoras para a aprovação das partes 4 (Funções, Equipamentos e Componentes) e 5 (Elementos e Resultados da Construção).

2.8.3 LOD – Level of detail x Level of development

O BIMFORUM (2016) define o LOD como *level of development*, ou seja, o nível de desenvolvimento de modelos, como uma referência aos profissionais da indústria da construção quanto à clareza de conteúdos e confiabilidade de modelos BIM nos vários estágios do ciclo de vida das construções. Para tanto, a *American Institute of Architects* (AIA) definiu e ilustrou características de diferentes modelos construtivos em níveis de desenvolvimento diversos, organizados de acordo com o sistema de classificação UniFormat 2010.

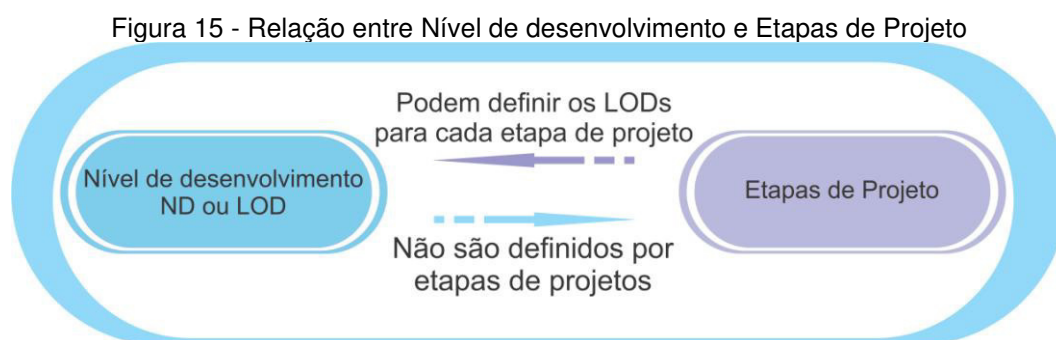
Eastman *et al.* (2011) define LOD como o nível de detalhamento do modelo BIM que se apresenta intimamente relacionado com a quantidade de detalhes, tempo alocado no seu desenvolvimento e no refinamento da informação a ser comunicada, apesar desta definição já ser amplamente contestada, como por exemplo, de acordo com a CBIC (2016), o LOD tem sido atualmente melhor citado como nível de desenvolvimento (*level of development*), correspondendo a uma ampliação conceitual por considerar o nível de confiança que os usuários podem ter nas informações incorporadas em um modelo BIM.

Manzione (2013) diante destas denominações diversas do LOD apresenta um entendimento agregado destas duas definições, para tanto, argumenta que o LOD ora é subentendido ao nível de detalhe das

informações geométricas (*level of detail*) e ora subentendido ao nível de desenvolvimento das informações não geométricas (*level of development*). Neste diapasão foi proposta mais uma ampliação conceitual do LOD, a ser considerado como Nível de Maturidade, que corresponderia à medida do desenvolvimento de um projeto em relação aos requisitos programáticos, ao planejamento e controle necessários ao alcance de metas previamente definidas.

Diante do dinamismo de conceituações do BIM, utiliza-se o termo LOD neste estudo, como Nível de desenvolvimento, por ser o mais difundido, inclusive melhor aceito pelo *American Institute of Architects* (AIA).

O BIMFORUM (2016) estabelece que os LODs não são definidos por fases de projeto, mas sim, que é possível estabelecer os níveis mínimos de desenvolvimento para cada fase de projeto, considerando, que a conclusão da fase de projeto é considerada como marco ou entrega, com exigível grau de complexidade a cada nova etapa, conforme a Figura 15.



Fonte: Autoria própria

O BIMFORUM (2016) considera que na fase de concepção projetual raramente são estabelecidos rígidos padrões, e, que nesta fase são utilizados variados níveis de desenvolvimento de elementos, LOD 100, 200, 300 e algumas vezes até LOD 400.

Outro conceito estabelecido pelo BIMFORUM (2016) corresponde à incorreção na definição de padronização de níveis de modelos baseados no

LOD, ou seja, seria inviável afirmar que um modelo deveria ser por completo LOD 300. Caso impraticável, pois, se ao utilizar, por exemplo, um elemento diretamente do fabricante que o desenvolveu como LOD 400, seria necessário alterar o elemento para um nível inferior, o que seria contrário à lógica do BIM, além disso, é possível em qualquer estágio detectar elementos com variáveis LOD.

A quantidade de níveis de desenvolvimento de objetos em BIM apresenta variações, sendo comum a consideração de cinco níveis de desenvolvimento do modelo de elemento, a partir da mais genérica representação e informação, LOD 100 até o LOD 400.

O LOD 400, com o alto nível de especificidade da informação e aderência do status virtual com a projeção real, em termos de tamanho, forma, localização, quantidade e orientação que podem ser verificadas diretamente no modelo sem a dependência de informações não modeladas, como notas ou notas de chamadas de dimensões. Neste nível o detalhamento do elemento deve ser suficientemente claro para a sua fabricação. O último nível, como os demais, corresponde ao *As built*, o LOD 500.

2.9 Softwares do Sistema BIM

Conforme Barison (2015), ainda na década de 90 do século passado, o *Georgia Institute of Technology*, já iniciava o desenvolvimento das primeiras pesquisas sobre o BIM e a *Texas A&M University* subsidiou a nova tecnologia pelo ensino do BIM através dos *softwares* Sonata e Reflex, embora de acordo com Peterson *et al.* (2010), o primeiro exemplo em nível de ensino de graduação tenha sido ministrado na *Stanford University*, no curso intitulado: “Gerenciamento da fabricação e construção”, em 1994.

Não existe panaceia quando se trata de tecnologia devido às constantes, efêmeras e infinitas necessidades humanas de que o *software*

possa tentar sanear ou auxiliar na busca de solução. Entretanto, esta frustrante realidade impulsiona a melhoria constante pelos desenvolvedores.

Neste sentido, Eastman *et al.* (2008), coloca que cada plataforma contém um legado próprio derivado das estratégias organizacionais, com famílias de produtos específicos, formas de utilização, interface e compartilhamento próprios, entre outros, bem como de nível de facilidade de uso diversos. Pontos positivos e negativos do *software* Revit são apresentados na Figura 16.

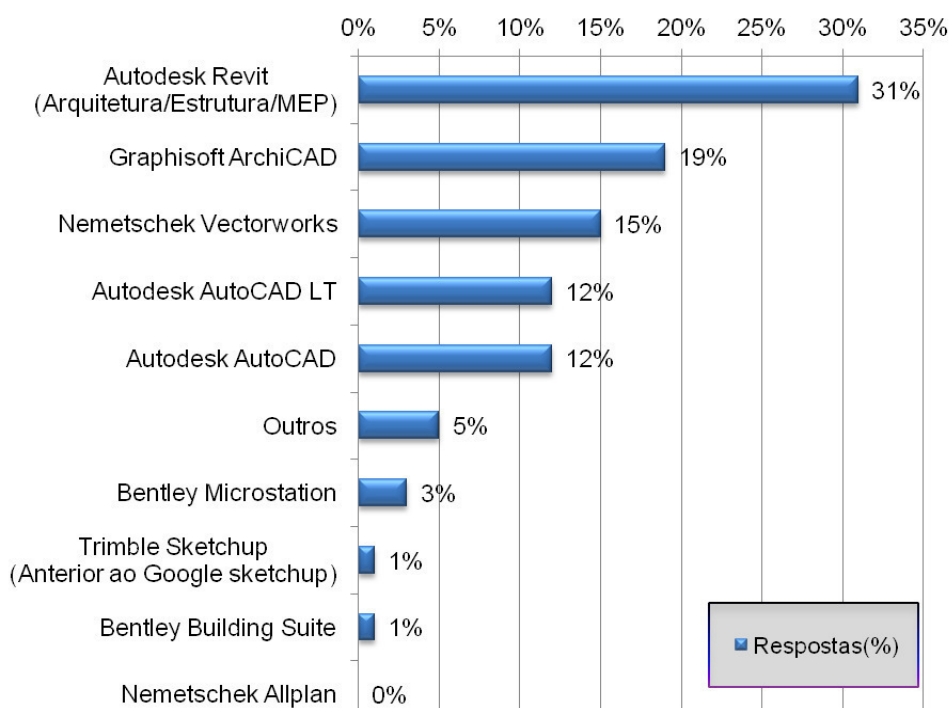
Figura 16 - Pontos fortes e fracos do *software* REVIT



REVIT
PONTOS FORTES: (+) Interface amigável e de fácil aprendizado; amplo conjunto de bibliotecas desenvolvidos por terceiros; por se líder do mercado é a interface preferida para interligação direta; (+) Suporte bidirecional a desenhos, permitindo a geração e/ou modificação tanto via modelo quanto vistas; suporte a operações simultâneas no mesmo projeto; (+) Possui excelente biblioteca de objetos que suporta uma interface multiusuário. PONTOS FRACOS: (-) Projetos maiores que 220 megabytes, o sistema fica lento; (-) Limitações nas regras paramétricas para lidar com ângulos; (-) Não suporta superfícies curvas complexas.

Fonte: Eastman *et al.*(2014) *apud* Baia (2016)

Em pesquisa baseada em mais de 1000 respostas, realizada por Malleson *et al.* (2016), Figura 17, concluiu-se que o *software* Revit é o mais popular na produção de desenho, com 31% da preferência, seguida pelo ArchiCAD, com 19%, que juntos representam a metade da preferência total.

Figura 17 - Preferência por *Software* utilizado na produção de desenhoFonte: Malleson *et al.* (2016)

2.9.1 Autodesk Revit Arquitetura

Revit é uma plataforma computacional de projeto, em BIM, que permite a criação de famílias paramétricas, simulações e geração de documentos (desenhos e tabelas) simultaneamente atualizáveis por se apresentarem interligados por mecanismos de coordenação paramétrica.

De acordo com Bergin (2012) *apud* Barison (2015), o Revit teve o início da sua trajetória em 1997 a partir da empresa Charles River Software (CRS), que passou a se chamar Revit Technology Corporation (RTC) e que logo lançou a primeira versão do software para o público. Em 2002, a RTC foi adquirida pela Autodesk Inc.

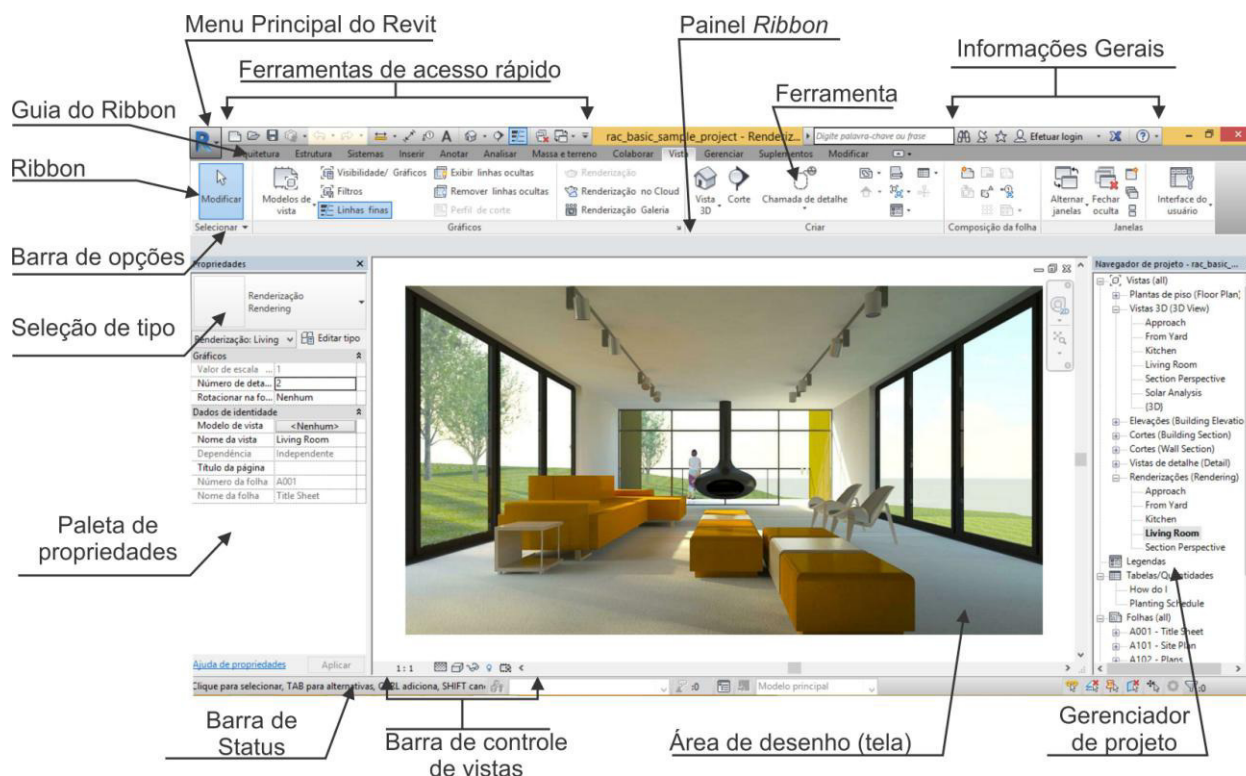
Eastman *et al.* (2008) ratificam que o Revit Arquitetura é o atual líder de mercado para o uso do BIM em projeto arquitetônico e esclarece que o Revit possui uma plataforma diversa do AUTOCAD, desde o código-base e a

estrutura de arquivo. A versão atual do Revit 2017 apresenta um pacote de *softwares* especializados: em arquitetura (Revit Arquitetura), em modelagem e integração estrutural (Revit Estrutura) e em modelagem mecânica, elétrica e de instalações e interpretação energética (Revit MEP).

O padrão de extensão dos arquivos Revit é RVT, sendo diferenciado da extensão de armazenagem de arquivos de famílias paramétricas, RFA, além de outros: RTE criados no Revit ou no Revit LT Esta plataforma vincula e importa outros formatos: DWG™, formato de arquivos DXF, tecnologia TrustedDWG; Imagens (BMP, JPG, JPEG, PNG, TIFF); IFC; SketchUp, DGN, revisão DWF; Nuvens de pontos (AUTODESK, 2016).

A interface do usuário (IU) do Revit Arquitetura, evidenciada pela Figura 18, é similar aos demais produtos da Autodesk, de acordo com Duell; Hathorn e Hathorn (2015), tais como AutoCAD e 3ds Max.

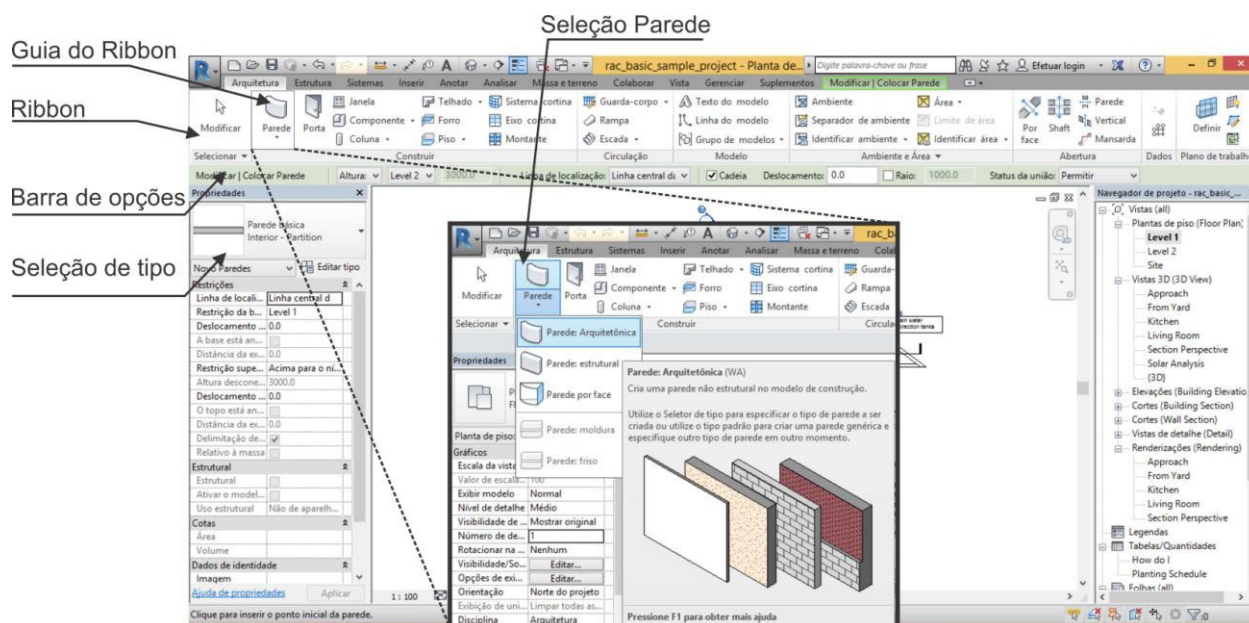
Figura 18 - Interface do usuário do Revit Arquitetura 2017



Fonte: Autoria própria

O Revit arquitetura baseia-se no conceito *ribbon*, demonstrado na Figura 19 que apresentam ferramentas e painéis organizados em abas no topo da tela, que se abrem contextualmente ao elemento selecionado, chegando a se assemelhar inclusive com outros *softwares* de uso doméstico, como por exemplo, Microsoft Word, com o mesmo conceito *ribbon*.

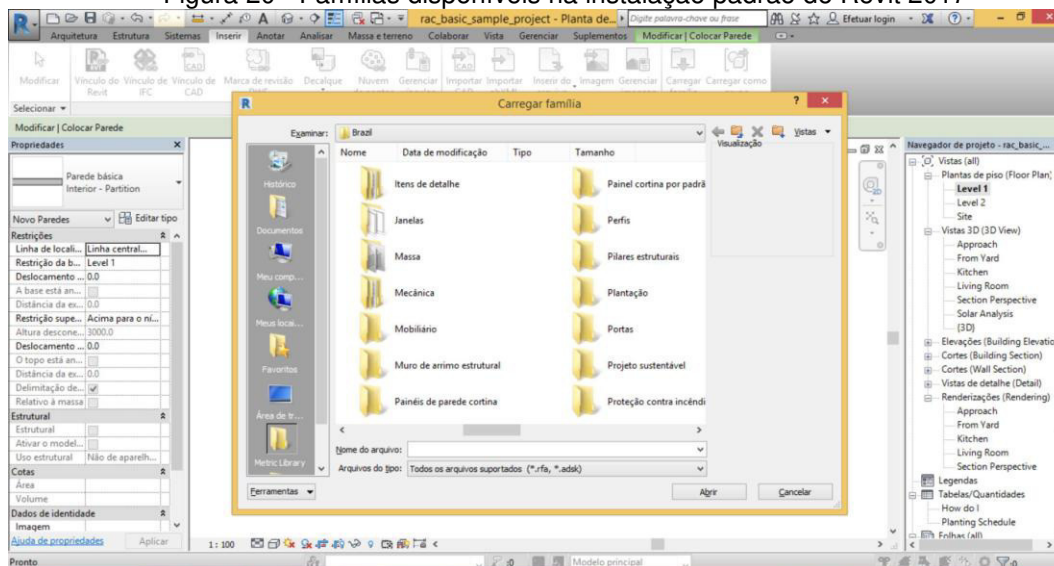
Figura 19 - Interface do Usuário – IU – *Ribbon*



Fonte: Autoria própria

Segundo a Autodesk (2016), as famílias do Revit 2017 correspondem a grupos de elementos com propriedades próprias denominadas de parâmetros sempre associados a uma representação gráfica. Estes elementos pertencentes a uma determinada família podem apresentar diferenças em relação a valores, materiais, ou outras características, como por exemplo, as famílias de portas, Figura 20 que podem exibir dimensões, materiais, massa, acabamento diferentes, porém o conjunto destes parâmetros é igual.

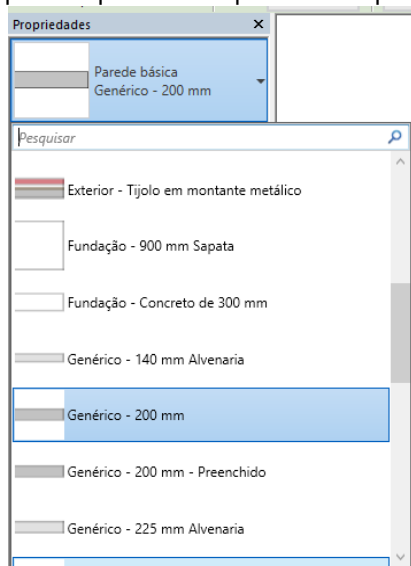
Figura 20 - Famílias disponíveis na instalação padrão do Revit 2017



Fonte: Autoria própria

A Figura 21 apresenta a hierarquia de paredes arquitetônicas padrão do Revit 2017 e cada parede teoricamente apresenta alguma característica distinta das demais. O usuário além de utilizar as famílias padrões, pode editá-las ou criar novas famílias sem limitações.

Figura 21 - Exemplos de paredes arquitetônicas padrão do Revit 2017



Fonte: Autoria própria

2.9.1.1 Extração Automática de Quantidades de um Projeto em BIM

– *Quantity Take-off (QTO)*

Quantity Take-off (QTO), sigla a ser considerada neste estudo para fins de simplificação para denominar a extração automática de quantidades de um projeto em BIM, corresponde a uma tarefa base e de vital importância em qualquer empreendimento da indústria da construção e em todas as fases de uma obra, podendo inclusive estabelecer a sua continuidade ou mesmo estabelecer o descarte do propósito de edificar.

O fluxo de trabalho tradicional de quantificação de componentes e sistemas construtivos baseava-se em desenhos em 2D, conforme exposto por Ferreira (2007), porém, oportuniza o acometimento de erros classificados por: ambiguidade, simbolismo, simplificação, omissão e fragmentação, uma vez que o processo de desenvolvimento de projetos bidimensionais baseava-se em inferências sobre informações incompletas ou parciais, exemplificadas na Tabela 8, geralmente se respaldando nos conhecimentos e experiências variadas dos projetistas para a recomposição mental do espaços tridimensionais ou real, elevando as incertezas quanto aos resultados.

Tabela 8 - Características da representação em 2D que podem gerar problemas na interpretação de projetos

Característica	Descrição	Exemplo
Ambiguidade	Representações 2D com múltiplas interpretações, apesar da inserção de notas, símbolos ou esquemas.	Representação de vigas no mesmo plano ou em níveis diferentes (invertidas), cujas diferenças são representadas apenas em seções.
Simbolismo	O objeto é representado por um símbolo cujas dimensões e formas não têm relação com o objeto real que representa.	Simbologia de pontos de elétrica (interruptor, tomadas, etc.) desproporcionais ao objeto representado, necessitando a abstração das relações espaciais.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2007)

“continua”

Tabela 8 - Características da representação em 2D que podem gerar problemas na interpretação de projetos

“continuação”

Característica	Descrição	Exemplo
Omissão	Informações omitidas a fim de sintetizar o desenho ou mesmo omissão de cortes ou elevações necessárias a correta interpretação do projeto.	Interferências correntes em sistemas hidráulicos de água quente e fria com sistemas estruturais, quando a previsão de passagem dos tubos se mostra insuficiente ou em alturas incorretas.
Simplificação	Simplificação da representação, alterando o volume real do objeto ilustrado mantendo algumas relações e forma e dimensão com o modelo real.	Simplificação da representação de tubulações de água quente e fria como linhas ou curvas simples, que geralmente possuem Ø de 40 e 50mm, e podem comprometer a análise das reais ligações entre as diversas peças, inclusive com a tubulação de esgoto Ø 100mm.
Fragmentação	A fragmentação das informações em várias vistas ortográficas (planta, elevação, corte) com a eventual representação em folhas	Interferências entre sistemas diversos: elétrico, hidráulico, estrutural, etc., que podem inviabilizar a execução pretendida.

Fonte: Adaptado de Ferreira (2007)

A fim de evitar a continuidade dos erros e com o desenvolvimento tecnológico, a indústria de construção civil esta rapidamente migrando do uso do CAD 2D para o CAD 3D e entrando definitivamente no BIM (WIJAYAKUMAR; JAYASENA, 2013; YUN; KIM, 2013)

O QTO é considerado por vários autores como o melhor avanço na tecnologia de gerenciamento de obras (MONTEIRO; MARTINS, 2012; STENSTRAND *et al.*, 2010; WIJAYAKUMAR; JAYASENA, 2013).

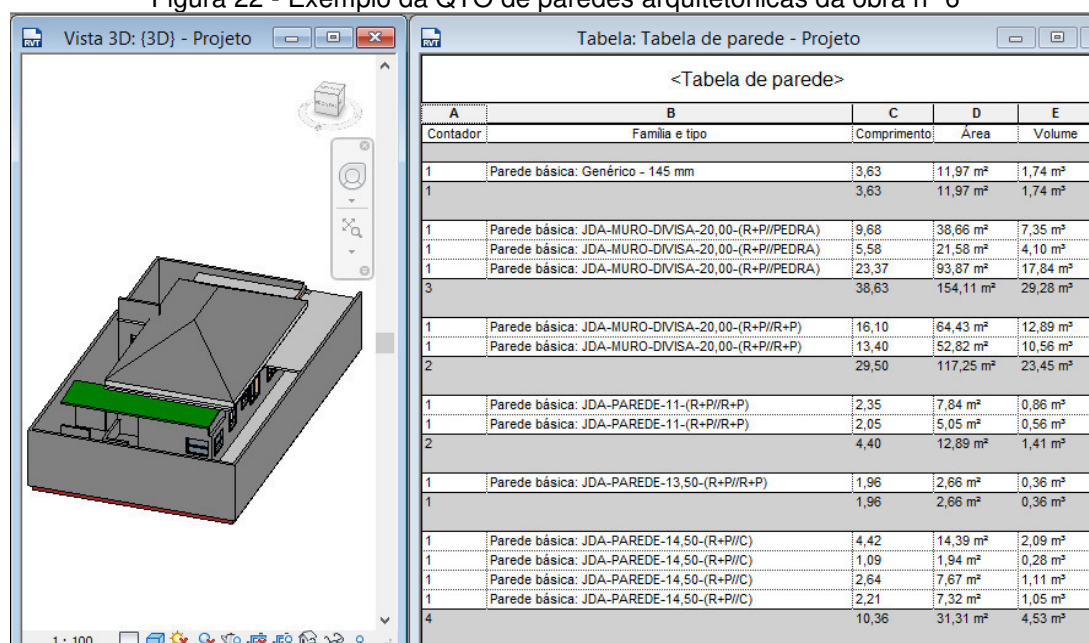
O conceito de QTO, fundamentado em Yun e Kim (2013), é baseado tanto nos parâmetros quantitativos incorporados aos objetos (comprimento, área, volume, dentre outros) quanto à própria orientação do objeto (direção, esconsidade, perpendicularismo, deslocamento em relação ao solo, dentre outros), ou seja, dependentes da modelagem.

Segundo a CBIC (2016), a QTO garante a consistência, precisão e agilidade de acesso às informações das quantidades, que poderão ser

divididas e organizadas de acordo com as fases definidas no planejamento e na programação de execução dos serviços.

O Revit Arquitetura, conforme Duell; Hathorn e Hathorn (2015), permite listar e quantificar todos os tipos de elementos de modelo e suas propriedades, bem como discriminar objetos de construção, tais como paredes, como mostra a Figura 22. Apesar dos benefícios da QTO, segundo Sattineni e Bradford (2011), esta ferramenta não está efetivamente sendo utilizada pela indústria da construção.

Figura 22 - Exemplo da QTO de paredes arquitetônicas da obra nº 6



The image shows a screenshot of the Revit Architecture software interface. On the left, there is a 3D perspective view of a building model with a green roof. On the right, a table titled 'Tabela: Tabela de parede - Projeto' is displayed, showing the quantity takeoff for walls. The table has five columns: A (Contador), B (Familia e tipo), C (Comprimento), D (Área), and E (Volume). The table lists various wall types and their corresponding dimensions and quantities.

<Tabela de parede>				
A	B	C	D	E
Contador	Familia e tipo	Comprimento	Área	Volume
1	Parede básica: Genérico - 145 mm	3,63	11,97 m²	1,74 m³
1		3,63	11,97 m²	1,74 m³
1	Parede básica: JDA-MURO-DIVISA-20,00-(R+P//PEDRA)	9,68	38,66 m²	7,35 m³
1	Parede básica: JDA-MURO-DIVISA-20,00-(R+P//PEDRA)	5,58	21,58 m²	4,10 m³
1	Parede básica: JDA-MURO-DIVISA-20,00-(R+P//PEDRA)	23,37	93,87 m²	17,84 m³
3		38,63	154,11 m²	29,28 m³
1	Parede básica: JDA-MURO-DIVISA-20,00-(R+P//R+P)	16,10	64,43 m²	12,89 m³
1	Parede básica: JDA-MURO-DIVISA-20,00-(R+P//R+P)	13,40	52,82 m²	10,56 m³
2		29,50	117,25 m²	23,45 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-11-(R+P//R+P)	2,35	7,84 m²	0,86 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-11-(R+P//R+P)	2,05	5,05 m²	0,56 m³
2		4,40	12,89 m²	1,41 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-13,50-(R+P//R+P)	1,96	2,66 m²	0,36 m³
1		1,96	2,66 m²	0,36 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-14,50-(R+P//C)	4,42	14,39 m²	2,09 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-14,50-(R+P//C)	1,09	1,94 m²	0,28 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-14,50-(R+P//C)	2,64	7,67 m²	1,11 m³
1	Parede básica: JDA-PAREDE-14,50-(R+P//C)	2,21	7,32 m²	1,05 m³
4		10,36	31,31 m²	4,53 m³

Fonte: Autoria própria

Monteiro e Martins (2013) argumentam que a QTO não é completamente automatizada, sendo possível e normalmente necessárias as entradas de dados manuais. Além disso, consideram à proporcionalidade existente entre os níveis de desenvolvimento e a manutenção de dados mais detalhados, considerando para tanto a possibilidade de adição de detalhes que poderiam inviabilizar a modelagem, devido ao tempo a ser despedido para tal ação.

A partir de uma única diretriz de modelagem BIM, Yun e Kim (2013) verificaram distorções de resultados de materiais de um mesmo modelo de construção a partir da ferramenta de extração de quantitativos de um *software* BIM, Archicad, de uso geral e um *software* especializado em estimativa de materiais, não especificado no estudo, cujos resultados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Comparação de resultados entre *software* específico de quantificação e o modelo BIM

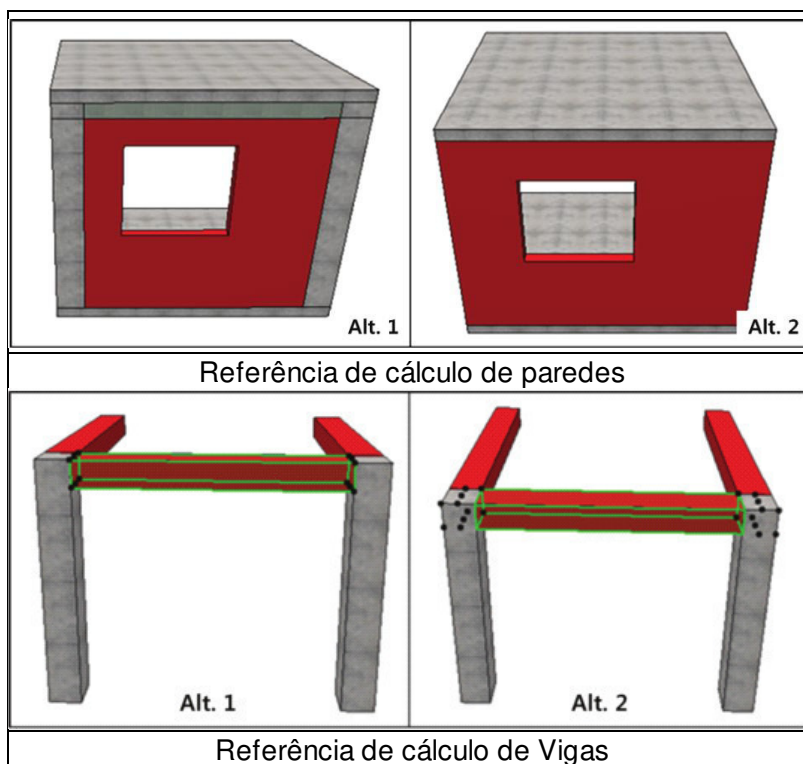
Localização	Serviço/Material	Software específico em quantificação	Modelo BIM
Coluna	Fôrma (m ²)	174	174
	Concreto (m ³)	21,15	21,2
Parede	Fôrma (m ²)	865,1	909,26
	Concreto (m ³)	70,24	86,72
Viga	Fôrma (m ²)	180,18	193,8
	Concreto (m ³)	27,15	30,23
Laje	Fôrma (m ²)	765,93	806,25
	Concreto (m ³)	127,66	134,37
Soma	Fôrma (m ²)	1985,21	2083,31
	Concreto (m ³)	246,19	272,52

Fonte: Yun e Kim (2013)

Desta forma, de acordo com a prioridade do *software*, as quantidades podem diferir mesmo se forem considerados os mesmo objetos e as mesmas orientações, ciente de que a maior precisão dos quantitativos resulta da máxima descrição dos elementos, ou seja, existe influência direta do método de modelagem sobre a precisão das quantidades, bem como dos diferentes *softwares* utilizados (WIJAYAKUMAR; JAYASENA, 2013).

As diferenças pontuais encontradas por Yun e Kim (2013) resultam de sobremaneira das referências utilizadas para cálculo das partes constituintes das estruturas, conforme mostrado na Figura 23.

Figura 23 - Diferença de referências para cálculo de dimensões em dois métodos



Fonte: Yun e Kim (2013)

A Tabela 10 demonstra que os erros máximos percentuais resultaram em 3,17% para o material concreto.

Tabela 10 – Diferença de referências físicas para cálculo de dimensões em dois métodos

Método Tradicional - Alternativa 1			Modelagem BIM - Alternativa 2		
	Comprimento	Altura		Comprimento	Altura
Fundação	Sob a primeira laje		Fundação	Sob a primeira laje	
Coluna	Coluna	Entre lajes	Coluna	Coluna	Entre lajes
Viga	Entre dimensões	Exclui a laje	Viga	Dimensão central	Exclui a laje
Laje	Entre paredes	Altura da laje	Laje	Comprimento da laje	Altura da laje
Parede	Entre dimensões	Sob a viga	Parede	Exclui a coluna	Sob a laje

Fonte: Adaptado de Yun e Kim (2013)

Mesmo com todas as vantagens comparativas do BIM, em relação ao modelo de estimativa tradicional, CAD 2D e planilhas, verifica-se também no BIM a possibilidade de diferentes resultados a partir da existência de inúmeras diretrizes de QTO atualmente vigentes no mundo, situação ratificada por Forgues *et al.* (2012), ao concluírem que a utilização do BIM para a extração de quantidades ainda não está suficientemente madura.

Como o foco do estudo versa sobre a eficiência do método de quantificação de RD a partir do BIM, não se busca a comparação entre outros resultados de aplicação de *softwares* BIM ou mesmo de outros *softwares* comerciais de quantificação.

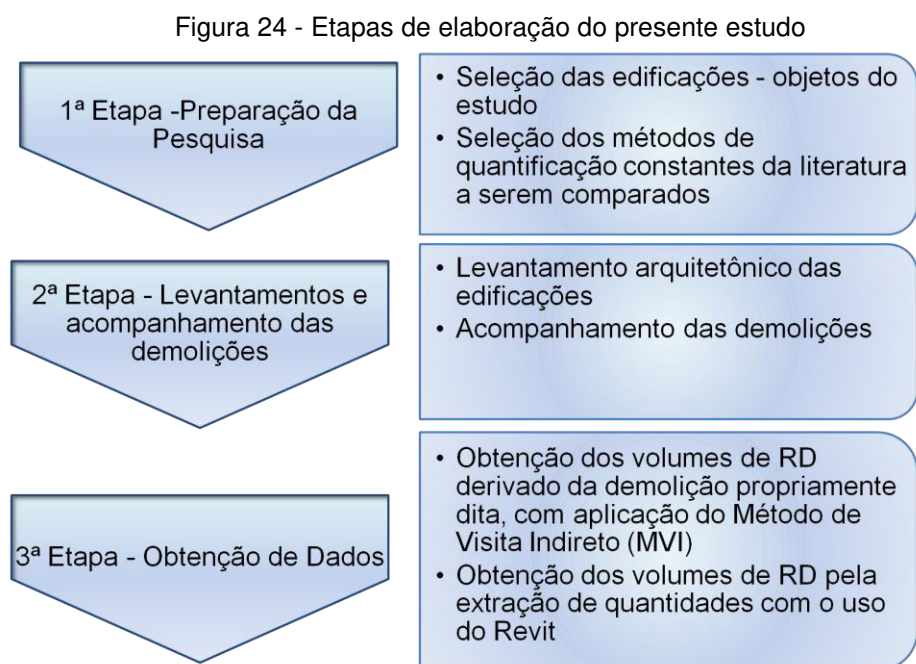
3 MÉTODOS E MATERIAIS

Esta pesquisa versa sobre a extração automática de volumes de elementos de projeto em BIM, pelo uso do *software* Autodesk Revit, dividida em três etapas, conforme a Figura 24, sendo elas: (1) Preparação da Pesquisa; (2) Levantamentos e Modelagem e (3) Obtenção de Dados.

A etapa 1 contém as seleções das edificações, consideradas objetos do estudo e dos métodos de quantificação constantes da literatura a serem analisados comparativamente com o BIM.

A etapa 2 apresenta informações referente aos levantamentos *in loco* das edificações e a sua modelagem virtual com o uso do *software* Revit.

A etapa 3 detalha a obtenção dos dados volumétricos a partir: da demolição propriamente dita e da extração de quantidades pelo uso do *software* Revit.

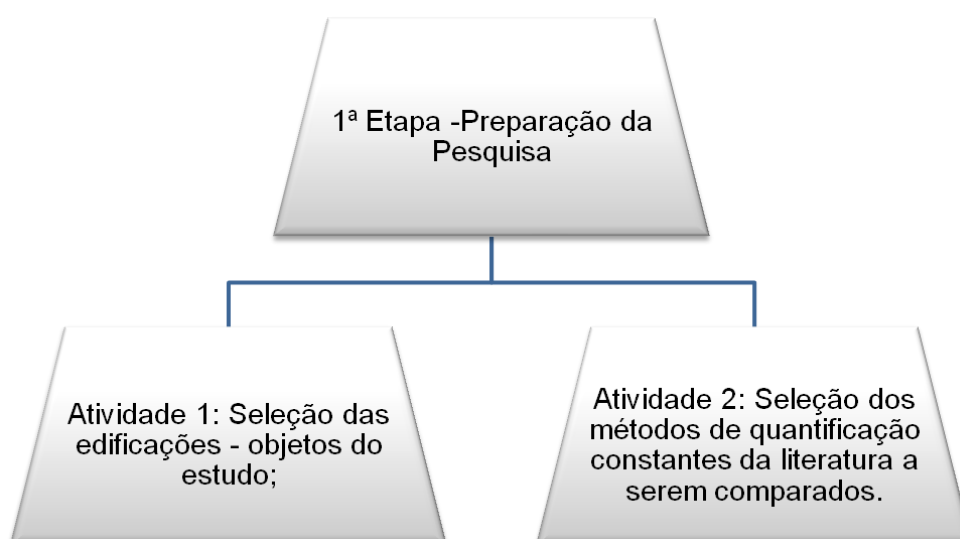


Fonte: Autoria própria

3.1 1ª Etapa: Preparação da Pesquisa

Esta etapa corresponde às seleções das edificações e dos métodos de quantificação *in loco* das obras selecionadas a serem comparados com o Revit, conforme mostrado na Figura 25.

Figura 25 - Atividades realizadas na Preparação da Pesquisa



Fonte: Autoria própria

3.1.1 Atividade 1: Seleção das edificações – objetos do estudo:

O município de Belo Horizonte baseado no Decreto 13.842/2010, estabelece procedimentos para licenciamento e emissão de certidão de demolição, sendo considerado um avanço rumo a uma melhor gestão dos RCD (BELO HORIZONTE, 2010).

O requerimento de licença de demolição está disponível no sítio eletrônico da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) e traz informações quanto ao tipo de solicitação: novo licenciamento, renovação, alteração ou baixa. No projeto de demolição exigido pela PBH devem constar as indicações de

perímetro da edificação, área total a ser demolida e cálculo do volume de RD a ser gerado (BELO HORIZONTE, 2010).

A PBH disponibiliza informações referentes às licenças de demolição concedidas, de forma transparente, pelo acesso ao sítio eletrônico: <http://lic.siatu.pbh.gov.br/siatu-urbano-licenciamento-publico/f/t/consultarlicencacidadao>, cujo acesso é exemplificado pela Figura 26.

Figura 26 - Sistema de consulta on-line de licenças ao cidadão

The screenshot displays the 'Consultar Licença Cidadão' (Consult Citizen License) interface on the website lic.siatu.pbh.gov.br/siatu-urbano-licenciamento-publico/f/t/consultarlicencacidadao. The interface includes a search bar with the following fields:

- CPF/CNPJ:** Radio buttons to select between CPF and CNPJ.
- CPF:** Text input field.
- Número da licença:** Text input field.
- Regional:** Dropdown menu with '[Selecione]'.
- Tipo de Licença:** Dropdown menu with '[Selecione]' and a list of license types. The 'Licença de Demolição' option is highlighted.
- Nº do processo:** Text input field.
- Data de concessão:** Date range selector (de... até...).
- Data de vencimento:** Date range selector (de... até...).
- Endereço:** Text input field with a 'Localizar' button.

At the bottom, there is a table header for 'Consultar Licença Cidadão' with columns: 'de validade', 'Regional', 'Nome do titular', and 'Tipo de Licença'. The footer indicates the version 'siatu-urbano-licenciamento-publico v1.4.4'.

Fonte: (BELO HORIZONTE, 2017)

Nessa etapa foi realizado o acompanhamento diário das concessões das licenças de demolição expedidas através do sítio eletrônico, com filtro às obras da Região Centro-Sul, a partir de 29 de novembro de 2016 a 8 de fevereiro de 2017, que representaram 31 licenças de demolição concedidas.

A partir das licenças de demolição, de acesso aberto, foi possível identificar os endereços das obras, os dados do titular do requerimento e os

responsáveis técnicos pela execução das demolições, o volume de entulho esperado, dentre outras informações.

Para a escolha das obras, não foi estabelecida qualquer restrição quanto à empresa executora da demolição, sendo selecionadas as obras de demolição total que apresentassem uso residencial ou comercial com volume de RD esperado acima de 100 metros cúbicos.

Após inúmeras tentativas e contatos frustrados com empresas e responsáveis técnicos que atuam na área de demolição, somente uma empresa concordou em participar desta pesquisa, a ser chamada neste trabalho como empresa Alfa, que disponibilizou seus projetos de demolição e permitiu irrestritamente a realização de novos levantamentos arquitetônicos das obras e acompanhamentos da execução dos serviços de demolição.

A empresa Alfa detinha no período compreendido entre os meses de novembro/2016 a fevereiro/2017, 15 licenças de demolição, seja por responsabilidade técnica direta ou por contrato, na região centro-sul, praticamente a metade de todas as licenças concedidas pela PBH neste período para a região Centro-Sul.

Foram realizados novos levantamentos arquitetônicos para todas as obras, embora, somente 12 obras da região centro-sul foram realmente demolidas, sendo que as 3 restantes ainda se mantêm erigidas por interesse próprio do contratante, até a data de submissão deste trabalho.

A empresa Alfa também foi responsável pela execução de uma obra de demolição na região oeste de Belo Horizonte, sendo considerada nesta pesquisa, por se tratar de uma obra residencial com volume acima de 100 metros cúbicos, e, que não prejudicasse o acompanhamento das demais obras.

Duas licenças, 11600085960 e 11700027571, apresentam três edificações cada uma, sendo os resultados dos volumes de RD apresentados de acordo com cada licença. O resumo das obras, por uso, por região e volumes por licença e total são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Informações de uso, região e volumes licenciados por licença de demolição

Obra	Uso da edificação	Nº da Licença	Volume licenciado(m³)	Região de Belo Horizonte
1	Residencial	11600085960	419,93	Centro-Sul
2	Residencial			
3	Comercial			Centro-Sul
4	Residencial	11700000479	404,92	Centro-Sul
5	Residencial	11600086480	513,40	Centro-Sul
6	Residencial	11700023908	306,13	Oeste
7	Residencial	11700097900	181,76	Centro-Sul
8	Residencial	11700001797	385,16	Centro-Sul
9	Residencial	11700051876	454,72	Centro-Sul
10	Comercial	11700027571	1014,64	Centro-Sul
11				
12				
13	Comercial	11600088068	290,40	Centro-Sul
Volume total licenciado (m³)			3971,06	

Fonte: Autoria própria

3.1.2 Atividade 2: Seleção dos métodos de quantificação constantes da literatura

Considerando os métodos de quantificação de RCD descritos na Revisão teórica somente os métodos de cálculo da taxa de geração (MCTG), baseado na relação de volume/área, (m^3/m^2) e de visita indireto (MVI) foram comparados com os volumes apresentados nas licenças de demolição e ao QTO.

O MCTG foi utilizado na pesquisa por apresentar vários estudos anteriores para a atividade de demolição em nível de projeto, além de permitir a comparação entre os resultados a partir dos dados obtidos.

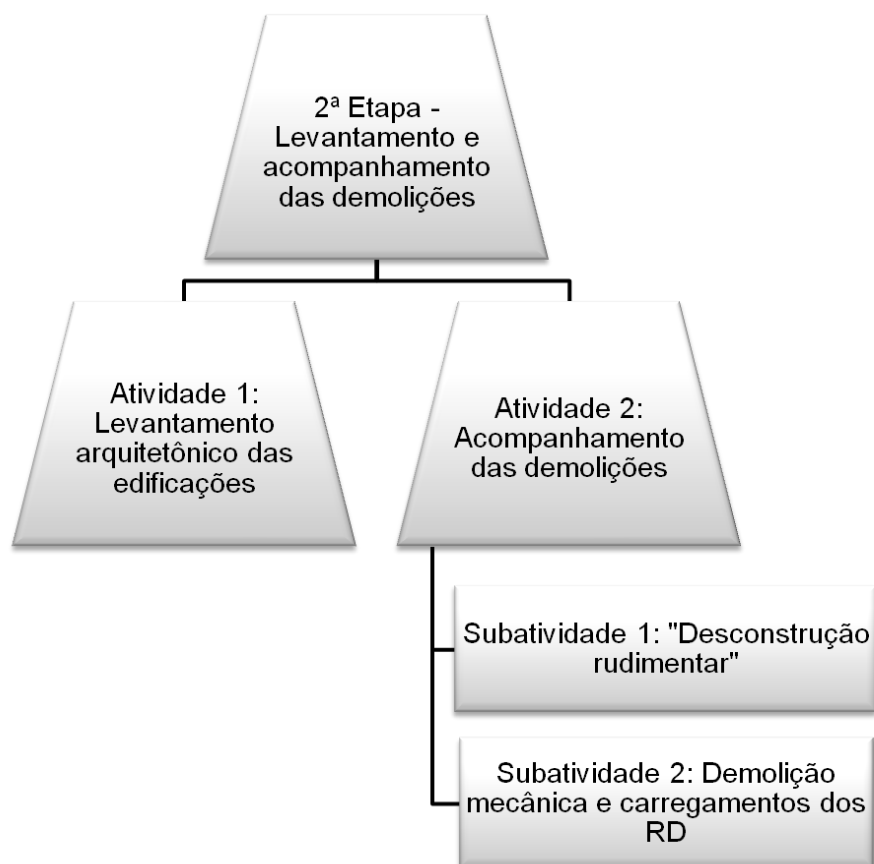
O MVI foi aplicado a fim de obtenção *in loco* dos volumes de RD gerados nas obras, a partir da contagem dos caminhões carregados multiplicados pelo volume transportado, não sendo considerada a massa dos

RD devido principalmente a indisponibilidade de balança aferida e a dificuldade operacional de pesagem dos caminhões nas obras.

3.2 2ª Etapa: Levantamentos e acompanhamento das demolições

Esta etapa teve início após a seleção das obras, a disponibilização dos projetos de demolição e a autorização para a realização de levantamentos arquitetônicos. Dividida em três atividades: o levantamento arquitetônico das edificações, acompanhamento das demolições e a modelagem virtual com uso do *software* Revit, conforme Figura 27.

Figura 27 - Atividades realizadas na etapa de levantamentos e acompanhamento das demolições



Fonte: Autoria própria

3.2.1 Atividade 1: Levantamento arquitetônico das edificações

Em todos os projetos de demolição disponibilizados pela empresa Alpha constavam as plantas baixas das edificações, sendo que para as obras 1, 2 e 3, elaborados pela contratante, foram incluídos cortes e plantas de cobertura, o que facilitou o entendimento da representação. Mesmo assim, verificaram-se disparidades entre a representação e o objeto real em todas as obras, além da simplificação e a omissão de informações nos projetos.

A empresa Alpha utiliza um fator de empolamento de 60%, enquanto que a contratante utiliza o fator de 30%. A aplicação deste fator se justifica pelo acréscimo volumétrico do material demolido em relação ao material antes da demolição. Além do fator de empolamento, são apresentadas na Tabela 12, as diretrizes utilizadas pelas empresas no cálculo dos volumes de RD em cada obra.

Tabela 12 - Diretrizes utilizadas pelos responsáveis pelos projetos de demolição para fins de licenciamento

Obra	Responsável pela elaboração do Projeto de demolição	Fator de empolamento (%)	Número de pavimentos	Cálculo de escada	Espessura da laje (cm)	Espessura das paredes (cm)	Desconto de aberturas e vãos
1	Contratante	30	1		15	15 e 20	X
2		30	1		15	10; 15 e 20	X
3		30	2	X	15	10; 15 e 20	X
4	Empresa Alpha	60	2		10	20	
5		60	2		10	20	
6		60	1		15	15	
7		60	1		10	20	
8		60	2		10	20	
9		60	3		20	20	
10		60	2		10	20	
11		60	2		10	20	
12		60	2		10	20	
13		60	1		20	15 e 20	

Fonte: Autoria própria

O emprego do fator de empolamento para RCD é comum nas atividades de demolições, porém, devem ser ampliados os estudos sobre os seus valores e os contextos de aplicação para cada valor.

Durante os levantamentos arquitetônicos verificaram-se uma sucessão de diferenças nas dimensões representadas e em relação aos cômodos não considerados.

Para tanto, foram realizados novos levantamentos arquitetônicos de todas as obras, unicamente pelo próprio autor deste trabalho, no período de 06/01/2017 a 24/03/2017, com auxílio de equipamentos básicos de medição, como trenas de fita ou a laser, e de escrita, para a representação manual, que posteriormente foram repassados para a representação em 2D, com uso do *software* AutoCAD.

Ainda foi realizado o registro fotográfico geral das edificações e de partes específicas, como esquadrias, louças, materiais volumosos e outros.

Não se contabilizou o período de tempo despendido na elaboração dos levantamentos *in loco* das obras, porém, em média, foram realizadas 3 visitas à cada obra para esta finalidade.

Os levantamentos das coberturas foram as maiores dificuldades encontradas principalmente pela restrição dos acessos superior e inferior aos telhados e, em muitas vezes, a indisponibilidade de escadas móveis nas obras.

3.2.2 Atividade 2: Acompanhamento das demolições

O acompanhamento das demolições pode ser dividido em duas subatividades: a “desconstrução rudimentar” e a demolição mecânica com acompanhamento dos RD gerados. A atividade por completo foi desenvolvida no período de 06/01/2017 a 02/05/2017.

Subatividade 1: “Desconstrução Rudimentar”

A “desconstrução rudimentar”, é termo ainda não reconhecido na literatura e proposto por este autor, é a ação de retirada de materiais das construções existente, anteriormente a demolição mecânica, principalmente para fins comerciais de materiais e elementos construtivos, baseada na própria experiência dos profissionais sem se balizar essencialmente nas técnicas da engenharia, principalmente devido à baixa qualificação técnica dos trabalhadores envolvidos.

A desconstrução rudimentar diferentemente do conceito exposto por Kibert et al. (2000) não promove uma desmontagem cuidadosa dos edifícios com planejamento ou sequenciamento lógico, incorrendo na instabilidade estrutural de partes das obras com riscos de acidentes ou perdas financeiras.

O mercado secundário, em Belo Horizonte, de elementos construtivos e peças ou materiais derivados da demolição, se mostra ativo, como por exemplo, portas, janelas, grades, madeiramento de telhados, metais, dentre outros, exemplificados pela Figura 28 referente obras diversas.

Figura 28 – Resíduos de demolição recuperados



Fonte: Autoria própria

As subatividades de desconstrução rudimentar não foram desempenhadas diretamente pela empresa Alpha, e sim, por cinco parceiros comerciais, sendo considerados neste trabalho apenas para simplificação como empresa Beta, que adquiriram a permissão para a retirada dos materiais das obras antes da execução da demolição mecânica, mediante pagamento cujos valores não foram divulgados.

A contabilização dos materiais recuperados iniciou pelo cadastramento dos elementos construtivos nos levantamentos arquitetônicos e a anotação durante a vistoria *in loco*, anterior à demolição mecânica.

A escolha dos materiais e elementos construtivos a serem recuperados, estava respaldada pela projeção de lucratividade na venda dos materiais ou derivado de venda já realizada, sendo balizada pelo prazo estabelecido até a demolição mecânica ou interesse na estocagem dos materiais. Por exemplo, determinadas telhas cerâmicas eram simplesmente estocadas na própria obra, não havendo comprador até a data da demolição, eram simplesmente abandonadas para serem carregadas junto aos demais RD.

Em toda pesquisa apenas uma carga de metais foi comercializada como material para reciclagem, sendo dada maior atenção aos elementos construtivos a serem direcionados para reuso.

Subatividade 2: Demolição mecânica e carregamentos de RD

Anteriormente às execuções das demolições mecânicas foram promovidos pela empresa Beta, os desligamentos de energia elétrica, além das desconexões físicas das edificações que foram demolidas com as edificações vizinhas a fim de se evitar riscos e danos, conforme mostra a Figura 29.

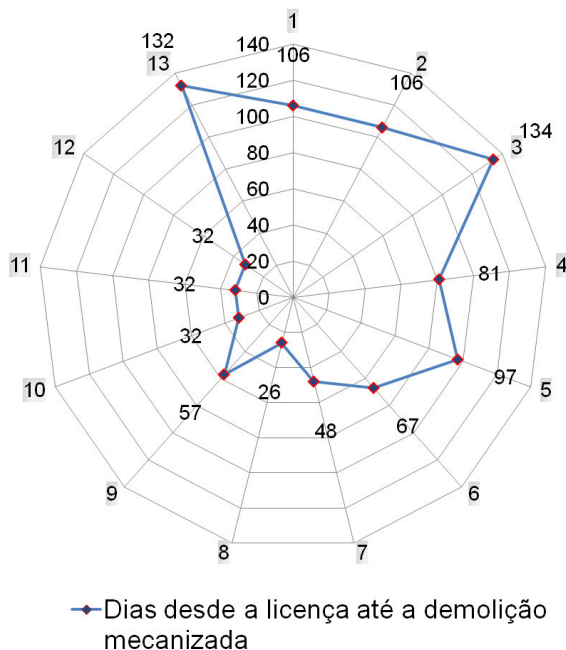
Figura 29 - Desconexões da obra demolida com edificações vizinhas



Fonte: Autoria própria

O período de execução da demolição mecânica foi de 06/02/2017 a 02/05/2017, com uma média de 73 dias entre a concessão da licença até a completa demolição, conforme Figura 30, devido a fatores como, por exemplo: a obra 03 apresentava locação no imóvel (134 dias para a demolição total) e o interesse particular do contratante na demolição da obra 8 (26 dias para a demolição total), dentre outros.

Figura 30 – Período entre a concessão da licença e a demolição total



Fonte: Autoria própria

Para as demolições mecânicas foram alocados equipamentos hidráulicos e o controle de pó e poeira foi promovido em 10 obras, conforme a Tabela 13, com utilização de caminhão pipa.

Tabela 13 - Dias das demolições e Equipamentos Hidráulicos utilizados

Obras	Caminhão pipa	Equipamento hidráulico	Datas das Demolições	Dias de Carregamento de RD
1	Sim	EH-11 HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	15/03/2017	1
2				
3	Não	EH-26 - KOMATSU PC 160-LC	12/04/2017	2
4	Sim	EH-17 - HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	27/03/2017	2
5	Sim	EH-17 - HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	07/03/2017	6
6	Sim	EH-11 HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	24/03/2017	4
7	Não	EH-26 - KOMATSU PC 160-LC	28/03/2017	2
8	Não	TOR-016 - KOMATSU PC 200-LC	06/02/2017	2
9	Sim	EH-11 HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	22/03/2017	2
10	Sim	TOR-016 - KOMATSU PC 200-LC // EH-11 HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	14 a 18/02/2017	7
11				
12				
13	Sim	EH-11 HYUNDAI-ROLEX -210-LC7	02/05/2017	2
Total de dias de equipamento hidráulico alocado				30

Fonte: Autoria própria

O autor desta pesquisa, durante a execução das demolições, verificou inúmeras causas de atrasos, paralisações dos serviços de demolição e carregamento dos caminhões, sendo o único fator imprevisível, item (a) da Tabela 14, correspondendo às condições climáticas adversas como a recorrência de chuvas, que além de diminuir a visibilidade e proporcionar riscos na operação do equipamento hidráulico, potencializaram os riscos de queda de materiais e dos motoristas na atividade de se cobrir a carga com lonas.

Os impactos derivados da sequência de chuvas foram diretos nas obras 4, 7 e 8, para as atividades de demolição mecânica e carga, que causaram ainda mais atrasos pela impossibilidade de acesso aos aterros de

inertes que apresentaram caminhos de acesso intransitáveis, sendo necessário o adiamento das atividades.

Tabela 14 - Causas de atrasos e paralisações de serviços de demolição e carregamento de caminhões nas obras pesquisadas

Item	Causas de atrasos e paralisação de serviços	Impactos sobre Serviços de Demolição Mecânica	Impactos sobre Serviços de Carga de Caminhões	Ocorrência nas obras	Previsibilidade da causa de atrasos e paralisação de serviços
(a)	Condições climáticas adversas às atividades de demolição, carga e descarga	0	0	4, 7, 8	Imprevisível
(b)	Falta de comunicação entre os interessados	0	0	Todas	Previsível
(c)	Planejamento logístico ineficiente	0	0	4, 6, 7, 10, 11, 12	Previsível
(d)	Paralisação ordenada pelo contratante	0	0	7, 9, 10, 11, 12	Previsível
(e)	Danos sobre sistemas públicos de energia, água e esgoto	0	0	4, 7, 10, 11, 12	Previsível
(f)	Impossibilidade de trabalho devido às festas, eventos ou outros	0	0	10, 11, 12	Previsível
(g)	Desconhecimento do projeto pelo operador do equipamento hidráulico	0		Todas	Previsível
(h)	Insuficiência de detalhamento de materiais no projeto de demolição	0		Todas	Previsível
(i)	Ausência de etapas executivas no plano ou projeto de demolição	0		Todas	Previsível
(j)	Abastecimento ou manutenção de equipamento hidráulico	0		8, 10, 11, 12	Previsível
(k)	Inadequação de prazo Equipes trabalhando sob pressão	0		4, 5, 8, 12	Previsível
(l)	Indefinição quanto ao escopo do projeto	0		6, 8, 13	Previsível

Fonte: Autoria própria

As demais causas de atrasos e paralisações foram consideradas previsíveis com real possibilidade de eliminação, como por exemplo, os itens (b) ao (f) da Tabela 14, que resultaram em interrupções tanto nas atividades de demolição quanto de carga, na maioria das obras, devido principalmente a baixa eficiência na comunicação entre os *Stakeholders* associada à inadequação do planejamento logístico.

A falha comunicativa e o inadequado planejamento resultaram em longos períodos inoperantes do equipamento hidráulico ou dos caminhões derivados da falta ou excesso de caminhões disponíveis para carga, das paralisações ordenadas pelo contratante devido à ineficiência na minimização da geração do pó e poeira, dos danos causados sobre os sistemas públicos de água e esgoto e a impossibilidade de trabalho devido às festas ou eventos, como por exemplo, o Carnaval.

A sequência dos itens de (g) a (i) da Tabela 14 extrapolam a preocupação com atrasos e paralisações nas obras, uma vez que atribui uma responsabilidade adicional ao operador do equipamento hidráulico que estabelece as etapas de demolição das obras, sem o conhecimento do projeto de demolição e balizado pela sua experiência profissional.

O item (j) considera o abastecimento ou manutenção do equipamento hidráulico em horário com previsão de operação, causando o acúmulo de caminhões em espera. A prática de manutenções periódicas nos equipamentos hidráulicos tornaria previsível, na maioria dos casos, a necessidade de troca de peças ou consertos.

Os atrasos decorrentes das atividades de retirada de materiais servíveis, pela empresa Beta, resultaram consequentemente no adiamento das demolições mecânicas, item (k) da Tabela 14.

O item (l) da Tabela 14 corresponde à indefinição do escopo do projeto de demolição, bastante discutido entre os contratantes e a empresa Alpha. Os limites entre a demolição e a terraplenagem não se mostram bem definidos, sendo considerados pela fiscalização, como o nível mais baixo dos pisos

acabados, nem sempre compreendido pelos contratantes, que consideram, por exemplo, o nível do passeio externo.

As figuras 31 e 32 exemplificam obras com vários níveis de piso, Obras 4, 5, 10, 11 e 12, além disso, as obras 8 e 9, resultaram em discussão quanto ao escopo de rebaixamento do piso, considerado pela empresa Alpha como serviço adicional de terraplenagem. Pela imagem da obra 5, Figura 32b, verifica-se o desnível do piso acabado da obra em relação a via pública.

Figura 31 - Vários níveis de pisos



Fonte: Autoria própria

Figura 32 - Vários níveis de pisos de obra e indefinições quanto o escopo da obra



Fonte: Autoria própria

Na maioria das obras também foram verificados riscos ambientais, de acidentes ou danos a terceiros, como por exemplo: a possibilidade de alteração de escolha dos aterros de inertes a serem destinados os RD, a ineficiência de sistema de proteção aos transeuntes, a sobrecarga dos

caminhões com possibilidade de queda dos RD e a ineficácia do combate ao pó/poeira, conforme mostrado na Figura 33.

Figura 33 - Exemplos de riscos ambientais, de acidentes ou danos a terceiros



Fonte: Autoria própria

Foram contadas pelo autor 299 cargas referentes as 13 obras, sendo que as destinações finais dos RD, em alguns casos, divergiam do estabelecido no licenciamento municipal, ou seja, a escolha dos aterros eram definidas pelos responsáveis técnicos e caminhoneiros apenas no momento dos carregamentos baseados em análises de custo, de trafegabilidade dos acessos e de horário de funcionamento dos aterros.

O modelo das fichas de acompanhamento das cargas, conforme exemplifica a Tabela 15, foi elaborado pelo próprio autor a fim de facilitar a identificação da obra tratada, apresentando um cabeçalho com identificação do número da licença, datas de concessão e validade, ainda, campos referentes à obra como: localização e descrição básica da edificação. Por último, contém campos sobre o início e fim das atividades de demolição.

Tabela 15 - Cabeçalho das fichas de acompanhamento das cargas de RD

FICHA DE CARREGAMENTO DE DEMOLIÇÃO						DATA:	07/02/2017
Licença nº:	1170001797	Data de concessão:	11/01/2017	Data de	10/07/2017	Ficha nº:	1
Localização da Edificação:	Rua XXXX-nº000			Denominação:	Residência 02		
Data da demolição	06/02/2017	Início das atividades:	07/02/2017-09:51	Término das atividades:	08/02/2017-14:40		

Fonte: Autoria própria

Os veículos transportadores foram cadastrados por códigos, de acordo com a Tabela 16, sendo anotadas as dimensões e capacidade volumétrica das caçambas, a fim de se quantificar pelo método MVI os volumes gerados de RD por obra.

Tabela 16 - Cadastro inicial dos caminhões e motoristas

VEÍCULO "A" = MOTORISTA	ADILSON-"SÉRGIO REIS"	TELEFONE:		PLACA:	OQD-8351
MODELO	VW-24.280	ANO	2010	COR	BRANCA
PBT(T)	23.000	TARA(T)	9840	VOLUME DA CAÇAMBA:4,8X2,3/1,3	14,352
VEÍCULO "B" = MOTORISTA	Nelson	TELEFONE:		PLACA:	GZA-9811
MODELO	MERCEDES BENZ L1620	ANO		COR	VERMELHA
PBT(T)	22000	TARA(T)	8030	VOLUME DA CAÇAMBA:4,8X2,3/1,27	14,0208
VEÍCULO "C" = MOTORISTA	ANDERSON	TELEFONE:	99972-1618 (DELI)	PLACA:	HSC-6415
MODELO	MERCEDES BENZ L1620	ANO	2004	COR	VERMELHA
PBT(T)	23000	TARA(T)	8030	VOLUME DA CAÇAMBA:4,8X2,3/1,27	14,0208

Fonte: Autoria própria

Na ficha de acompanhamento das cargas constam campos de preenchimento para cada viagem realizada, como: número da viagem, veículo carregado, horários de chegada à obra, início e término de carga, saída para o aterro e retorno à obra, exemplificados pela Tabela 17.

Tabela 17 - Campos de informações sobre os carregamentos de RD

Tabela 17 - Campos de informações sobre os carregamentos de RD																	
VIAGEM Nº	VEÍCULO	CHEGADA NA OBRA	INÍCIO DE CARGA	TÉRMINO DE CARGA	SAÍDA PARA ATERRAMENTO	RETORNO À OBRA	% CARGA DE RESÍDUOS/VOLUME DA CAÇAMBA					Nº DE CONCHAS					
2	G	07:00	07:54	07:58	08:00	10:17	<50%	50 - 75%	75 - 95%	100%	>100%		10				
FORMA DO MATERIAL EXCEDENTE			MATERIAIS PREDOMINANTES (%)														
ABAULADO	PRISMÁTICO	SEM FORMA	COM ANTEPARO	TELHA	MADEIRA	ESTRUTURA	GESSO	ALVENARIA	PISO	FUNDAÇÃO	TERRA	VIDROS	LOUÇAS	PLÁSTICOS	MOBILIÁRIO	OUTROS DESCRIÇÃO :	
				0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%
				10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%		10%
				20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%		20%
				30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%		30%
				40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%	40%		40%
				50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%		50%
				60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%	60%		60%
				70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%		70%
				80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%		80%
				90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%		90%
				100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%

Fonte: Autoria própria

Demais campos da Tabela 17, referem-se exclusivamente sobre os RD e a carga, sendo eles: % da carga de RD em relação à capacidade nominal da caçamba, o número de conchas do equipamento hidráulico utilizadas no carregamento, o formato do material excedente a altura da caçamba e o percentual de materiais predominantes.

Nenhuma das cargas apresentou a carga de RD abaixo da altura da caçamba, sendo que 159 carregamentos excederam a altura da caçamba dos caminhões, ou seja, cerca de 53% do total.

Quanto ao formato das cargas excedentes, fez-se uma proposição a fim de facilitar a obtenção de dados de RD gerados na 3ª etapa deste estudo, baseado no método de visita direto apresentado por Lau; White e Law (2008). Inicialmente propôs-se 03 formatos para os RD excedentes: abaulado (Figura 34), prismático (Figura 35) e sem forma definida (Figura 36).

Durante os carregamentos verificou-se que todos os caminhões utilizados para carga já apresentavam anteparos de chapa de madeira, para tanto, foram desconsideradas essas marcações nas respectivas fichas, mas considerados no cálculo dos volumes.

Figura 34 - Forma abaulada para os RD carregados



Fonte: Autoria própria

Figura 35 - Forma prismática dos RD carregados



Fonte: Autoria própria

Figura 36 - Sobrecarga sem formato específico



Fonte: Autoria própria

Foram anotadas as alturas das cargas excedentes para o cálculo do volume excedente da 3ª etapa desta pesquisa. Ambas as cargas abauladas e prismáticas foram consideradas como um perfil triangular, sendo que a base do triângulo, no primeiro caso correspondia ao comprimento da caçamba, e

no segundo, a largura da caçamba. Para as cargas sem formato, considerou-se sucessivos amontoados com as formas abaulada ou prismática.

Os percentuais de materiais predominantes nas cargas de cada caminhão foram anotados de maneira expedita, entretanto, devido à ausência de triagem prévia e a grande heterogeneidade dos materiais, associados à acumulação em montes de RD, para sua redução volumétrica e ganho de produtividade nos carregamentos e a contaminação entre os vários materiais triturados, exemplificado pela Figura 37 este autor não considerou significativo os dados para esta pesquisa, não se alterando os dados volumétricos coletados.

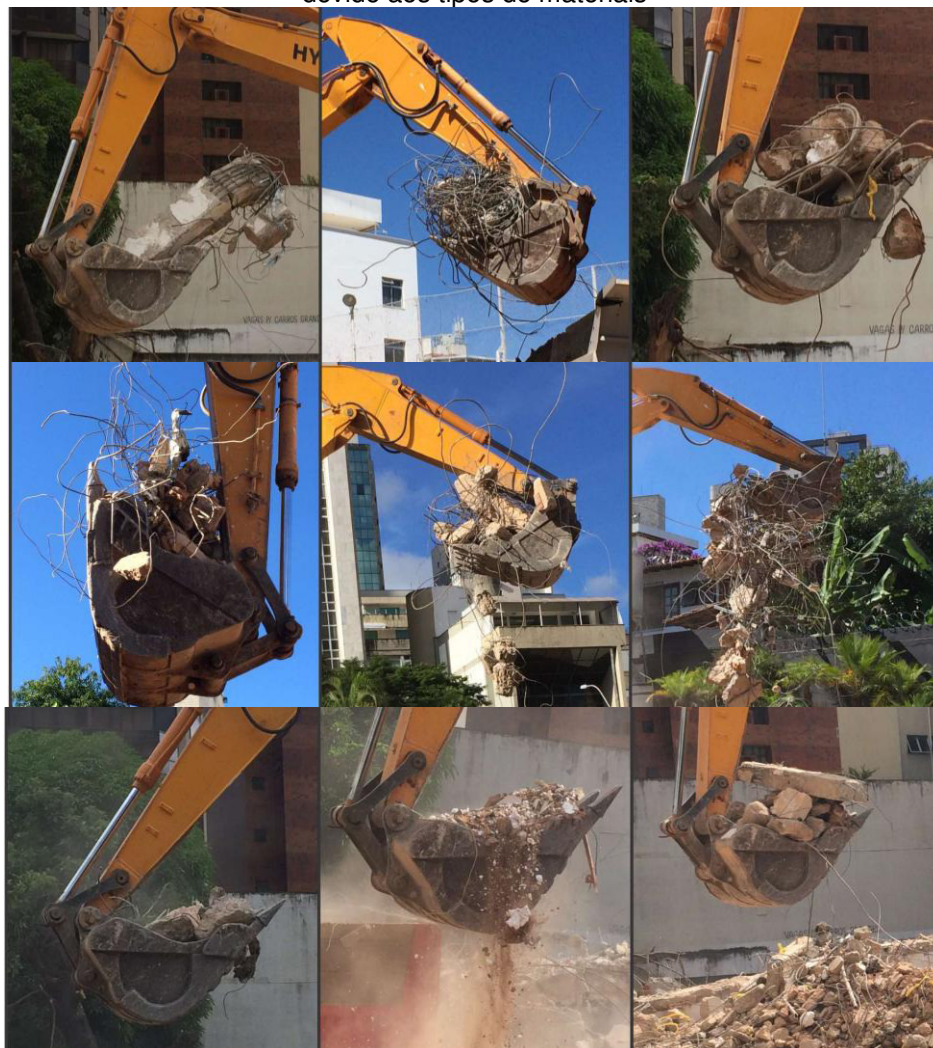
Figura 37 - Heterogeneidade, mistura e contaminação dos RD



Fonte: Autoria própria

Outro campo que não apresentou significância para a pesquisa corresponde ao número de conchas necessárias a cada carga do caminhão, devido a enorme variabilidade de enchimento de cada concha (rasa, parcialmente ou totalmente preenchida, excedente em altura ou fora da concha), por causa do tipo de material coletado (por exemplo: metais, materiais pétreos, galhos, mobiliário), de acordo com a Figura 38.

Figura 38 - Variabilidade de carregamentos de RD com conchas de equipamento hidráulico devido aos tipos de materiais

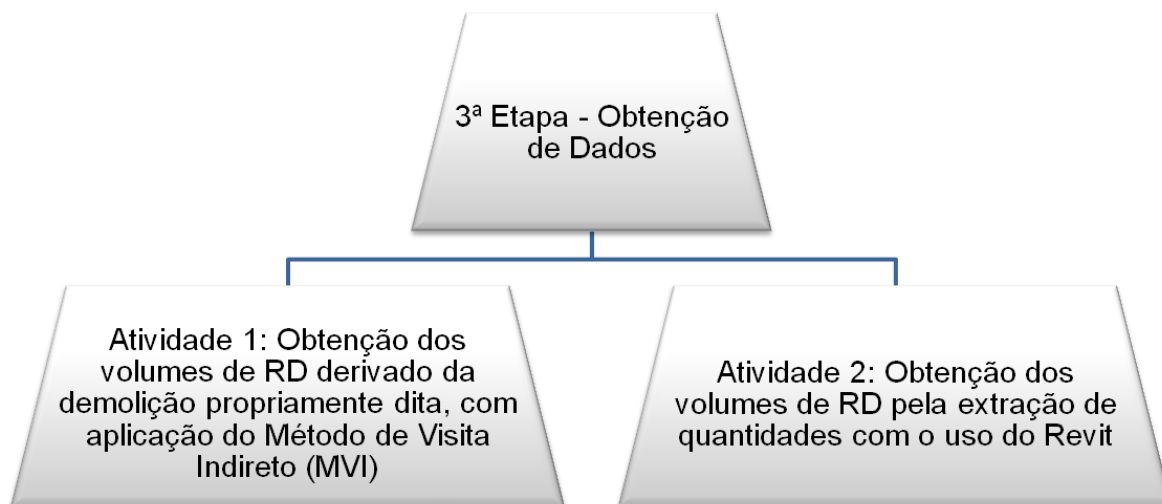


Fonte: Autoria própria

3.3 3ª Etapa: Obtenção de Dados

Esta etapa corresponde à obtenção de dados para a pesquisa pelo cálculo do volume gerado nas demolições com aplicação do Método de Visita Indireto (MVI) e pela extração automática de volumes com utilização do Revit, conforme a Figura 39.

Figura 39 - Atividades realizadas na etapa de obtenção de dados



Fonte: Autoria própria

3.3.1 Atividade 1: Obtenção dos volumes de RD derivado da demolição propriamente dita, com aplicação do Método de Visita Indireto (MVI)

O método de visita indireto (MVI) foi empregado na quantificação volumétrica dos RD gerados a partir da contagem das caçambas dos caminhões multiplicadas pela capacidade individual de carga acrescidas as sobrecargas de cada carregamento.

Os volumes nominais das caçambas correspondem a 6 m³, de acordo com a Figura 40, entretanto, com o uso das tábuas de madeira, os volumes crescem em torno de 133%. A largura e comprimento dos caminhões se mostraram padrões: 2,30 x 4,80 metros, sendo que a altura média considerando-se o fundo da caçamba até a face superior das tábuas era de 1,27 metros, ou seja, a média de capacidade dos caminhões foi de 14,02 m³ desconsideradas as sobrecargas.

Figura 40 - Capacidade volumétrica nominal das caçambas



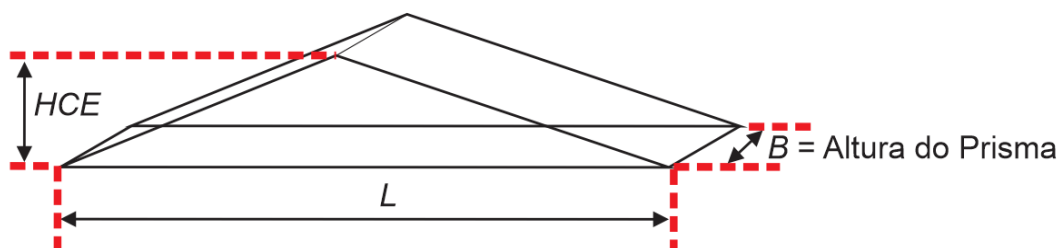
Fonte: Autoria própria

Para o cálculo volumétrico dos RD excedentes com formato abaulados, foram totalizadas todas as alturas excedentes e assumido na anotação um perfil triangular, exemplificada pela Figura 34. Para efeito de cálculo foi considerada a forma de um prisma de base triangular, cuja altura do sólido geométrico corresponde à largura da caçamba do caminhão, elucidada pela Figura 41, de acordo com a seguinte relação (Eq. 6):

$$V_{ea} = (L * HEC/2) * B \quad (6)$$

Onde, V_{ea} corresponde ao volume de resíduo excedente com formato abaulado, L é o comprimento da caçamba; B é a largura da caçamba e HEC representa altura excedente, em metros.

Figura 41 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente em formato abaulado



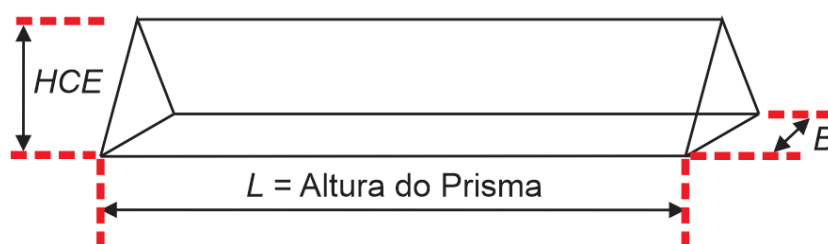
Fonte: Autoria própria

Para as cargas excedentes com formato prismático foi também assumido um perfil triangular, exemplificada pela Figura 35. Para efeito de cálculo foi considerada a também a forma de um prisma de base triangular, cuja altura do sólido geométrico, neste caso, corresponde ao comprimento da caçamba do caminhão, elucidada pela elucidada pela Figura 42, de acordo com a seguinte relação (Eq. 7):

$$V_{ep} = (B * HEC/2) * L \quad (7)$$

Onde, V_{ep} corresponde ao volume de resíduo excedente com formato prismático, L é o comprimento da caçamba; B é a largura da caçamba e HEC representa a altura excedente, em metros.

Figura 42 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente em formato prismático



Fonte: Autoria própria

Apesar das sobrecargas apresentarem diferenciação quanto a sua forma de disposição nas caçambas, abauladas e prismáticas, as fórmulas de cálculo apresentam resultados idênticos, para tanto, foi utilizado à fórmula de cálculo de volume de sobrecarga abaulada (V_{ea}) para ambos.

Para as cargas excedentes sem formato específico, foram assumidos perfis triangulares menores e sucessivos, baseado no cálculo do V_{ea} , a partir do número de montes excedentes, conforme mostra a Figura 43, de acordo com as seguintes relações (Eq. 8) e (9):

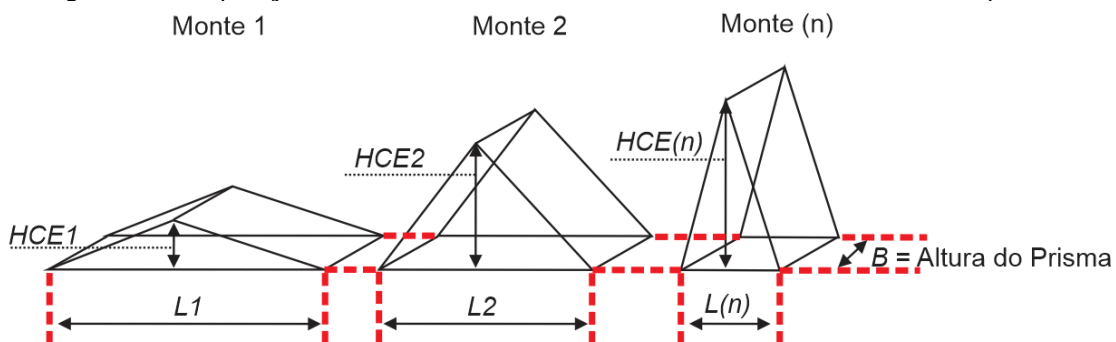
$$V_{sf} = V_{eam1} + V_{eam2} + \dots V_{eam(n)} \quad (8)$$

ou

$$V_{sf} = [(L1 * HCE1) + (L2 * HCE2) + \dots (Ln * HCEn)] * B/2 \quad (9)$$

Onde, V_{sf} corresponde ao volume total de RD excedente e sem formato específico, V_{eam1} , V_{eam2} até $V_{eam(n)}$ os volumes individuais de montes de RD excedentes com formato abaulado, considerando-se a altura do prisma padrão, B , e variáveis os comprimentos ($L1$, $L2$, Ln) e alturas excedentes de cada monte ($HCE1$, $HCE2$, $HCEn$) correspondentes.

Figura 43 - Proposição de cálculo volumétrico de RD excedente sem formato específico



Fonte: Autoria própria

Um exemplo de cálculo do volume total de RD sem extrapolação da capacidade da caçamba corresponde a Tabela 18 referente Obra 8, que resultou em 341,91 m³ de RD.

Tabela 18 - Cálculo de volume total de RD da obra 8 sem a carga excedente

CAPACIDADE CAÇAMBA (m³)		14,35	14,02	14,02	14,02	15,46	14,13	14,13	14,13	13,69	14,13	14,68	13,58
VIAGEM	VEÍCULO	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	A	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	G	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	H	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
4	D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	F	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	I	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	G	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
14	C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	F	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
16	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
18	L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
19	D	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
20	G	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
21	C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	F	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
23	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL DE VIAGENS POR VEÍCULO		1	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
TOTAL GERAL DE VIAGENS		24											
VOLUME POR CAPACIDADE 100% (m³)		14,35	42,06	42,06	42,06	46,37	42,39	42,39	14,13	13,69	14,13	14,68	13,58
(A)- VOLUME TOTAL POR CAPACIDADE 100% (m³)		341,9088											

Fonte: Autoria própria

O cálculo do volume das cargas excedentes está exposto na Tabela 19, bem como o volume total de RD gerado na obra 8.

Tabela 19 - Cálculo de volume de RD excedente a altura da caçamba e volume total de RD gerado para a obra 8

VOLUME EXCEDENTE FORMAS ABAULADO OU PRISMÁTICO						
FORMATO	Altura excedente (cm)				Altura acumulada(m)	Volume adicional (m³)
ABAUADO	20+10+15				0,45	2,48
PRISMATICO	12+10+5+30+25+25+20+12+20+20+35+20+20				2,54	14,02
(B) Volume adicional prismático e abaulado total (m³)						16,50
VOLUME EXCEDENTE SEM FORMA						
SEM FORMA	Carga 8					Volume adicional (m³)
	HEC1 (m)	L1 (m)	HEC2 (m)	L2 (m)	B (m)	
	0,40	2,40	0,50	2,40	2,30	
(C) Volume adicional sem forma total (m³)						2,48
(D) = (C) + (B) Volume adicional total (m³)						18,99
(A) Volume total por capacidade 100% (m³)						341,91
(A + D) Volume total de RD Gerado (m³):						360,90

Fonte: Autoria própria

3.3.2 Atividade 2: Obtenção dos volumes de RD pela extração de quantidades com o uso do Revit

Esta etapa é fundamental para esta pesquisa uma vez que a partir dos elementos modelados e inseridos no projeto é possível realizar a extração dos volumes de RD, contudo, este autor não deseja apresentar um tutorial sobre modelagem em 3D com o Revit.

O *software* utilizado foi o Revit 2017 - Autodesk licenciado como versão estudantil, na sua versão padrão em português brasileiro, com validade da licença até setembro de 2018 e número de série: 900-77102993.

Para a modelagem 3D das edificações foram utilizadas principalmente as famílias pré-configuradas disponibilizadas no pacote de instalação do *software* Revit ou outras carregadas em sítios eletrônicos diversos.

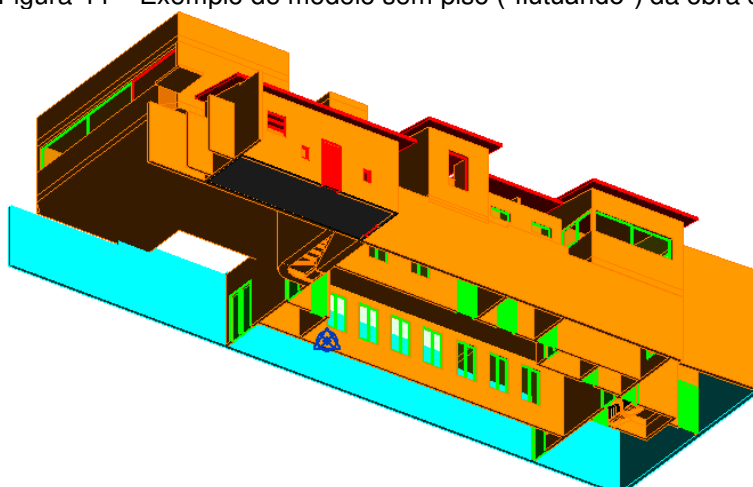
A modelagem 3D considerou apenas a disciplina arquitetura com algumas premissas:

- pré-definição da altura do piso, considerando-se a indefinição entre os escopos da demolição e de terraplenagem;
- desconsideração da modelagem das instalações hidrossanitárias, elétricas, de dados e climatização;
- consideração apenas dos principais níveis das edificações;
- consideração das espessuras das paredes acabadas e nível de precisão em centímetros.

Em relação à primeira premissa, foi considerado como o praticado pela empresa Alpha, ou seja, o limite corresponde ao piso acabado em seu nível inferior a cada cômodo. Atenta-se que a demolição mecânica incondicionalmente acarreta dano físico ao piso, que eventualmente agrega o volume de RD.

Para tanto, a fim de facilitar a modelagem e não permitir que o modelo apresente-se sem base, ou seja, “flutuando” e tornar o modelo e a quantificação mais aderente possível com a edificação demolida, foi considerado neste trabalho um piso genérico de 1 centímetro de espessura, conforme a Figura 44, correspondendo ao volume 43,88m³ de RD no total das 13 obras.

Figura 44 – Exemplo de modelo sem piso (“flutuando”) da obra 3



Fonte: Autoria própria.

Quanto à segunda premissa, as instalações hidrossanitárias, elétricas, de dados e climatização não foram consideradas na modelagem uma vez que, segundo dados apresentados na revisão teórica, correspondem a uma ínfima representatividade volumétrica em relação aos RD da Classe A, de acordo com a Resolução nº 307 do CONAMA (BRASIL, 2002).

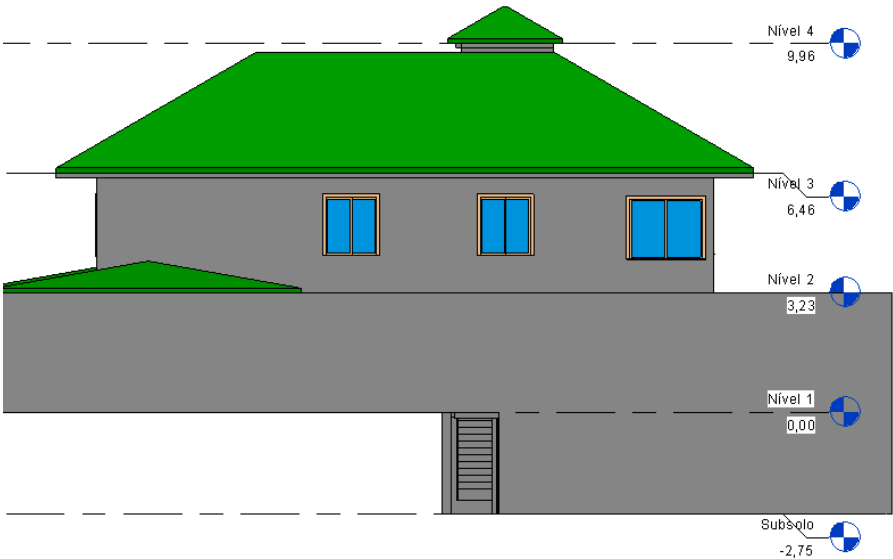
Além disso, se justifica a dispensa de modelagem destes sistemas pela necessidade de utilização de outro *software* de modelagem mecânica, elétrica e de instalações, como por exemplo, o Revit MEP.

Em complementação, a ocorrência de inúmeras modificações, adequações e reformas suportadas pelas construções até o final do seu ciclo de vida acrescentam maiores incertezas sobre a existência e as dimensões dos elementos destes sistemas que se encontram embutidas principalmente nas alvenarias, pisos e estruturas de concreto, que inclusive podem sofrer redução volumétrica derivado da demolição mecânica, por exemplo: tubos de PVC e conduítes plásticos.

Outra premissa refere-se à definição e inserção dos níveis, que baseia toda a atividade de modelagem, pois, tratam-se dos planos horizontais nos quais se assentam e referenciam a inserção das demais famílias, podendo ser alterados, acrescidos ou excluídos, com extrema facilidade no decorrer da modelagem.

Além disso, dentro do conceito paramétrico podem ser atrelados aos demais elementos de projeto, cuja alteração dos níveis pode refletir nas propriedades dos elementos de projeto vinculados. Para tanto, foram apreciados apenas os principais níveis das edificações dispensando a diferenciação dos níveis entre os ambientes, ou seja, pela pesquisa foram modelados em apenas 5 níveis principais: Subsolo, 1º ao 4º nível, de acordo com cada obra, exemplificado pela Figura 45, correspondente a Obra 9.

Figura 45 - Modelo de projeto com níveis principais, Obra 9



Fonte: Autoria própria.

A última premissa trata-se da modelagem propriamente dita da família de parede arquitetônica que apresentava inúmeras variações de espessuras e combinações de acabamentos, como por exemplo, a obra 6, exemplificada pela Tabela 20, que apresentou 15 combinações diferentes de revestimentos e 13 espessuras diferentes.

Tabela 20 - Combinações de acabamentos e espessuras de paredes da Obra 6

Paredes	Espessura(cm)	Acabamento externo	Acabamento interno
PAR 1	11,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 2	13,50	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 3	14,50	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 4		Reboco+pintura	Cerâmica
PAR 5	18,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 6	19,00	Cerâmica	Cerâmica
PAR 7	20,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 8	21,00	Textura	Reboco+pintura
PAR 9	23,00	Reboco+pintura	Cerâmica
PAR 10	24,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 11	27,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 12	28,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 13	29,00	Reboco+pintura	Cerâmica
PAR 14	31,00	Reboco+pintura	Reboco+pintura
PAR 15		Reboco+pintura	Cerâmica

Fonte: Autoria própria

Para tanto, este autor considerou dispensável a inserção dos acabamentos das paredes na modelagem, pois, entende que os levantamentos das espessuras das paredes já os consideravam.

As plantas baixas apresentadas pela empresa Alpha e pela contratante apresentaram simplificada e 3 espessuras de paredes: 10, 15 e 20 cm, os quais balizaram os volumes licenciados pela PBH.

Diante da complexidade e inviabilidade de se precisar a real espessura das paredes, considerou-se para efeito de simplificação e sem prejuízo na extração dos volumes, a precisão ao nível dos centímetros, com arredondamento para baixo ou para cima, sempre com o intuito de minimizar os tipos de paredes. Como exemplo, pela Tabela 21, as paredes PAR 2, 3 e 4, foram consideradas com uma única espessura de 14 centímetros e sem definição dos acabamentos.

Tabela 21 – Homogeneização das espessuras de paredes com acabamentos interno e externo, em centímetros

Paredes	Espessura(cm)
PAR 1	11
PAR 2	14
PAR 3	
PAR 4	
PAR 5	18
PAR 6	19
PAR 7	20
PAR 8	21
PAR 9	23
PAR 10	24
PAR 11	27
PAR 12	28
PAR 13	29
PAR 14	31
PAR 15	

Fonte: Autoria própria

A partir destas premissas estabeleceu-se a configuração dos elementos paredes básicas genéricas para modelagem de todas as paredes, independente dos materiais constituintes e acabamentos.

Para a inserção dos demais elementos de projeto no REVIT optou-se de forma inicial aos componentes da própria biblioteca do *software*, seguido pelo carregamento de famílias disponíveis em sítios eletrônicos especializados, como: Revit city, BIM Object, BIM Box, dentre outros, e por último, na criação de elemento pelo autor.

A modelagem digital buscou a máxima utilização de elementos de projeto em nível de desenvolvimento mínimo, ND ou LOD 300, por permitir a verificação das dimensões, formas, orientação e quantidades, ciente da impossibilidade de determinação de um único nível de desenvolvimento para todo o modelo.

A base para as modelagens foram os levantamentos arquitetônicos elaborados por este autor, complementados pelas informações coletados durante o acompanhamento das demolições.

As plantas baixas de todas as edificações foram elaboradas utilizando a metodologia tradicional, ou seja, em 2D, com auxílio de *software* Autocad 2017 – Autodesk que serviram de base para a modelagem 3D no Revit.

Foram estabelecidos dois parâmetros de projeto visando à tabulação, classificação e filtragem de dados de todos os elementos construtivos, por instância (objetos unitários presentes no modelo em nível mais elementar), sendo configurados anteriormente à modelagem 3D.

O Parâmetro 1 ou elementos não contabilizados, foi criado para fazer correspondência aos elementos que não foram modificados durante a demolição, ou seja, permaneceram intactos por interesse do contratante, por exemplo: muros e edículas ou porque correspondiam ao escopo de terraplenagem, como alguns pisos e muros de arrimo. Este parâmetro foi configurado como formato de número inteiro, com atribuição do valor 2, aos elementos não contabilizados.

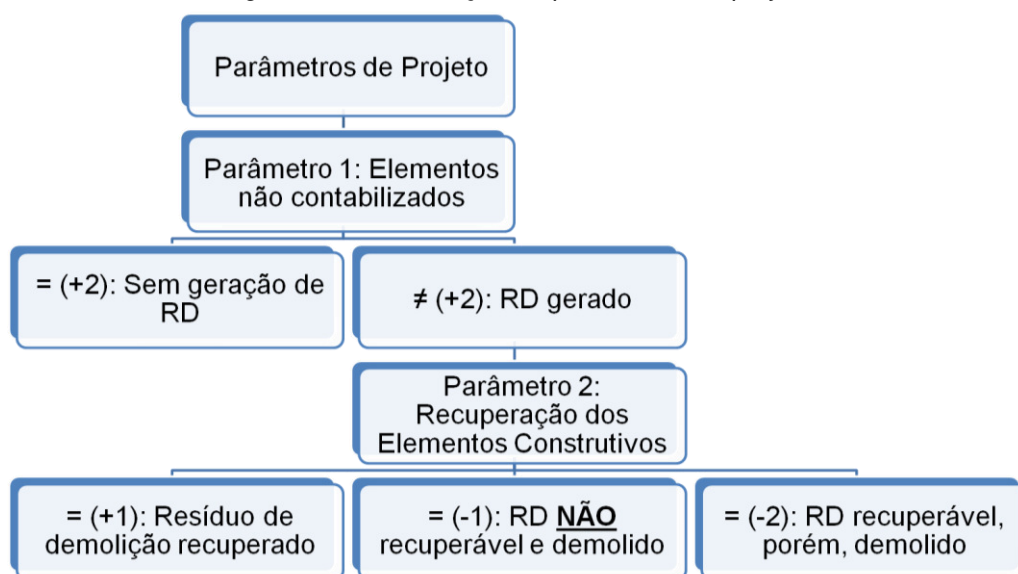
O outro parâmetro de projeto foi criado com a seguinte denominação: Recuperação de Elementos RD/RDR, considerado para fins de simplificação apenas como Parâmetro 2, que permite classificar as informações sobre os

RD sob três perspectivas, considerando que o tipo de dados a serem inseridos no campo de parâmetro de projeto do software corresponde a um número inteiro:

- Número inteiro negativo (-2): RD recuperável e demolido;
- Número inteiro negativo (-1): RD não recuperável e demolido;
- Número inteiro positivo (+1): RDR – Resíduo de demolição recuperado.

A combinação de filtros para os dois parâmetros de projeto considerou o Parâmetro 1 como o principal, conforme a Figura 46.

Figura 46 - Combinação de parâmetros de projeto



Fonte: Autoria própria

A partir desta combinação de parâmetros é proposto que a extração de volumes apresente resultados específicos de encontro com os objetivos deste estudo.

Considerando-se apenas os RD gerados, ou seja, cujo filtro para o Parâmetro 1 corresponda a: $\neq +2$, é possível destacar 04 extrações

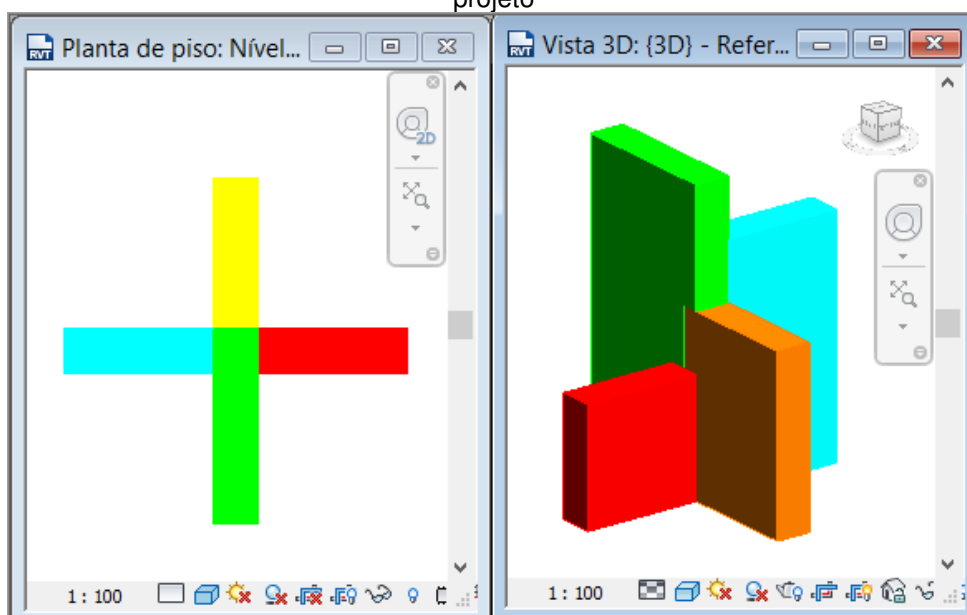
automáticas de volumes diferentes a partir dos filtros sobre o Parâmetro 2, quais sejam:

1. Volumes totais das edificações: Sem aplicação de filtro adicional no Parâmetro 2, consideram todos os RD gerados inclusive os retirados pela empresa Beta.
2. Volumes totais descontados os RDR, ou seja, os Resíduos não recuperáveis somados aos resíduos recuperáveis, porém, demolidos; resultante da aplicação de filtro no Parâmetro 2, com a notação: $\neq +1$.
3. Volumes totais apenas dos elementos recuperáveis, porém, demolidos; resultante da aplicação de filtro no Parâmetro 2, com a notação: igual a -2.
4. Volumes totais dos elementos recuperados devido aos serviços da empresa Beta, resultante da aplicação do filtro no Parâmetro 2, com a notação: igual ao valor +1.

Ampliando as configurações para a extração das quantidades, foram utilizados filtros de visibilidade, a fim de facilitar, na atividade da modelagem, a identificação dos elementos de projeto com os seus respectivos parâmetros.

Uma vez configurados os filtros, inicia-se a modelagem propriamente dita, considerando-se as cores para cada elemento, por exemplo, na Figura 47, são mostradas quatro paredes, cada uma com seu filtro correspondente, nas pranchas de piso e em vista 3D.

Figura 47 – Aplicação de filtros de visibilidade com cores distintas para cada parâmetro de projeto



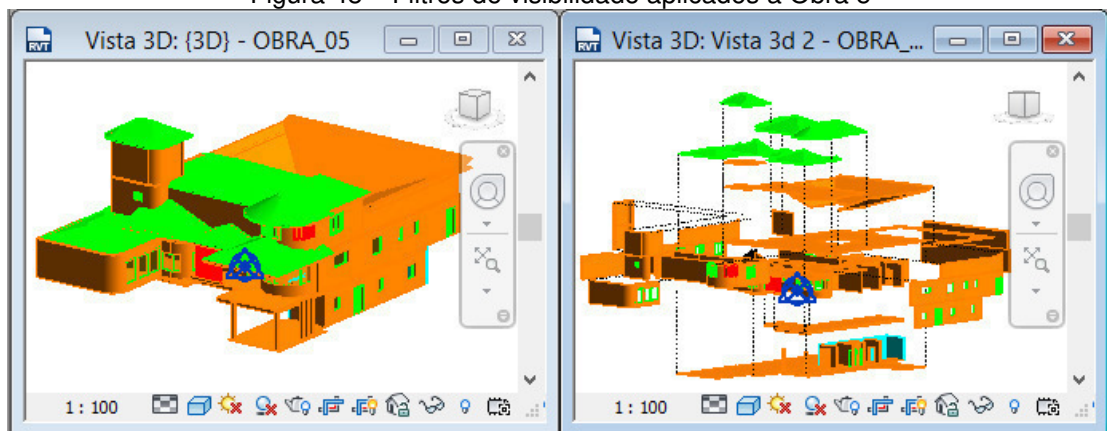
Fonte: Autoria própria

A modelagem 3D no Revit seguiu a ordem de dependência dos elementos, ou seja, somente foram utilizadas as famílias de janelas e portas quando já se havia modelado os respectivos hospedeiros, neste caso, as paredes. No Apêndice constam a modelagem de todas as obras.

Apresentada as premissas para a modelagem e configurações de projeto e filtros, a Figura 48 mostra a modelagem da obra 5, considerando os filtros de visibilidade, assim sendo:

- Cor Laranja – Elementos não recuperáveis e demolidos;
- Cor Verde – Elementos recuperados;
- Cor Vermelha – Elementos recuperáveis, porém, demolidos;
- Cor Cyan – Elementos não contabilizados.

Figura 48 – Filtros de visibilidade aplicados à Obra 5



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados analisados e comparados os volumes licenciados pela PBH com os resultados obtidos nas quantificações dos volumes a partir do método do MVI e pelo Revit.

Diante dos totais volumétricos alcançados, os valores foram relacionados com o *Gross Floor Area* – GFA, ou Área de Piso Total, a fim de se estabelecer pela aplicação do MCTG, as relações de volume/área alcançadas nas 3 estimativas, sendo comparada com referências presentes na literatura.

4.1.1 Volumes totais de RD calculados pelo método de MVI

O volume total de RD carregado em cada obra, baseado no cálculo pelo método de MVI, é apresentada na Tabela 22, sendo 4.406,34 m³, o volume total acumulado de RD nas 13 obras.

Tabela 22 - Volume estimado pelo Método de Visita Indireto (MVI) por obra pesquisada e total

Obras	Volume estimado MVI (m ³)
1, 2, 3	644,13
4	436,80
5	607,72
6	142,69
7	188,12
8	360,90
9	371,99
10, 11, 12	1371,89
13	282,10
Volumes total estimado pelo MVI (m ³)	4406,34

Fonte: Autoria própria

4.1.2 Volume totais de RD pela extração de quantidades com uso do software Revit

Os resultados filtrados por parâmetros de projeto no REVIT e compilados no Excel são apresentados pela Tabela 23, com respectivos totais.

Tabela 23 - Volumes gerados pela demolição das obras e respectivos totais sem empolamento

Obras	Elementos não contabilizados (m³)	Elementos totais do REVIT (m³)	Resíduos de demolição Recuperados (m³)	Resíduos não recuperáveis + Resíduos recuperáveis, porém, demolidos (m³)	Resíduos recuperáveis e demolidos (m³)
1	26,06	132,35	28,18	104,17	0,65
2	30,02	111,74	21,45	90,29	0,05
3	26,69	264,37	9,32	255,05	24,17
4	56,93	295,24	4,34	290,9	2,72
5	15,76	457,68	49,68	408	0,61
6	85,55	107,73	1,84	105,89	0,03
7	42,59	144,76	2,79	141,96	0
8	94,97	238,68	32,54	206,14	0,18
9	61,03	252,36	41,75	210,61	0
10	49,91	434,27	3,02	431,25	0,34
11	9,55	470,29	29,44	440,85	24,03
12	67,96	180,46	24,19	156,27	0
13	22,25	200,44	30,14	170,3	0,06
Totais(m³):	589,27	3290,37	278,68	3011,68	52,84

Fonte: Autoria própria

Verifica-se que 10 obras apresentaram volumes de elementos recuperáveis e demolidos abaixo de 1 metro cúbico, sendo que 2 obras apresentaram quantitativos acima de 24 m³, representando mais de 90% do total. A justificativa para estes valores discrepantes se deu pelo prazo insuficiente para a desconstrução das edificações pela empresa Beta, uma vez que a execução da demolição mecanizada não poderia ser protelada.

O volume total de RDR foi de $278,68\text{m}^3$, sendo que apenas para facilitar o entendimento da relevância do mercado secundário de materiais de demolição para o meio ambiente, foram recuperados cerca de 20 caminhões com volume médio de $14,02\text{m}^3$.

O volume total de elementos não contabilizados como RCD foi de $589,27\text{m}^3$, correspondendo principalmente aos muros divisórios e de arrimo que não fizeram parte do escopo das demolições.

O volume total dos resíduos de demolição gerados a partir da modelagem com uso do Revit correspondeu a $3.290,37\text{m}^3$.

4.2 Comparação entre os resultados de quantificação de volumes: Revit x Licença PBH x Gerados (MVI)

A partir da constatação de que o volume licenciado da obra 6 superava o dobro do volume estimado pelo MVI foi identificado um erro no cálculo do volume licenciado, que apontava uma área total de laje igual a $763,01\text{m}^2$, sendo o correto de acordo com as diretrizes utilizada pela empresa Alpha, uma área de $315,88\text{m}^2$, com espessura de 15 centímetros, resultando em um volume de laje igual a $47,38\text{m}^3$, que somados aos volumes das alvenarias de $76,88\text{m}^3$, perfazem um volume total de $124,26\text{m}^3$, a ser considerado no desenvolvimento deste trabalho, e não, $306,13\text{m}^3$ conforme o licenciado.

Foi constatado que os volumes estimados de geração de RD pelo método de visita indireto extrapolam os quantitativos totais inicialmente licenciados junto a PBH, em cerca de 10%, ou seja, $435,28\text{m}^3$, ou seja, em 5 de 9 licenças, (conjunto de obras 1 a 3 e 10 a 12 e obras isoladas 4, 5 e 7), porém, não foi verificada qualquer medida administrativa municipal face a esta irregularidade, neste caso, considerando que a licença da obra 6, mesmo com a incorreção, abrange o volume de RD gerado nesta obra.

Os volumes licenciados, coluna (A) da Tabela 24, correspondem aos cálculos realizados pela Empresa Alpha e pela contratante, a partir da

representação em 2D, com aplicação de fatores de empolamento de 60% e 30%, respectivamente. Nas colunas (C) e (D) da mesma tabela, foram aplicados os mesmos fatores de empolamento utilizados para o licenciamento, respectivos a cada obra para os volumes extraídos pelo Revit.

Tabela 24 - Volumes estimados por diferentes métodos de quantificação de RD

Obras	(A) Volume Licenciado a partir de representação em 2D (m³)	(B) Volume estimado MVI (m³)	(C) Volume extraído pelo Revit (m³)	(D) Resíduos não recuperáveis + Resíduos recuperáveis, porém, demolidos (m³)
1, 2, 3*	419,93	644,13	661,00	584,36
4**	404,92	436,80	472,38	465,44
5**	513,40	607,72	732,29	652,80
6**	124,26***	142,69	172,37	169,42
7**	181,76	188,12	231,62	227,14
8**	385,16	360,90	381,89	329,82
9**	454,72	371,99	403,78	336,98
10, 11, 12**	1014,64	1371,89	1736,03	1645,44
13**	290,40	282,10	320,70	272,48
Totais (m³)	3789,19	4406,34	5112,05	4683,88

*Fator de empolamento das obras 1, 2 e 3 igual a 30%

**Demais obras: Fator de empolamento igual a 60%

***Volume de RD com correção devido a erro material.

Fonte: Autoria própria

A diferença percentual por obra individual atinge 43% no caso da obra 5, e maiores diferenças quando se tratam de um conjunto de obras com uma única licença, como exemplo das obras 10, 11 e 12, apresentando 71%, conforme mostrado na Tabela 25, comprovando diferenças significativas entre os resultados alcançados pelo uso dos métodos de quantificação a partir da representação em 2D, coluna (A) da Tabela 25 e com o uso do Revit, coluna (B) da mesma tabela.

Tabela 25- Diferenças entre volumes de RD a partir da representação em 2D e pelo Revit

Obras	(A) Volume Licenciado a partir de representação em 2D (m³)	(B) Volume extraído pelo Revit (m³)	Diferenças percentuais
10, 11,12**	1014,64	1736,03	71%
1, 2, 3*	419,93	661,00	57%
5**	513,40	732,29	43%
6**	124,26***	172,37	39%
7**	181,76	231,62	27%
4**	404,92	472,38	17%
9**	454,72	403,78	-11%
13**	290,40	320,70	10%
8**	385,16	381,89	-1%

*Fator de empolamento das obras 1, 2 e 3 igual a 30%

**Demais obras: Fator de empolamento igual a 60%

***Volume de RD com correção devido a erro material

Fonte: Autoria própria

Pela Tabela 26 verifica-se também que os maiores distanciamentos entre a quantificação RD a partir da representação em 2D e pelo MVI também correspondem ao conjunto de obras associadas a uma única licença, apresentando diferenças de até 51%, que se justifica pela desconsideração dos muros de divisas demolidos nos cálculos para os licenciamentos.

Tabela 26 - Diferenças percentuais de quantificação de RD a partir de representação em 2D e o volume estimado pelo MVI

Obras	(A) Volume Licenciado a partir de representação em 2D (m³)	(B) Volume estimado MVI	Diferenças percentuais entre (A) e (B)
<u>1, 2, 3*</u>	419,93	636,12	<u>51%</u>
<u>10, 11, 12**</u>	1014,64	1400,90	<u>38%</u>
5**	513,40	614,65	20%
6**	124,26***	145,18	17%
9**	454,72	377,79	-17%
7**	181,76	204,13	12%
4**	404,92	380,05	-6%
8**	385,16	360,79	-6%
13**	290,40	283,00	-3%

*Fator de empolamento das obras 1, 2 e 3 igual a 30%

**Demais obras: Fator de empolamento igual a 60%

***Volume de RD com correção devido a erro material.

Fonte: Autoria própria

A comparação entre os volumes estimados de RD pelo MVI, coluna (A) da Tabela 27, com os volumes, extraídos pelo Revit, de RD não recuperáveis somados aos recuperáveis, porém demolidos, coluna (B) da mesma tabela mostram diferenças percentuais não padronizadas no intervalo de 3 a 21%, indicam incertezas quanto aos valores de fator de empolamento a ser utilizado em cada obra, uma vez que são apresentadas mesmas diferenças percentuais de 9% para obras com aplicação de distintos fatores de empolamento, por exemplo: de 30% para as obras 1 a 3 e de 60%, obras 8 e 9.

Tabela 27 - Diferenças percentuais entre os volumes estimados em MVI e pelo Revit

Obras	(A) Volume estimado MVI (m³)	(B) Resíduos não recuperáveis + Resíduos recuperáveis, porém, demolidos (m³)	Diferenças percentuais entre (A) e (B)
7**	188,12	227,14	21%
10, 11, 12**	1371,89	1645,44	20%
6**	142,69	169,42	19%
1, 2, 3*	644,13	584,36	-9%
8**	360,90	329,82	-9%
9**	371,99	336,98	-9%
4**	436,80	465,44	7%
5**	607,72	652,80	7%
13**	282,10	272,48	-3%
Totais	4406,34	4683,88	6%

*Fator de empolamento das obras 1, 2 e 3 igual a 30%

**Demais obras: Fator de empolamento igual a 60%

Fonte: Autoria própria

A diferença percentual total entre os volumes estimados pelo MVI e pelo Revit para os RD não recuperáveis e os recuperáveis, porém, demolidos, conforme mostrado na Tabela 27, foi de 6%, ou seja, uma diferença total menor do que os 10% verificados entre os volumes estimados pelo MVI e pelo método constante do licenciamento da PBH, baseado na representação em

2D, cujo percentual seria ainda maior se fossem desconsiderados os materiais recuperados e a correção no licenciamento da obra 6.

Foram verificados na literatura variados fatores de empolamento para RCD geral ou de acordo com o material específico a ser demolido, de 10% a 100% sobre o material a ser demolido, porém, não se localizou a metodologia utilizada no estabelecimento destes fatores.

Propôs-se a partir do uso do Revit um fator de empolamento baseado na mediana adquirida nas relações entre o volume estimado pelo MVI e o extraído pelo Revit considerando os RD não recuperáveis e os recuperáveis, porém, demolidos, conforme a Tabela 28, que apresentou um fator de empolamento a partir da mediana de 49%.

Tabela 28 - Proposta de fator de empolamento para o uso do Revit

Obras	(A) Volume estimado MVI (m³)	(B) Resíduos não recuperáveis + Resíduos recuperáveis, porém, demolidos (m³)	Relação (A)/(B)
1, 2, 3*	644,13	449,51	1,43
4**	436,80	290,90	1,50
5**	607,72	408,00	1,49
6**	142,69	105,89	1,35
7**	188,12	141,96	1,33
8**	360,90	206,14	1,75
9**	371,99	210,61	1,77
10, 11, 12**	1371,89	1028,37	1,33
13**	282,10	170,30	1,66
Mediana da relação (A)/(B)			1,49

Fonte: Autoria própria

4.3 Estabelecimento das relações de massa/volume (m³/m²). (MCTG), para resultados do Revit x Licença PBH x Gerados (MVI)

O método de cálculo da taxa de geração (MCTG) mostra a estimativa de geração de RD a partir da relação volume/área (m³/m²), permitindo-se prever o número de carregamentos necessários para cada obra.

A Tabela 29 mostra que a relação MCTG para o volume licenciado foi de $0,90 \text{ m}^3/\text{m}^2$, enquanto que para o Revit considerando os RD não recuperáveis e os recuperáveis, porém, demolidos, com o empolamento proposto de 1,49, têm-se, a relação MCTG de $1,02\text{m}^3/\text{m}^2$ e o MVI, de $1,00\text{m}^3/\text{m}^2$. Para tanto, por arredondamento tem-se a relação de $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ tanto para o Revit quanto para o MVI.

Tabela 29 - Relação m^3/m^2 para os volumes licenciado, MVI e Revit

Obras	Área edificada (m^2)	Volume Licenciado (m^3)	Volume estimado MVI (m^3)	Volume Revit Resíduos não recuperáveis + Resíduos recuperáveis, porém, demolidos aplicado 49% de fator de empolamento (m^3)
1, 2, 3	667,79	419,93	636,12	669,77
4	444,50	404,92	380,05	433,44
5	589,00	513,40	614,65	607,92
6	178,20	306,13	145,18	157,78
7	135,00	181,76	204,13	211,52
8	382,06	385,16	360,79	307,15
9	404,37	454,72	377,79	313,81
10, 11, 12	1320,00	1014,64	1400,90	1532,27
13	267,55	290,40	283,00	253,75
Totais (m^3)	4388,47	3971,06	4402,61	4487,40
MCTG (m^3/m^2)		0,90	1,00	1,02

Fonte: Autoria própria

No estudo de Llatas (2013), discutida na Revisão teórica, é apresentada pela Tabela 2, a relação de volume/área para obras de demolição de construções pesadas, compostas basicamente de concreto e alvenarias, com valor igual a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2$. para o limite superior de obras residenciais e limite inferior de obras não residenciais, condizente com as relações volume massa encontradas pelo MVI e pelo Revit.

Com esta relação de $1\text{m}^3/\text{m}^2$ e considerando-se como $14,72\text{m}^3$ a capacidade média de carga dos caminhões utilizados nas obras

considerando-se as sobrecargas, é apresentada na Tabela 30 a comparação entre a estimativa de caminhões e o número de carregamentos realizados.

Tabela 30 - Comparação entre estimativas de carregamentos e a quantidade de carregamentos realizados

Obras	Área edificada (m ²)	Estimativa de caminhões com capacidade de 14,72m ³ considerando a relação de 1 m ³ /m ²	Caminhões utilizados nas obras
1, 2, 3	667,79	45	45
4	444,50	30	29
5	589,00	40	42
6	178,20	12	10
7	135,00	9	12
8	382,06	26	24
9	404,37	27	26
10, 11, 12	1320,00	90	91
13	267,55	18	20
Totais de caminhões		298	299

Fonte: Autoria própria

É possível constatar pela Tabela 30 que as estimativas de carregamentos, considerando-se a relação MCTG de 1m³/m², se mostraram aderentes ao efetivamente utilizado para cada obra e no total, permitindo concluir que este método pode ser utilizado nos casos em que é preciso se estimar de forma rápida uma ordem de grandeza do número de carregamentos necessários.

5 CONCLUSÕES

Esse trabalho usou o software REVIT e o conceito de extração automática de quantidades ou Quantity Take-off – QTO como ferramenta BIM, e objetivou demonstrar a aplicabilidade do software na quantificação de volumes de resíduos de demolição, que foi possível a partir da criação de parâmetros de projeto e da modelagem em 3D.

A precisão e a viabilidade técnica e econômica na quantificação de resíduos de demolição são pontos chaves para sua adequada gestão. Cada vez mais, o uso de novas tecnologias construtivas como o BIM vem apresentando ferramentas que auxiliam no momento da tomada de decisões, inclusive na fase final das edificações.

O trabalho apresenta o ciclo do *DfD* considerando-se a sucessão de etapas da vida útil da construção, amparadas na prática corrente de geração apropriada de documentação dos métodos e materiais utilizados e nas suas premissas básicas de maximização da desconstrução, da recuperação da construção para reuso e da completa relocação da construção, cujos elementos construtivos sejam inventariados e reinseridos em um novo ciclo a partir de estudos de viabilidade.

Esse trabalho abordou que é importante a constante atualização de dados governamentais diversos, como população, número de licenças de construção, renovação e demolição, incluindo dados sobre terraplenagem, volumes licenciados, dados sobre RCD depositados irregularmente, valor financeiro das obras e relatórios de pesquisas de amostragem e pesagem dos RCD, dentre outros.

Foi desenvolvida uma pesquisa baseado em três etapas: (1) preparação da pesquisa, (2) levantamento e acompanhamento das

demolições e (3) obtenção de dados. As etapas propostas foram aplicadas em 13 obras de demolição dentro do município de Belo Horizonte, totalizando 4.406,34 m³ de RD quantificados pelo método de visita indireto (MVI) sendo transportados em 299 viagens de caminhões caçamba, contando com a participação de uma empresa especializada em demolição e terraplenagem de reconhecimento regional.

Foi considerado que o volume correto a ser licenciado na obra 6 seria de 124,26m³, devido a identificação de um erro nos cálculos apresentados no licenciamento, que previa uma geração de 306,13m³ de RD.

Os totais de geração de RD pelo método de visita indireto extrapolam os quantitativos totais inicialmente licenciados junto a PBH, em cerca de 10%, ou seja, 435,28 m³.

O estudo apresenta a partir do método de cálculo de taxa de geração (MCTG), a relação de 1m³/m² para os resíduos de demolição, tanto para o quantitativo real quanto para o Revit, condizente a referência dada por Llatas (2013), podendo ser utilizado em casos em que for preciso estimativas de ordem de grandeza de geração de RD e do número de carregamentos necessários.

Os resultados obtidos nas extrações de quantidades com o REVIT e com a geração real de RD das obras, permitiu a proposição de fator de empolamento com uso do Revit, de 49% neste estudo de caso e a comparação entre a estimativa de carregamentos e o número real.

Foi demonstrada a conveniência e viabilidade técnica na extração de quantidades de RD, com o uso do Revit, ficando evidente a flexibilidade na promoção de alterações no projeto, apresentando inclusive os volumes de resíduos de demolição recuperados, 278,68 metros cúbicos.

A pesquisa demonstrou que o método de quantificação a partir da representação em 2D agrega falhas diversas devido à omissão de informações e deficiências nos levantamentos, apresentando diferenças de até 51% em relação a estimativa pelo MVI.

Atenta-se que o baixo rigor na concessão de licenças de demolição e na verificação quanto aos volumes de RD gerados não incentiva melhorias no próprio sistema de preservação ambiental no município de Belo Horizonte. A minimização de RD das obras poderia ser fomentada com diretivas legais sobre recuperação de materiais e triagem dos RD antes da sua disposição final.

Embora sejam inúmeras as incertezas advindas de uma obra de demolição devido a sua unicidade, o Revit foi considerado uma ferramenta do BIM conveniente para a quantificação de RD e por ampliar as análises qualitativas quanto aos RD gerados e os RD recuperados, permitindo tomadas de decisões adequadas para a sua minimização e gestão sustentável a partir da possibilidade de extração de dados confiáveis.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Com o intuito de ampliar as discussões sobre o uso do BIM na fase final do ciclo de vida das construções, propõem-se para trabalhos futuros:

- A utilização de equipamentos de 3D *scanning* e drones se mostra como importantes tecnologias que facilitam e ampliam a precisão nas atividades de inventário, levantamentos e coleta de informações, permitindo melhorias substanciais na extração automática de quantitativos em BIM, que dependem do saneamento das incertezas verificadas nos levantamentos das obras de demolição. Para tanto, os estudos sobre essas tecnologias e as formas de minimização destas incertezas permitiram aperfeiçoar os resultados de quantificação de RD.
- A partir da modelagem em BIM é possível explorar os modelos pela aplicação da realidade virtual, expandindo o conceito de *Virtual Building Mock-Up*, que corresponde a uma maquete virtual, em escala real, conhecido como simuladores, para

habilitar e aperfeiçoar as habilidades dos operadores e trabalhadores e ainda estabelecer estratégias e métodos de demolição, considerando-se as particularidades do sítio e as variáveis e restrições possivelmente existentes, como por exemplo, uma restritiva legislação imposta sobre a produção de barulho e geração de pó, bem como avaliar os impactos das escolhas em relação ao desempenho ambiental.

- A destinação final dos RD das obras pesquisadas apresentou discordâncias em relação ao previsto no licenciamento, sendo que as escolhas dos aterros de inertes derivaram de escolhas pessoais baseadas na ampliação de lucratividade e da possibilidade de recebimento dos materiais. A fim de melhor regular esta atividade, recomenda-se a ampliação de estudos sobre a utilização das tecnologias de Sistema de Informação Geográfica – SIG e da Identificação por Radiofrequência – RFID, que permitem o acompanhamento dos trajetos, cálculos de emissão de CO₂ e outros gases pelos veículos automotores, além de possibilitar os estudos sobre os impactos do tráfego de caminhões em vias urbanas devido a atividades de demolição. Este estudo ainda permite a obtenção de dados estatísticos confiáveis para a predição de quantitativos de RD gerados, taxas de geração de RD (m³/m² ou kgm²) e prazos de esgotamento dos aterros de inertes.
- Estudos sobre o Método de análise de vida poderiam ser propostos considerando-se o cruzamento de dados e informações derivados da PBH e conselhos de classes nas áreas de engenharia civil e arquitetura, em relação às licenças de demolição, áreas e datas de construção das edificações com sistemas estatísticos e de informação geográfica – GIS, com o

objetivo de prever por região o tempo de vida de cada tipologia construtiva considerando-se novas incorporações imobiliárias.

- Devem ser propostos estudos mais aprofundados sobre o termo Desconstrução rudimentar, a fim de se obter um diagnóstico preciso sobre a atual situação deste mercado secundário de materiais de demolição, bem como sua importância e estratégias de fomento governamentais visando a ampliação dos benefícios econômicos, sociais e ambientais.
- Novos estudos referentes ao termo fator de empolamento de RCD e valores referenciais devem ser desenvolvidos, também com o uso de simulações computacionais, a fim de prever os fatores de empolamento a partir de diferentes métodos de demolição e tipologias construtivas.

Referências

ABDULLAH, A. **Intelligent selection of demolition techniques**. 2003. © Arham Abdullah

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos Sólidos no Brasil. 2014**. São Paulo: ABRELPE, 2015.

AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil**. Blucher, 2011. ISBN 8521206100.

AJAYI, S. O. et al. Reducing waste to landfill: A need for cultural change in the UK construction industry. **Journal of Building Engineering**, v. 5, p. 185-193, 2016.

AKINADE, O. O. et al. Waste minimisation through deconstruction: A BIM based Deconstructability Assessment Score (BIM-DAS). **Resources, Conservation and Recycling**, v. 105, p. 167-176, 2015.

ANGULO, S.; JOHN, V. Requisitos para execução de aterros de resíduos de construção e demolição. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil: BT/PCC/436. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo**, 2006.

AOUAD, G.; LEE, A.; WU, S. **Constructing the Future: nD Modelling**. Routledge, 2006. ISBN 1134222076.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos: Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15965**: Sistema de classificação da informação da construção. Rio de Janeiro, 2011.

AZHAR, S.; KHALFAN, M.; MAQSOOD, T. Building information modelling (BIM): now and beyond. **Construction Economics and Building**, v. 12, n. 4, p. 15-28, 2015.

BAIA, D. V. S. Uso de ferramentas BIM para o melhor planejamento de obras da construção civil. 2016.

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.

BARISON, M. B. **Introdução de Modelagem da Informação da Construção (BIM) no currículo: uma contribuição para a formação do projetista**. 2015. Universidade de São Paulo

BEGUM, R. A. et al. Factors and values of willingness to pay for improved construction waste management—A perspective of Malaysian contractors. **Waste Management**, v. 27, p. 1902-1909, 2007.

BEIGL, P.; LEBERSORGER, S.; SALHOFER, S. Modelling municipal solid waste generation: A review. **Waste Management**, v. 28, p. 200-214, 2008.

BELO HORIZONTE. **Decreto 13.842, de 11 de janeiro de 2010. Regulamenta a Lei nº 9.725/2009, que contém o Código de Edificações do Município de Belo Horizonte**. 2010.

_____. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Belo Horizonte (PMGIRS-BH). 2017.

BIMFORUM. **Level of Development Specification**: BIMForum 2016.

BRASIL. IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis . Instrução Normativa Nº13, 14 de maio 2009. . Alterar a Instrução Normativa IBAMA Nº171, de, v. 9. 2009.**

_____. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências., 2010.

_____. **Decreto de 5 de junho de 2017. Institui o Comitê Estratégico de Implementação do Building Information Modelling**. 2017.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n º 307 – **Dispõe sobre gestão dos resíduos de construção civil**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, DF, 2002.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n º 348 – **Altera a Resolução CONAMA nº 307, de 5 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos**. Conselho Nacional do Meio Ambiente, DF, 2004.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.º 431 – **Altera o art. 3º da Resolução no 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, estabelecendo nova classificação para o gesso.** Conselho Nacional do Meio Ambiente, DF, 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.º 448 – **Altera os arts. 2º, 4º, 5º, 6º, 8º, 9º, 10 e 11 da Resolução nº 307, de 5 de julho de 2002, do Conselho Nacional do Meio Ambiente- CONAMA.** Conselho Nacional do Meio Ambiente, DF, 2012.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Resolução n.º 469 – **Altera a Resolução CONAMA no 307, de 05 de julho de 2002, que estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil.** Conselho Nacional do Meio Ambiente, DF, 2015.

BRUNDTLAND, G. H. World commission on environment and development (1987): Our common future. **World Commission for Environment and Development**, 1987.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of building information modelling (BIM). **International journal of project management**, v. 31, n. 7, p. 971-980, 2013.

CBIC, **Coletânea Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras, Câmara Brasileira da Indústria e da Construção.** Disponível em <http://cbic.org.br/bim/>, acesso março 2017.

CHENDEŞ, R. V. DETERMINĂRI EXPERIMENTALE PRIVIND REUTILIZAREA BETOANELOR REZULTATE DIN DEMOLAREA CONSTRUCȚIILOR. 2017.

CHENG, J. C.; MA, L. Y. A BIM-based system for demolition and renovation waste quantification and planning. Proceedings of the 14th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE 2012), 2012.

_____. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning. **Waste management**, v. 33, n. 6, p. 1539-1551, 2013.

CHENG, J. C.; WON, J.; DAS, M. Construction and demolition waste management using BIM technology. International Group for Lean Construction Conference (IGLC), Perth, Australia, 2015.

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.; 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. Economic analysis of conventional versus selective demolition—A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 3, p. 382-392, 2011.

COELHO, K. M.; LIMA, T. F.; MELHADO, S. IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO EM EMPRESA DE ARQUITETURA: UM ESTUDO DE CASO. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 2, p. 696-709, 2015.

CÓRDOBA, R. E. **Estudo do sistema de gerenciamento integrado de resíduos de construção e demolição do município de São Carlos-SP**. 2010. Universidade de São Paulo

COSTA, N. D. et al. Planejamento de programas de reciclagem de resíduos de construção e demolição no Brasil: uma análise multivariada. **Eng. sanit. ambient**, p. 446-456, 2007.

COUTO C., D. BIM Quantity Takeoff: Assessment of the quantity takeoff accuracy as an automatic process. The special case of Revit and Vico office. 2014.

DA COSTA, R. V. G.; JÚNIOR, G. B. A.; DE OLIVEIRA, M. M. Taxa de geração de resíduos da construção civil em edificações na cidade de João Pessoa. 2012.

DA COSTA, W. V. G.; OLIVEIRA, E. A. Estudos e análises dos impactos da segregação de resíduos sólidos de obras em Belo Horizonte. **CONSTRUINDO**, v. 3, n. 01, 2011.

DEL RÍO, M.; IZQUIERDO, P. G.; AZEVEDO, I. S. W. Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. **Waste management & research**, v. 28, n. 2, p. 118-129, 2010.

DO NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. T. Barreiras para o uso da tecnologia da informação na indústria da construção civil. 2002.

DUELL, R.; HATHORN, T.; HATHORN, T. R. **Autodesk Revit Architecture 2016 Essentials: Autodesk Official Press**. John Wiley & Sons, 2015. ISBN 1119059887.

EASTMAN, C. et al. BIM Handbook. 2008.

EASTMAN, C. M. et al. **BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 0470541377.

ELKINGTON, J. Enter the triple bottom line. 2004.

EPA, U. Advancing Sustainable Materials Management: 2013 Fact Sheet. 2015.

EUROPEAN, C. Construction and Demolition Waste management in France v. V2 - September 2015 2015a.

_____. Construction and Demolition Waste management in Portugal v. V2 – September 2015 2015b.

_____. **Construction and Demolition Waste management in United Kingdom** V3 – December 2015 2015c.

_____. Screening template for Construction and Demolition Waste management in the Netherlands v. V2 – September 2015, 2015d.

EUROPEO, P. Directiva 2000/532/EC. **Diario Oficial Comunidad Europea**, v. 203, p. 18, 2000.

FARINA, H.; COELHO, K. M. IMPACTOS NA COORDENAÇÃO DE PROJETOS ASSISTIDA PELA MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 2, n. 2, p. 61-74, 2015.

FERREIRA, J. P. D. S. P. **Otimização da gestão dos resíduos de construção e demolição na ótica dos projetistas**. 2012.

FERREIRA, R. C. **Uso do CAD 3D na compatibilização espacial em projetos de produção de vedações verticais em edificações**. 2007. Universidade de São Paulo

FISHMAN, T. et al. Accounting for the material stock of nations. **Journal of industrial ecology**, v. 18, n. 3, p. 407-420, 2014.

FORGUES, D. et al. Rethinking the cost estimating process through 5D BIM: A case study. *Construction Research Congress 2012: Construction Challenges in a Flat World*, 2012. p.778-786.

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.

GAO, M.-Z. A. *Construction & Demolition Waste Management: From Japan to Hong Kong*. 2008.

GÖKGÜR, A. Current and future use of BIM in renovation projects. **Chalmers University of Technology**, 2015.

GOVERNMENT, S. Ministerio de Meio Ambiente **Plan Nacional Integrado de Resíduos (PNIR)**, v. 2015, 2008.

HENDRIKS, C. F.; NIJKERK, A.; KOPPEN, A. O ciclo da construção. **Tradução de Claudia Naves David Amorim, Rosana Stockler Campos Clímaco. Brasília. Editora Universidade de Brasília**, 2007.

HONDA, V. Y. Avaliação do software Autodesk Revit 2016 para quantificação por meio da modelagem da informação da construção. 2016.

HOORNWEG, D.; LAM, P.; CHAUDHRY, M. Waste management in China: Issues and recommendations. **Urban Development Working Papers**, n. 9, 2005.

ISIKDAG, U. **Enhanced Building Information Models**. Springer, 2015. ISBN 3319218255.

IUCN, U. World conservation strategy: Living resource conservation for sustainable development. **Gland, Switzerland, International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources (IUCN)**, 1980.

JAILLON, L.; YU, A. T.; POON, C. S. Reducing building waste at construction sites in Hong Kong. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 5, p. 461-470, 2004.

JAPAN, G. **Waste Management and Public Cleansing Law - - Law nº 137 of 1970** 1970.

_____. **Construction Material Recycling Law 2000**.

KAMRATH, P. Eco-efficient demolition techniques and sustainable construction and demolition waste (CDW) recycling methods. In: AKIYAMA, M.; FURUTA, H., *et al*, 4th International Symposium on Life-Cycle Civil Engineering, IALCCE 2014, 2015. **Conference Paper** CRC Press/Balkema. p.1739-1745.

KARTAM, N. *et al*. Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait. **Waste Management**, v. 24, n. 10, p. 1049-1059, 2004.

KARUNASENA, G.; AMARATUNGA, D.; HAIGH, R. Post-disaster construction & demolition debris management: A Sri Lanka case study. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 18, n. 4, p. 457-468, 2012.

KASSEM, M.; LEUSIN DE AMORIM, S. BIM Building Information Modeling No Brasil e na União Europeia. 2015.

KIBERT, C. J. **Sustainable construction: green building design and delivery**. John Wiley & Sons, 2013. ISBN 1119055172.

KIBERT, C. J.; CHINI, A. R.; LANGUAGELL, J. L. Implementing deconstruction in the united states. **Overview of Deconstruction in Selected Countries. Proceedings of the CIB Task Group**, v. 39, 2000.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Estimation of construction waste generation and management in Thailand. **Waste management**, v. 29, n. 2, p. 731-738, 2009.

KOURMPANIS, B. *et al*. Preliminary study for the management of construction and demolition waste. **Waste Management & Research**, v. 26, p. 267-275, 2008.

KREITH, F.; TCHOBANOGLOUS, G. **Handbook of solid waste management**. 1999. ISBN 0070358761.

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

LASSO, P. R. O. **Avaliação da utilização de resíduos de construção civil e de demolição reciclados (RCD-R) como corretivos de acidez e condicionadores de solo**. 2011. Universidade de São Paulo.

LAU, H. H.; WHYTE, A.; LAW, P. Composition and characteristics of construction waste generated by residential housing project. 2008.

LEPUSCHITZ, K. **Demolition waste: an analysis of composition and financial value based on a case study in Vienna.** na, 2013.

LI, Y.; ZHANG, X. Web-based construction waste estimation system for building construction projects. **Automation in construction**, v. 35, p. 142-156, 2013.

LIEU, Z. et al. The Potential use of BIM to aid construction waste minimization. proceedings of the CIB W78-W102 2011: INTERNATIONAL Conference (26-28 October, pp. 1-13), Sophia Antipolis, France, 2011.

LIU, C.; PUN, S.; ITOH, Y. Technical development for deconstruction management. Proceedings of the 11th Rinker International Conference on Deconstruction and Materials Reuse. Gainesville, 2003. p.186-203.

LLATAS, C. A model for quantifying construction waste in projects according to the European waste list. **Waste management**, v. 31, n. 6, p. 1261-1276, 2011.

LLATAS, C. Methods for estimating construction and demolition (C&D) waste. In: (Ed.). **Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste**: Elsevier Inc., 2013. p.25-52. ISBN 9780857096906 (ISBN); 9780857096821 (ISBN).

LU, W.; YUAN, H. A framework for understanding waste management studies in construction. **Waste Management**, 2011.

LUCAS, J.; THABET, W.; BOWMAN, D. Analyzing capacity of BIM tools to support data use across project lifecycle. **Managing IT in construction/managing construction for tomorrow**, v. 26, p. 11-18, 2009.

MALLESON, A. et al. **NBS International BIM Report 2016** 2016.

MAÑÀ I REIXACH, F.; GONZÀLEZ I BARROSO, J.; SAGRERA I CUSCÓ, A. Plan de Gestión de Residuos en las Obras de Construcción y Demolición; Programa Life. **Dirección General de Medio Ambiente; Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya, Barcelona**, 2000.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM.** 2013. Universidade de São Paulo.

MARCATTO, C. Educação ambiental: conceitos e princípios. **Belo Horizonte: FEAM**, v. 1, 2002.

MASUDI, A. F. et al. Waste quantification models for estimation of construction and demolition waste generation: a review. **International Journal of Global Environmental Issues**, v. 12, n. 2-4, p. 269-281, 2012.

MIRANDA, L. F. RELATÓRIO PESQUISA SETORIAL 2014/2015 ABRECON. 2015.

MONTEIRO, A.; MARTINS, J. P. P. BIM modeling For contractors-improving model takeoffs. CIB W078 29th International Conference on Applications of it in the AEC Industry, 2012.

MONTEIRO, A.; POCAS MARTINS, J. A survey on modeling guidelines for quantity takeoff-oriented BIM-based design. **Automation in construction**, v. 35, p. 238-253, 2013.

MORAIS, G. M. D. D. Diagnóstico da deposição clandestina de resíduos de construção e demolição em bairros periféricos de Uberlândia: subsídios para uma gestão sustentável. 2006.

MORIGUCHI, Y.; HASHIMOTO, S. Material Flow Analysis and Waste Management. In: (Ed.). **Taking Stock of Industrial Ecology**: Springer, 2016. p.247-262.

NAGALLI, A. **Gerenciamento de resíduos sólidos na construção civil**. Oficina de Textos, 2016. ISBN 8579752256.

NAGAPAN, S.; RAHMAN, I. A.; ASMI, A. A Review of Construction Waste Cause Factors. 2011.

NAKAMURA, J. Como anda o BIM nas incorporadoras. **Construção Mercado**, v. 143, p. 1-3, 2013.

NASR, D. et al. Environmental Impacts of Reconstruction Activities: A Case of Lebanon. **International journal of environmental research**, v. 3, n. 2, p. 301-308, 2009.

NETO, J. D. C. M. **Estudo da gestão municipal dos resíduos de construção e demolição na bacia hidrográfica do Turvo Grande (UGRHI-15)**. 2009. Universidade de São Paulo

OSMANI, M.; GLASS, J.; PRICE, A. D. Architects' perspectives on construction waste reduction by design. **Waste Management**, v. 28, n. 7, p. 1147-1158, 2008.

PARREIRA, J.; CACHADINHA, N. Implementação BIM e integração com sistemas informáticos em empresas de construção. Estudo de caso. Congresso Construção 2012, 2012. ITeCons. p.2-12.

PASA, C. C. M. U. Utilização de modelo de referência para a melhoria dos processos construtivos de edificações buscando a redução da geração de resíduos no setor de construções residenciais. 2012.

PAZ, D. H.; LAFAYETTE, K. P. Forecasting of construction and demolition waste in Brazil. **Waste Management & Research**, v. 34, n. 8, p. 708-716, 2016.

PERSPECTIVES, G. C.; ECONOMICS, O. Global construction 2030: A global forecast for the construction industry to 2030. **Executive Summary**, 2015.

PETERSON, F. et al. Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned. 2010.

PINTO, T. D. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana**. 1999. Universidade de São Paulo

POON, C. S. Management and recycling of demolition waste in Hong Kong. **Waste management & research**, v. 15, n. 6, p. 561-572, 1997.

POON, C. S. et al. Minimizing demolition wastes in Hong Kong public housing projects. **Construction Management and Economics**, v. 22, n. 8, p. 799-805, 2004.

PRAIRIE VILLAGE, K. Characterization of building-related construction and demolition debris in the United States. 1998.

QU, S. **Demolish-IT: the development of a process management tool for the demolition industry**. 2010. © S. Qu

RATNASOORIYA, H. A.; SAMARAWICKRAMA, S. P.; IMAMURA, F. Post tsunami recovery process in Sri Lanka. **Journal of Natural Disaster Science**, v. 29, n. 1, p. 21-28, 2007.

RIOS, F. C.; CHONG, W. K.; GRAU, D. Design for Disassembly and Deconstruction-Challenges and Opportunities. 2015.

SÁ, J. C. D. F. D. **Normalização dos trabalhos de demolição: proposta de elaboração de um modelo de um plano de demolição**. 2013. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

SATTINENI, A.; BRADFORD, R. H. Estimating with BIM: A survey of US construction companies. **Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea**, p. 564-569, 2011.

SHETH, A. Z.; PRICE, A. D.; GLASS, J. BIM and refurbishment of existing healthcare facilities. 2010.

SMITH, D. K.; TARDIF, M. **Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers**. John Wiley & Sons, 2009. ISBN 0470250038.

SMITH, P. BIM & the 5D project cost manager. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 119, p. 475-484, 2014.

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.

STANLEY, R.; THURNELL, D. The benefits of, and barriers to, implementation of 5D BIM for quantity surveying in New Zealand. 2014.

STEHLING, M. P. A utilização de modelagem da informação da construção em empresas de arquitetura e engenharia de Belo Horizonte. 2012.

STENSTRAND, J. et al. Quantity take-off in model-based systems. 2010.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

_____. The five components of BIM performance measurement. CIB World Congress, 2010.

TAM, V. W.-Y.; LU, W. Construction Waste Management Profiles, Practices, and Performance: A Cross-Jurisdictional Analysis in Four Countries. **Sustainability**, v. 8, n. 2, p. 190, 2016.

TAM, V. W. On the effectiveness in implementing a waste-management-plan method in construction. **Waste management**, v. 28, n. 6, p. 1072-1080, 2008.

_____. Comparing the implementation of concrete recycling in the Australian and Japanese construction industries. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 7, p. 688-702, 2009.

TAMRAZ, S. N.; SROUR, I. M.; CHEHAB, G. R. Construction demolition waste management in Lebanon. International Conference on Sustainable Design and Construction 2011: Integrating Sustainability Practices in the Construction Industry, ICSDC 2011, 2012. Kansas City, MO. **Conference Paper**. p.375-383.

TEODORO, N. Contribuição para a sustentabilidade na construção civil: Reciclagem e reutilização de materiais. **Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa**, 2011.

TORGAL, F. P.; JALALI, S. **Eco-efficient construction and building materials**. Springer Science & Business Media, 2011. ISBN 0857298925.

TOZZI, R. F. Estudo da influencia do gerenciamento na geração de resíduos da construção civil (RCC): estudo de caso de duas obras em Curitiba-PR. 2006.

VOLK, R. **Proactive-reactive, robust scheduling and capacity planning of deconstruction projects under uncertainty**. KIT Scientific Publishing, 2017. ISBN 3731505924.

VOLK, R.; STENGEL, J.; SCHULTMANN, F. **Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs**. Automation in construction. 38: 109-127 p. 2014.

_____. **State of the Art of Demolition and Reuse and Recycling of Construction Materials**. CIB World Building Congress: Tampere University of Technology. Proceedings of the CIB World Building Congress 2016: Intelligent Built Environment for Life: Volume V-Advancing Products and Services 2016.

WALMIKEY, P.; KULKARNI, P. Construction waste management through the applications of BIM. 2016.

WANG, J. Y. et al. A systems analysis tool for construction and demolition wastes management. **Waste management**, v. 24, n. 10, p. 989-997, 2004.

WANG, Z.; ZHAO, Y.; NING, X. Integrated Information Management System of Building Materials Based on BIM Technology in Life Cycle Carbon Emissions. Proceedings of the 20th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, 2017. Springer. p.345-353.

WBCSD, V. 2050 The new agenda for business. **World Business Council for Sustainable Development**, Geneva, 2010.

WIJAYAKUMAR, M.; JAYASENA, H. S. Automation of BIM quantity take-off to suit QS's requirements. The second world construction symposium, socio-economic sustainability in construction, 2013. p.14-15.

WILLIAMS, P. T. **Waste treatment and disposal**. John Wiley & Sons, 2013. ISBN 111868737X.

WIMALASENA, B.; RUWANPURA, J. Y.; HETTIARATCHI, J. Modeling construction waste generation towards sustainability. Construction Research Congress 2010: Innovation for Reshaping Construction Practice, 2010. p.1498-1507.

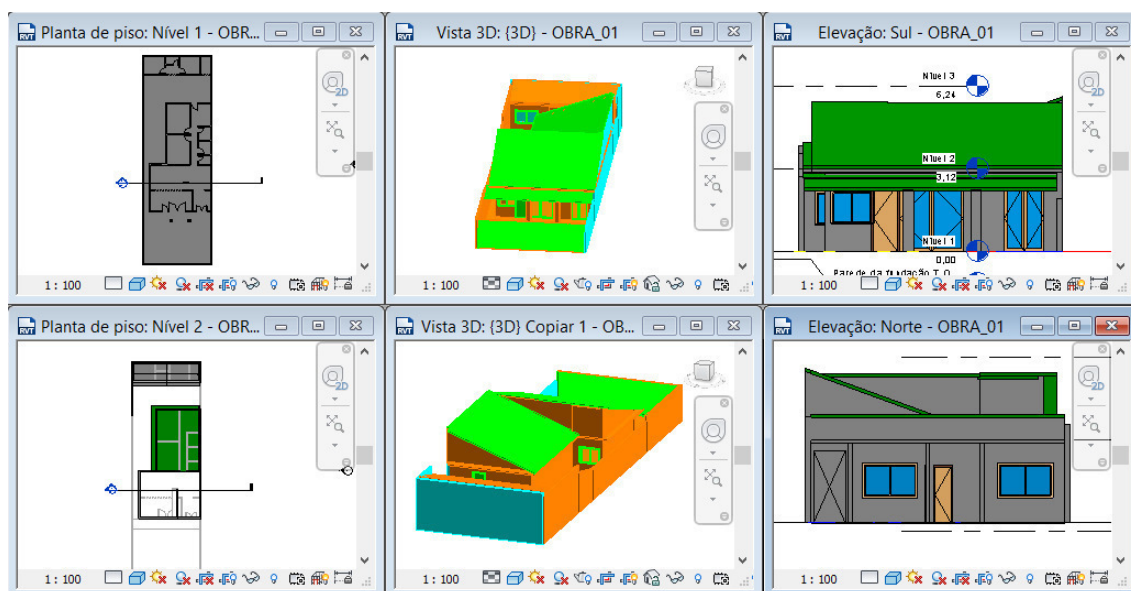
WU, Z. et al. Quantifying construction and demolition waste: An analytical review. **Waste Management**, v. 34, n. 9, p. 1683-1692, 2014.

YUAN, H. **A dynamic model for assessing the effectiveness of construction and demolition waste management**. 2011. The Hong Kong Polytechnic University

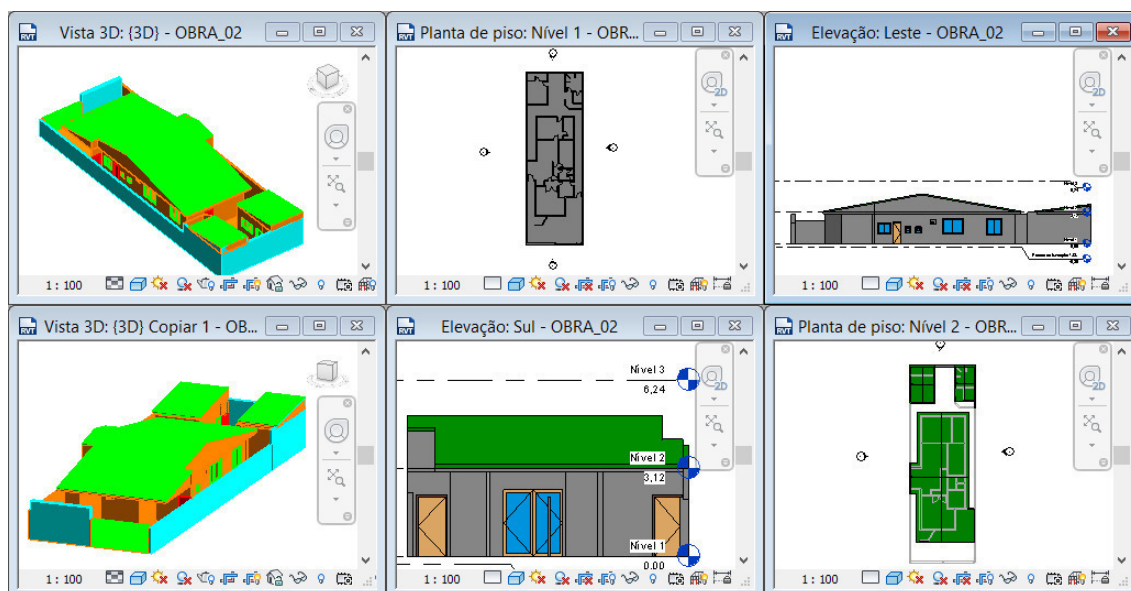
YUAN, H.; SHEN, L. Trend of the research on construction and demolition waste management. **Waste management**, v. 31, n. 4, p. 670-679, 2011.

YUN, S.; KIM, S. Basic Research on BIM-Based Quantity Take-off Guidelines. **Architectural research**, v. 15, n. 2, p. 103-109, 2013.

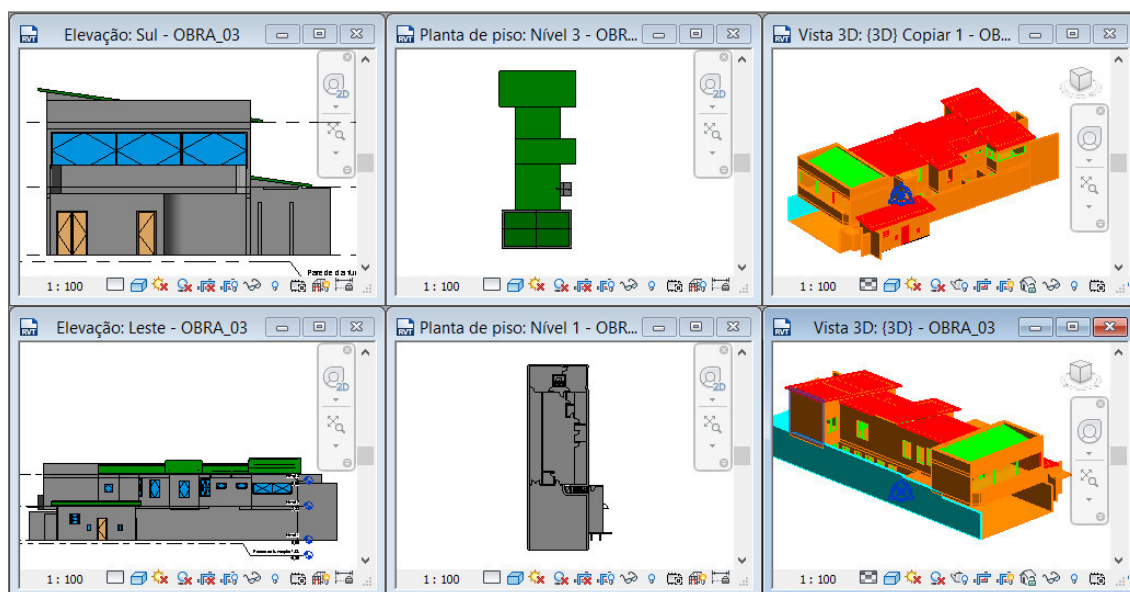
APÊNDICE A – Modelos virtuais das obras estudadas



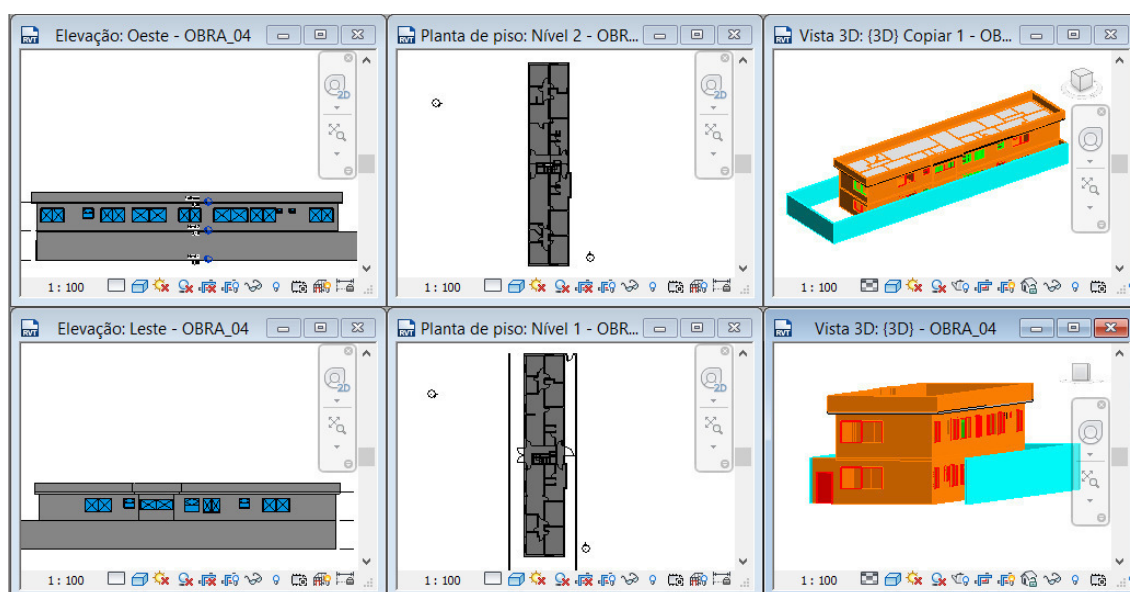
Obra 01



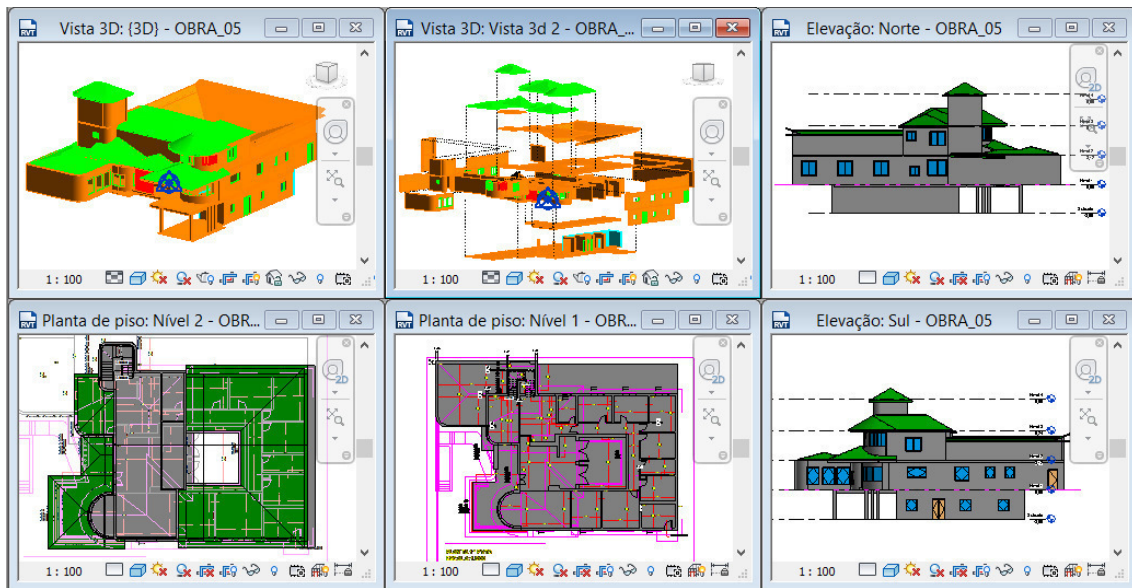
Obra 02



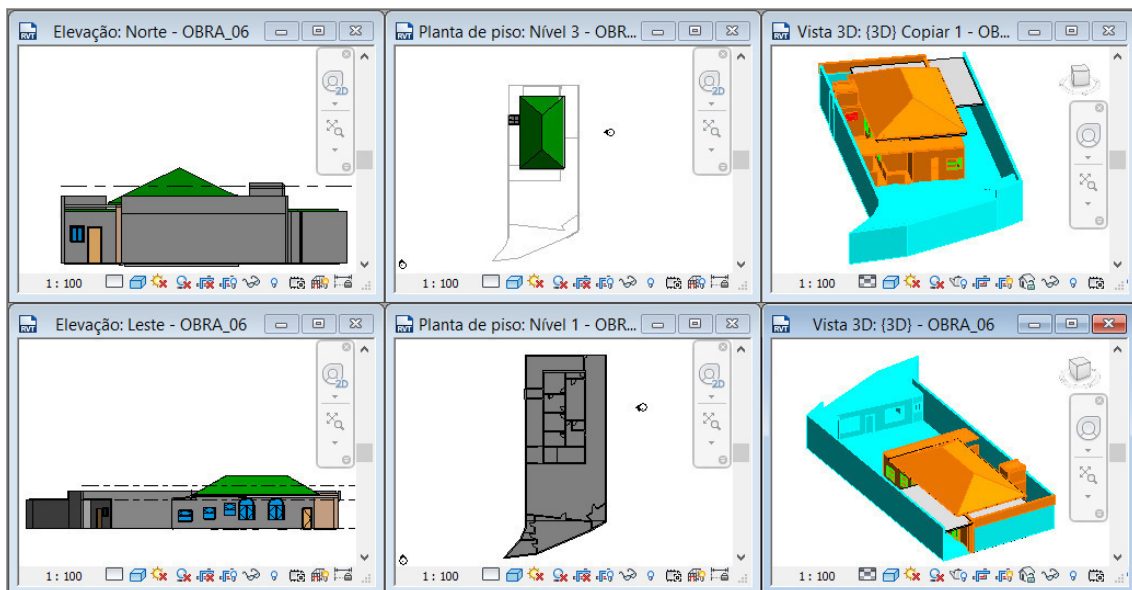
Obra 03



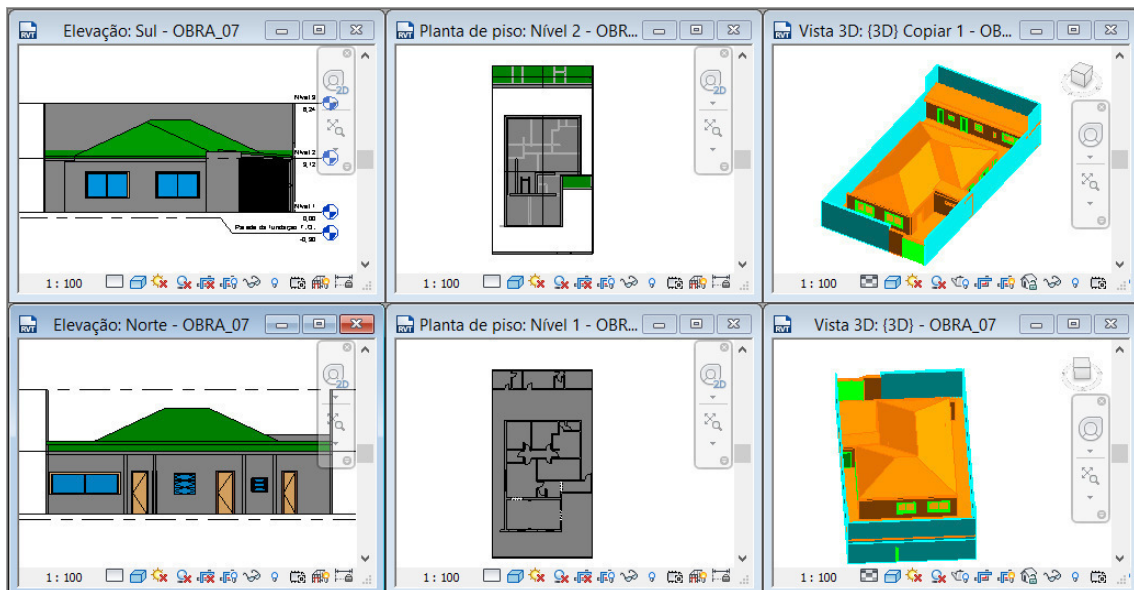
Obra 04



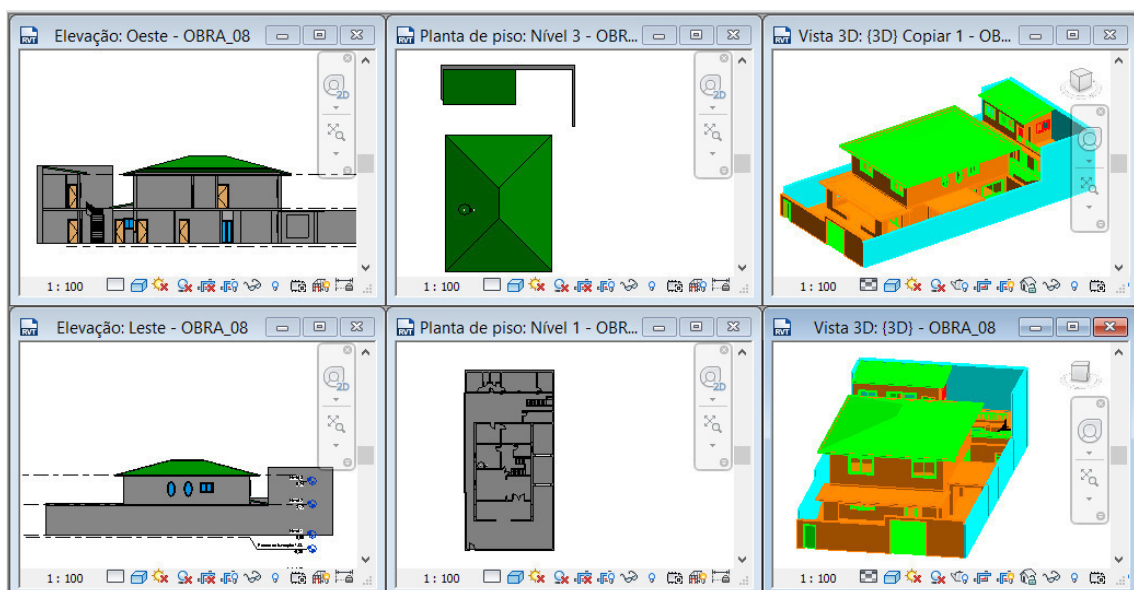
Obra 05



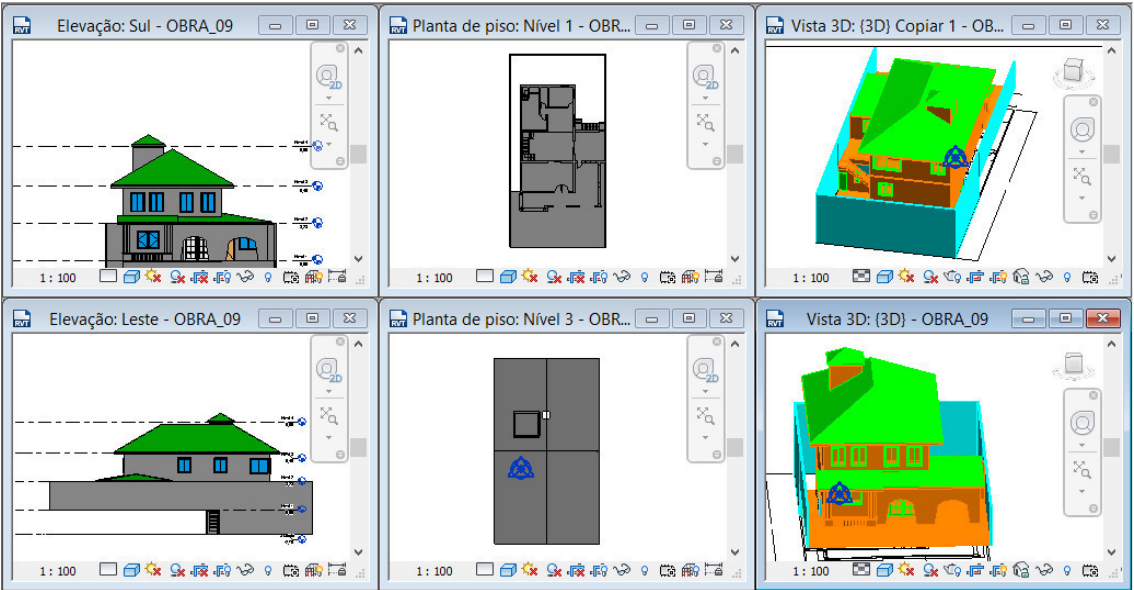
Obra 06



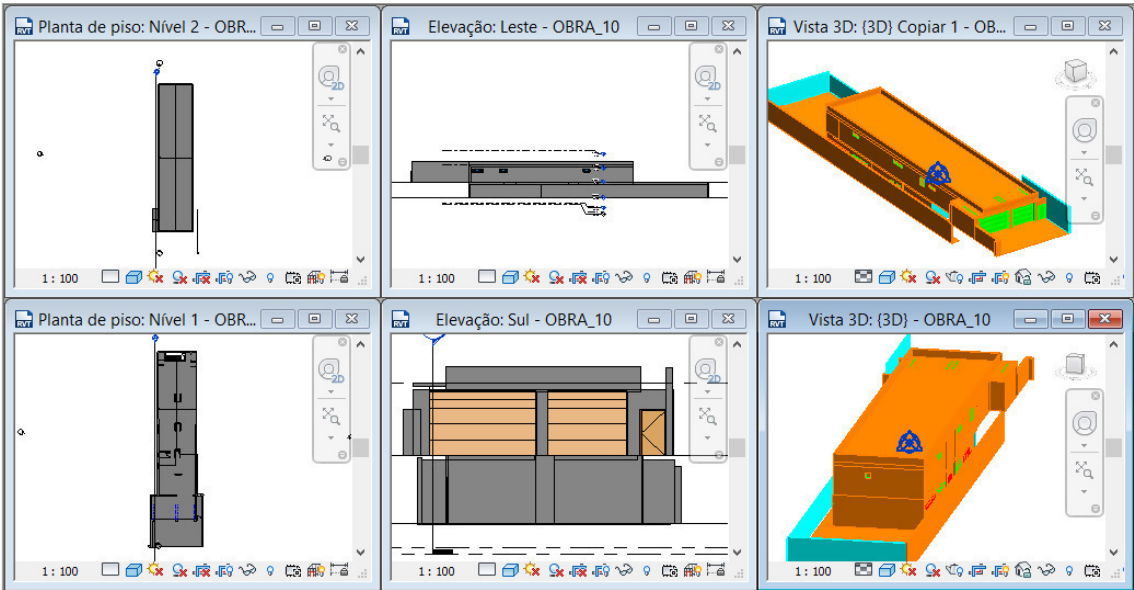
Obra 07



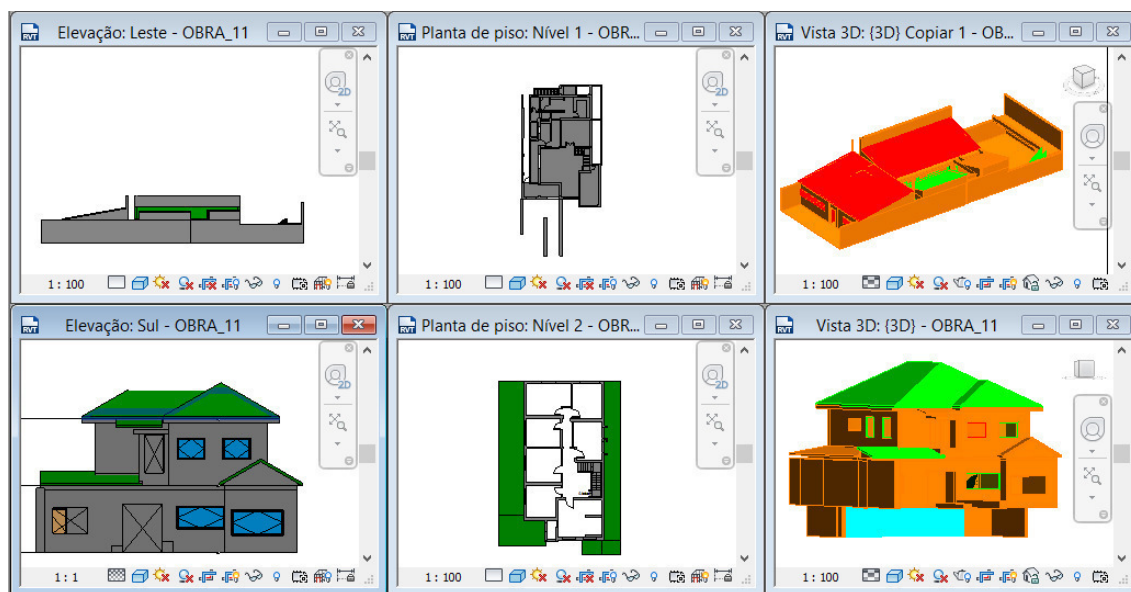
Obra 08



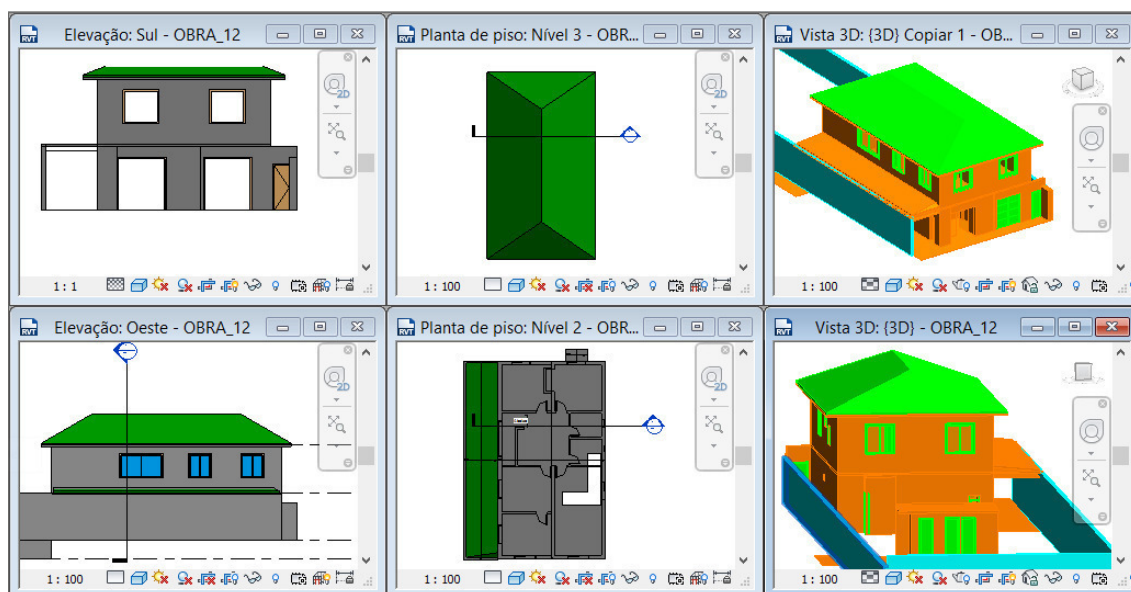
Obra 09



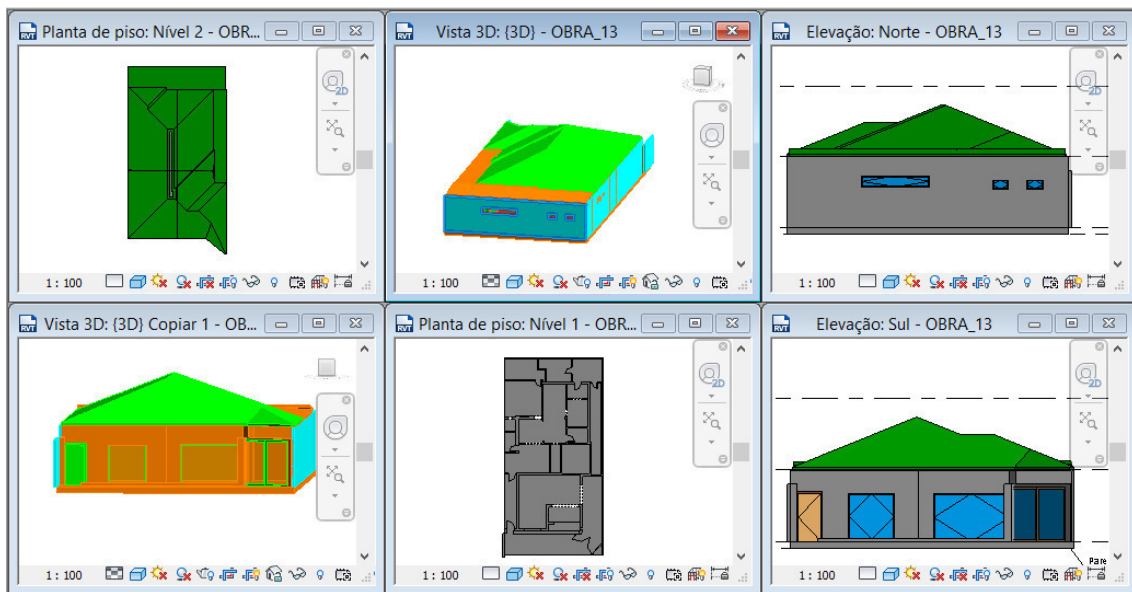
Obra 10



Obra 11



Obra 12



Obra 13



PPGEC – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
Av Amazonas, 7675, Belo Horizonte-MG
www.civil.cefetmg.br/mestrado